



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
DEPARTAMENTO DE NUTRIÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM NUTRIÇÃO
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: CIÊNCIA DOS ALIMENTOS

GERLANE SOUZA DE LIMA

**APROVEITAMENTO BIOTECNOLÓGICO DE COPRODUTOS DA SEMENTE DE
MARACUJÁ AMARELO (*Passiflora edulis f flavicarpa*): obtenção de
farinha e emulsões para aplicação em alimentos**

RECIFE, 2023



GERLANE SOUZA DE LIMA

**APROVEITAMENTO BIOTECNOLÓGICO DE COPRODUTOS DA SEMENTE DE
MARACUJÁ AMARELO (*Passiflora edulis f flavicarpa*): obtenção de
farinha e emulsões para aplicação em alimentos**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Nutrição da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito para a obtenção do título de Doutora em Nutrição.

Orientadora: Profa. Dra. Thayza Christina Montenegro Stamford

Co-orientador: Prof. Dr. Francisco Humberto Xavier Junior

Co-orientador: Prof. Dr. Rodrigo França

RECIFE, 2023

Catálogo na fonte:
Bibliotecário: Aécio Oberdam, CRB4: 1895

L732a Lima, Gerlane Souza de.
Aproveitamento biotecnológico de coprodutos da semente de maracujá amarelo (passiflora edulis f flavicarpa): Obtenção de farinha e emulsões para aplicação em alimentos / Gerlane Souza de Lima – 2023.
106 p.

Orientadora: Thayza Christina Montenegro Stamford
Coorientador: Francisco Humberto Xavier Júnior
Coorientador: Rodrigo França
Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Ciências da Saúde. Programa de Pós-Graduação em Nutrição. Recife, 2023.
Inclui referências.

1. Resíduo agroindustrial. 2. Compostos bioativos. 3. Biopolímeros. 4. Sorvetes. 5. Sustentabilidade. Stamford, Thayza Christina Montenegro (orientadora). II. Título.

612.3 CDD (23.ed.) UFPE (CCS 2023 - 166)

GERLANE SOUZA DE LIMA

**APROVEITAMENTO BIOTECNOLÓGICO DE COPRODUTOS DA SEMENTE DE
MARACUJÁ AMARELO (*Passiflora edulis f flavicarpa*): obtenção de
farinha e emulsões para aplicação em alimentos**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Nutrição da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutora em Nutrição.

Aprovada em: 27 de fevereiro de 2023

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcos Antônio Barbosa Lima (Membro Interno)

Universidade Federal de Pernambuco

Profa. Dra. Viviane Lansky Xavier de Souza Leão (Membro Externo)

Universidade Federal de Pernambuco

Dra. Rafaela de Siqueira Ferraz Carvalho (Membro Externo)

Universidade Federal de Pernambuco

Profa. Dra. Neide Kazue Sakugawa Shinohara (Membro Externo)

Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof. Dr. Rodrigo França (Membro Externo)

Universidade de Manitoba

Dedico este trabalho aos meus pais, Carmem e Sebastião.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiro a Deus por toda a luz, força e conforto em meio a todos os obstáculos enfrentados, pelas oportunidades e presentes concedidos.

Aos meus pais e meus irmãos, que trilharam esse caminho comigo, me apoiando e me levantando nos momentos difíceis, compartilhando as alegrias e as aflições. Cada um contribuiu do seu jeito para que eu pudesse alcançar essa conquista.

À minha orientadora professora Thayza Stamford por ter me acolhido desde o mestrado, por todo o aprendizado nesses anos, por sempre contagiar com sua alegria, sempre disposta a ajudar e a ouvir.

Ao meu coorientador professor Francisco Humberto Xavier Júnior, por toda a ajuda desde o mestrado, no desenvolvimento dos projetos e realização de pesquisas, sempre me direcionando para novas perspectivas e pensar à frente.

Ao meu coorientador professor Rodrigo França, por ter me aceitado como aluna no doutorado sanduíche, por ter me guiado desde o aceite da coorientação, me acolhendo num novo país, por me apresentar pessoas que abriram tantos caminhos antes e durante minha chegada no Canadá, por sua ajuda em todos os percalços e pelas oportunidades oferecidas.

À Rafaela Ferraz por toda a orientação durante o desenvolvimento das emulsões, pela ajuda nos momentos difíceis. Foi um dos grandes presentes que recebi durante esse doutorado e que levarei para a vida.

À professora Tânia Stamford por também ter me acolhido desde 2017, por todo o cuidado, carinho e preocupação, sempre buscando ajudar.

À professora Fátima Padilha, um grande presente como orientadora e amiga. Apesar de não estar mais entre nós, sou eternamente agradecida por ela e por professora Neide Shinohara terem me ajudado a encontrar o caminho da pesquisa e por toda a parceria ao longo desses anos.

Às minhas amigas da turma de doutorado 2019, Viviane Santos e Cibele Rocha, por todas as experiências, pelo apoio nesses quatro anos que não foram fáceis, mas seguimos juntas e alcançamos essa conclusão.

À Alessandra Araújo, Ihasmyn Nunes e Camyla Vidal, amigas que também foram presentes que recebi. Muito obrigada, meninas, por tudo! Nosso companheirismo sempre me fortaleceu além do que posso expressar.

Agradeço aos amigos Thaynna Leocádio, Fábio Marques, Ethel Monteilh, Thayna Pinheiro, Thaís Albuquerque. Pessoas maravilhosas com compartilho desde as graduações os perrengues, alegrias e conquistas dentro e fora da vida acadêmica.

A Ícaro Buregio, amigo, co-orientando e aluno de Iniciação Científica mais um presente que a graduação de Nutrição me proporcionou. Foi fundamental o seu papel na realização dessa pesquisa e revigorante trabalhar com alguém com seu empenho e vontade de aprender.

Aos professores Nandika Bandara, Jaciana Aguiar, Marcos Lima e Viviane Lansky, pela atenção em ajudar na realização desse trabalho.

Aos colegas de laboratório da UFPE e da Universidade de Manitoba por toda a disponibilidade em ajudar, pela paciência e disponibilidade.

Ao Laboratório de Imunopatologia Keizo Asami (LIKA), ao LEAAL e ao Instituto de Materiais de Manitoba (MIM) pela estrutura disponibilizada e aos técnicos pelo suporte para a realização de diversas análises.

À Flesh Fruit Polpas de Frutas pela cessão das sementes. Ao CNPq pela concessão da bolsa, à CAPES pela concessão da bolsa de Doutorado Sanduíche e a PROPESQ/UFPE pela concessão de financiamento para a execução da pesquisa.

Aos membros da banca pelas contribuições para o desenvolvimento e conclusão dessa tese.

À Universidade Federal de Pernambuco, ao Programa de Pós-Graduação em Nutrição e aos professores do Programa.

A todos que compõem a secretaria da Pós-Graduação em Nutrição, pelo empenho e atenção constantes.

A todos aqueles que contribuíram direta e indiretamente para que essa conquista fosse alcançada. Sei que são muitos nomes e nem todos foram citados, mas agradeço de todo coração a cada um com quem tive o prazer de compartilhar essa jornada.

Muito obrigada!

"If there is no struggle, there is no progress." – Frederick Douglass

"Whatever we believe about ourselves and about our ability comes true for us." –
Susan L. Taylor

RESUMO

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais do maracujá amarelo (*Passiflora edulis f. flavicarpa*) mas sua semente ainda é pouca valorizada na cadeia produtiva. Esta tese teve como objetivo o desenvolvimento e caracterização de emulsões *pickering* para veiculação do óleo de semente de maracujá (OSM); estudar as características da farinha da torta de extração do óleo; formular e caracterizar sorvetes com as emulsões e biscoitos tipo cookies fortificados com farinha de sementes de maracujá amarelo (FSM). As emulsões *pickering* foram elaboradas por homogeneização do óleo de semente de maracujá (1-10%) em suspensão de partículas de 1% de quitosana fúngica (QF) (1%) e 1% de cloridrato de quitosana (CQ) (1%). As amostras foram avaliadas quanto ao tamanho de partículas, índice de polidispersão, potencial Zeta, morfologia, estrutura química e atividade antimicrobiana. Foram elaboradas três formulações de sorvete (S1, S2 e S3) com 0-10% de emulsão e caracterizados quanto aos aspectos físico-químicos (pH, acidez titulável) e taxa de derretimento. A torta de prensagem foi seca a 60°C por 8h para a produção da farinha, que foi avaliada quanto à sua composição nutricional, propriedades tecnológicas, estrutura morfológica, composição química, estabilidade térmica e bioatividade. Quatro formulações de *cookies* (F0, F1, F2 e F3) foram elaboradas com substituição de 0-30% da farinha de trigo pela FSM e caracterizados quanto a composição nutricional, propriedades físico-químicas, dureza e atividades antimicrobiana e antioxidante. As emulsões apresentaram partículas de escala micrométrica (1.300-1.733 nm), índice de polidispersão (PDI) alto (1,00) e potencial Zeta positivo (27,33-39,77 mV). A dispersão de tamanho foi corroborada por micrografias da microscopia confocal. A formulação com 10% de OSM e QF foi a única emulsão capaz de inibir todos os microrganismos patogênicos testados. Sua aplicação nos sorvetes reduziu o pH e a taxa de derretimento dos produtos. A FSM apresentou alta concentração de proteínas (15,55±0,00%), lipídios (24,62%) e fibras (43,89%), com baixa umidade (3,51%). A FSM apresentou boa atividade antioxidante para sequestro do radical DPPH (de 760,32 µmol de Trolox Equivalente (TE)/100g da amostra) e radical ABTS (68,92 µmol TE/100g da amostra), atuando também na inibição de todas as bactérias e fungos testados. A avaliação dos cookies mostrou redução significativa da luminosidade e na atividade de água, com a adição de FSM. A dureza registrou aumento com maior teor de FSM. A análise de sequestro de

radicais DPPH e ABTS mostrou um aumento de atividade nas amostras fortificadas. Partículas de quitosana e cloridrato de quitosana se mostraram uma alternativa viável como estabilizantes para a produção de emulsões *pickering* com óleo de semente de maracujá, tendo a formulação de 10% de OSM com partículas de quitosana se destacado quanto à atividade bacteriana, contribuindo para melhora das características avaliadas nos sorvetes. A fortificação de biscoitos com farinha de semente de maracujá mostrou-se uma via para aumentar propriedades nutricionais desejáveis em alimentos. O sorvete com 5% de emulsão e o *cookie* com 10% de FSM apresentaram aspectos semelhantes aos das amostras controle, o que é interessante para a tecnologia de alimentos por oferecer produtos com incremento de ácidos graxos polinsaturados, fibras e compostos bioativos sem afetar as características gerais dos produtos, contribuindo para sua aceitação no mercado consumidor.

Palavras-chave: resíduo agroindustrial; compostos bioativos; biopolímeros; sorvete; *cookie*; sustentabilidade.

ABSTRACT

Brazil is one of the world's largest producers of yellow passion fruit (*Passiflora edulis f. flavicarpa*) but its seed is still undervalued in the production chain. This thesis aimed to develop and characterize Pickering emulsions for conveying passion fruit seed oil (OSM); to study the flour characteristics of the oil extraction cake; to formulate and characterize ice creams with emulsions and cookies fortified with yellow passion fruit seed flour (FSM). Pickering emulsions were prepared by homogenizing passion fruit seed oil (1-10%) in a suspension of fungal chitosan particles (FC) (1%) and chitosan hydrochloride (CH) (1%). Samples were evaluated for particle size, polydispersion index, Zeta potential, morphology, chemical structure, and antimicrobial activity. Three ice cream formulations (S1, S2, and S3) with 0-10% emulsion were prepared and characterized on physicochemical aspects (pH, titratable acidity) and melting rate. The press cake was dried at 60°C for 8 hours to produce the flour, which was evaluated for its nutritional composition, technological properties, morphological structure, chemical composition, thermal stability, and bioactivity. Four cookie formulations (F0, F1, F2, and F3) were prepared with 0-30% substitution of wheat flour for WSF and characterized in terms of nutritional composition, physical-chemical properties, hardness, and antimicrobial and antioxidant activities. The emulsions showed micrometer scale particles (1,300-1,733 nm), high polydispersion index (PDI) (1.00), and positive Zeta potential (27.33-39.77 mV). The confocal microscopy micrographs confirmed the size dispersion. The formulation with 10% OSM and QF was the only emulsion capable of inhibiting all pathogenic microorganisms tested. Its application in ice cream reduced the products' pH and melting rate. The FSM showed a high concentration of proteins (15.55±0.00%), lipids (24.62%), and fibers (43.89%), with low humidity (3.51%). The FSM showed good antioxidant activity for scavenging the DPPH radical (760.32 µmol of Trolox Equivalent (TE)/100g of the sample) and the ABTS radical (68.92 µmol TE/100g of the sample), also acting in the inhibition of all bacteria and fungi tested. Cookies evaluation showed a significant reduction in luminosity and water activity, consistent with the increase of FSM. Hardness increased in cookies with higher FSM concentrations. DPPH and ABTS radical scavenging analysis showed an improvement in the fortified samples. Chitosan particles and chitosan hydrochloride proved to be a viable alternative as stabilizers to produce pickering emulsions with passion fruit seed oil, with the formulation of 10% PFSO with chitosan particles

standing out in terms of bacterial activity, contributing to the improvement of characteristics evaluated in ice creams. The fortification of cookies with passion fruit seed flour proved to be a way to increase desirable food nutritional properties. Ice cream with 5% of PFSO emulsion and cookies with 10% of PFSF presented similar aspects to the control samples, which is interesting for food technology as it offers products with an increase in polyunsaturated fatty acids, fibers and bioactive compounds without affecting the general characteristics of the products, contributing to their acceptance in the consumer market.

Keywords: agro-industrial waste; bioactive compounds; biopolymers; ice cream; cookie; sustainability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fases <i>aquosa (azul)</i> e <i>oleosa (amarelo)</i> das emulsões do tipo óleo em água (a) e do tipo água em óleo (b).	25
Figura 2 - Fenômenos que afetam a estabilidade de emulsões: coalescência (a), floculação (b), cremação (c) e separação de fases (d).	28
Figura 3 – Fluxograma de etapas de realização da tese.	43
Figura 4 - Estrutura da quitosana antes e após desprotonação.	59
Figura 5 - Aspecto visual das emulsões Pickering com óleo de semente de maracujá.	62
Figura 6 - Micrografias por microscopia confocal das emulsões pickering de OSM.	63
Figura 7 - Espectro em infravermelho (FTIR) das emulsões pickering de OSM.	65
Figura 8 - Taxa de derretimento dos sorvetes com emulsão de óleo de semente de maracujá (OSM).	69
Figura 9 - Aspecto visual da farinha da torta de semente de maracujá amarelo.	75
Figura 10 - Micrografias da farinha da torta da semente de maracujá amarelo.	77
Figura 11 - Espectroscopia na região do infravermelho (FTIR) da farinha da torta da semente de maracujá amarelo (FSM).	79
Figura 12 – Gráficos de Análise Termogravimétrica (TGA) (preto) e Derivada da Análise Termogravimétrica (DTA) (vermelho) da farinha da torta da semente de maracujá amarelo.	81
Figura 13 – Aspecto visual das formulações de cookies elaborados com FSM.	83
Figura 14 - Avaliação de cor dos biscoitos tipo cookies elaborados com FSM.	87
Figura 15 – Avaliação de dureza dos cookies elaborados com FSM.	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição nutricional da polpa, farinha da casca e semente do maracujá amarelo (<i>Passiflora edulis</i> f. <i>flavicarpa</i>).	20
Tabela 2 - Composição química percentual de óleos de semente de maracujá amarelo (<i>Passiflora edulis</i> f. <i>flavicarpa</i>), milho, soja e girassol.	23
Tabela 3 – Emulsões do tipo Pickering para a veiculação de compostos lipofílicos.	31
Tabela 4 - Classificação dos tipos de sorvete, composições e teores de gordura.	34
Tabela 5 – Composição das emulsões de OSM e partículas de QF e CQ.	45
Tabela 6 - Formulações de sorvete com EP-OSM.	48
Tabela 7 - Formulações de cookies fortificados com farinha da torta de semente de maracujá amarelo (FSM).	55
Tabela 8 - Caracterização das partículas de quitosana fúngica e cloridrato de quitosana.	57
Tabela 9 – Caracterização das emulsões de OSM estabilizadas com partículas de quitosana fúngica (QF) e cloridrato de quitosana (CQ).	61
Tabela 10 - Atividade antibacteriana das emulsões pickering com OSM.	66
Tabela 11 - Avaliação físico-química dos sorvetes com emulsão de óleo de semente de maracujá (OSM).	68
Tabela 12 - Perfil de textura dos sorvetes com emulsão de óleo de semente de maracujá (OSM).	70
Tabela 13 - Caracterização físico-química da farinha da torta da semente de maracujá amarelo (FSM).	72
Tabela 14 - Características tecnológicas da farinha da torta da semente de maracujá amarelo (FSM).	76
Tabela 15 - Composição elementar da farinha da torta da semente de maracujá amarelo (FSM).	78
Tabela 16 - Composição nutricional dos cookies produzidos da farinha da torta da semente de maracujá amarelo (FSM).	84
Tabela 17 - Atividade antioxidante dos cookies enriquecidos com farinha da torta da semente de maracujá (FSM).	89

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABTS	2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico)
ANOVA	Análise de variância
AOAC	Association of Official Analytical Chemists
ATCC	<i>American Type Culture Collection</i>
ATR	<i>Attenuated Total Reflectance</i>
BHI	<i>Brain Heart Infusion</i>
CIE	Comissão Internacional de Iluminantes
CIM	Concentração Inibitória Mínima
CQ	Cloridrato de Quitosana
DLS	<i>Dynamic light scattering</i> (Espalhamento dinâmico da luz)
DPPH	1,1-difenil-2-picrihidrazil
DSC	<i>Differential scanning calorimetry</i> (Calorimetria exploratória diferencial)
EAG	Equivalente de ácido gálico
EPCQ	Emulsão Pickering com Cloridrato de Quitosana
EPQF	Emulsão Pickering com Quitosana Fúngica
FITC	isotiocianato de fluoresceína
FSM	Farinha da torta da semente de maracujá
FTIR	<i>Fourier-transform infrared spectroscopy</i> (Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier)
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
OSM	Óleo da semente do maracujá
PCQ	Partículas de Cloridrato de Quitosana
PDI	Índice de polidispersão
PQF	Partículas de Quitosana Fúngica
QF	Quitosana Fúngica
TEAC	Capacidade Antioxidante Equivalente de Trolox
TGA	<i>Thermogravimetric Analysis</i> (Análise termogravimétrica)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	REVISÃO DE LITERATURA	19
2.1	MARACUJÁ E SEUS COPRODUTOS.....	19
2.2	EMULSÕES.....	24
2.2.1	Aspectos gerais de emulsões.....	24
2.2.2	Estabilidade físico-química de emulsões.....	27
2.2.3	Emulsões com estabilizantes coloidais.....	29
2.3	DESENVOLVIMENTO DE SORVETES FUNCIONAIS.....	33
2.4	APLICAÇÃO DE FARINHAS DE SUBPRODUTOS VEGETAIS.....	37
3	HIPÓTESE	41
4	OBJETIVOS	42
4.1	OBJETIVO GERAL.....	42
4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	42
5	MATERIAL E MÉTODOS	43
5.1	MATERIAL.....	43
5.2	MÉTODOS.....	43
5.2.1	Preparo das sementes e extração do óleo.....	44
5.2.2	Elaboração das emulsões.....	44
5.2.3	Caracterização das emulsões.....	45
5.2.3.1	Avaliação das características das emulsões.....	46
5.2.3.2	Microscopia Confocal de Varredura a Laser.....	46
5.2.3.3	Espectroscopia na região do infravermelho (FTIR)	47
5.2.3.4	Atividade antibacteriana <i>in vitro</i>	47
5.2.4	Desenvolvimento dos sorvetes.....	48
5.2.5	Caracterização dos sorvetes.....	49
5.2.6	Elaboração da farinha.....	50
5.2.7	Caracterização da farinha.....	50
5.2.7.1	Análises físico-químicas.....	50
5.2.7.2	Análises físicas e tecnológicas.....	50
5.2.7.3	Análise morfológica e Composição Elementar.....	51
5.2.7.4	Estrutura química.....	52

5.2.7.5	Estabilidade Térmica.....	52
5.2.8	Avaliação de bioatividade.....	52
5.2.9	Atividade antimicrobiana <i>in vitro</i>	53
5.2.10	Atividade antioxidante <i>in vitro</i>	53
5.2.10.1	Capacidade de sequestro do radical DPPH.....	53
5.2.10.2	Método ABTS.....	54
5.2.11	Elaboração dos cookies.....	54
5.2.12	Caracterização dos cookies.....	55
5.2.13	Análises estatísticas	56
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	57
6.1	AVALIAÇÃO DAS PARTÍCULAS DE QF E CQ.....	57
6.2	CARACTERIZAÇÃO DAS EMULSÕES.....	60
6.2.1	Avaliação das emulsões <i>pickering</i> com OSM.....	60
6.2.2	Microscopia Confocal de Varredura a Laser.....	62
6.2.3	Espectroscopia na região do infravermelho (FTIR)	64
6.2.4	Avaliação da atividade antibacteriana.....	65
6.3	CARACTERIZAÇÃO DOS SORVETES ELABORADOS COM EMULSÃO <i>PICKERING</i> DE OSM.....	67
6.4	CARACTERIZAÇÃO DA FSM.....	71
6.4.1	Análise físico-química.....	71
6.4.2	Análises físicas e tecnológicas.....	74
6.4.3	Análise morfológica e de composição elementar.....	77
6.4.4	Estrutura química da FSM.....	79
6.4.5	Estabilidade térmica.....	80
6.4.6	Atividade antimicrobiana <i>in vitro</i>	81
6.4.7	Atividade antioxidante <i>in vitro</i>	82
6.5	Caracterização dos cookies.....	83
6.5.1	Composição nutricional.....	84
6.5.2	Análise colorimétrica.....	85
6.5.3	Avaliação da dureza.....	87
6.5.4	Atividade antioxidante dos cookies.....	89
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	91
	REFERÊNCIAS.....	93

1 INTRODUÇÃO

Maracujá é o nome popular de várias espécies do gênero *Passiflora* que apresenta grande disseminação por regiões tropicais e subtropicais, de onde se originam a maioria de suas espécies (CORRÊA *et al.*, 2016). O Brasil é um dos maiores produtores mundiais e exportador de suco concentrado do maracujá azedo ou amarelo (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*), o que evidencia sua importância econômica (CORRÊA *et al.*, 2016; LUCARINI *et al.*, 2019b). Apenas 30-35% do fruto é composto de polpa, enquanto cascas e sementes são consideradas resíduos industriais. Assim, é preciso agregar-lhes valor e promover alternativas produtivas do ponto de vista econômico, ambiental, científico e tecnológico (COELHO *et al.*, 2017; MALACRIDA; JORGE, 2012).

Dentre as partes mencionadas, as sementes representam cerca de 15% da fruta e apresentam teor lipídico entre 18,5% e 29,4%, com composição principal dos ácidos linoleico (55-66%), oleico (18-20%) e palmítico (10-14%) (PEREIRA *et al.*, 2019; REGIS; RESENDE; ANOTNIASSI, 2015), como também fitoesteróis, tocoferóis, compostos fenólicos e carotenoides. Esses compostos de óleos de sementes de frutas permitem que resíduos industriais sejam transformados em fontes alternativas de óleos com propriedades funcionais (antioxidante, antimicrobiana, citotóxica), cujo consumo é associado à diminuição de risco de doenças cardiovasculares (PEREIRA *et al.*, 2019; PERTUZATTI *et al.*, 2015).

Apesar dos benefícios de óleos vegetais, maiores concentrações de ácidos graxos insaturados favorecem a oxidação lipídica, responsável pela redução da vida de prateleira do produto, alterando sua composição nutricional, sensorial e funcional (OLIVEIRA *et al.*, 2019). A fim de ampliar sua estabilidade, incorporá-los em emulsões apresenta significativo potencial tecnológico. Particularmente, o uso de emulsões tem contribuído para uma melhor aparência, liberação e biodisponibilidade dos compostos emulsionados, como também ampliação do tipo de produto desenvolvido, como bebidas, molhos, sobremesas e embalagens dos alimentos (OZOGUL *et al.*, 2022).

Emulsões podem ser definidas como sistemas formados por uma fase apolar (oleosa) e uma fase polar (aquosa). A primeira envolve óleos fixos e essenciais,

vitaminas lipossolúveis, ceras, corantes, flavorizantes. Já a segunda porção pode agregar açúcares, sais, proteínas, polissacarídeos (OZOGUL *et al.*, 2022). Esse último grupo também pode atuar como estabilizadores do sistema, seja disperso na fase aquosa ou na forma de partículas sólidas (surfactantes coloidais), compondo as emulsões do tipo *pickering* (SUN, Z. *et al.*, 2021). Destacam-se entre os polissacarídeos, a quitosana e seus derivados, como o cloridrato de quitosana, polímeros que apresentam bioatividade, biodegradabilidade, biocompatibilidade e atividade antimicrobiana (HAMED; ÖZOGUL; REGENSTEIN, 2016; ZHONG *et al.*, 2021).

Ainda que o óleo da semente de maracujá seja extraído e aplicado em diferentes sistemas, o material sólido resultante, denominado de torta, detém grande potencial para utilização (KARAMAN *et al.*, 2015). O aproveitamento de subprodutos sólidos pode ocorrer pela sua transformação em matérias primas primárias como farinhas, com redução dos resíduos orgânicos descartados para o meio ambiente e sua perecibilidade. O uso da secagem promove o controle da umidade nos alimentos, dificultando o crescimento microbiano e concentrando seus compostos bioativos, fibra alimentar e minerais (LARROSA; OTERO, 2021). Essas substâncias contribuem para a redução do risco de ocorrência de doenças crônicas não transmissíveis, como câncer, obesidade e doenças cardiovasculares (CORRÊA *et al.*, 2016).

O aproveitamento integral de alimentos é uma alternativa para redução do custo de produção, incremento da composição nutricional de alimentos, além de promover uma produção sustentável, tanto do ponto de vista ambiental, como socioeconômico, atendendo ao 2º e ao 12º Objetivos do Desenvolvimento do Milênio, que versam sobre “Fome Global e Perspectivas de aumento de práticas da agricultura sustentável” e “Consumo e produção responsável”, respectivamente. Assim, estudar suas características e comportamento sob determinadas situações permite o melhor direcionamento desses materiais na indústria, tanto para processamento como para aplicação direta (BLEISCHWITZ *et al.*, 2018; BRITO *et al.*, 2020; REIS *et al.*, 2020).

Dessa forma, a presente tese buscou desenvolver e caracterizar emulsões estabilizadas por quitosana e cloridrato de quitosana para veiculação do óleo de semente de maracujá em sorvetes; estudar as características nutricionais, tecnológicas e bioativas da farinha da torta de extração do óleo para sua introdução em biscoitos tipo *cookie*.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1. MARACUJÁ E SEUS COPRODUTOS

O maracujá é uma fruta amplamente disseminada nas regiões tropicais do planeta, assim como em regiões temperadas quentes. Existem mais de 500 espécies que fazem parte da família Passifloraceae, com grande destaque para a espécie *Passiflora edulis* f *flavicarpa*, o maracujá amarelo ou maracujá azedo (PEREIRA *et al.*, 2019; REIS *et al.*, 2020; SANTOS *et al.*, 2019). Seu cultivo é de grande importância para o Brasil, responsável por safras anuais de mais de 690 mil toneladas e rentabilidade próxima a R\$1,3 bilhão de reais (IBGE, 2021).

Esses frutos de sabor intenso e elevada acidez são principalmente direcionados para a indústria de alimentos para a fabricação de sucos, néctares, doces, polpas. Essa produção promove um acúmulo de cascas e sementes, correspondente a 65-70% do peso total da fruta (REIS *et al.*, 2020; SANTOS *et al.*, 2019). Diariamente, estima-se que indústrias de pequeno e médio porte processam entre 10-100 toneladas de maracujá (REGIS; RESENDE; ANOTNIASSI, 2015), evidenciando o volume de resíduos produzidos.

O processamento do maracujá amarelo, assim como de tantas outras matérias primas vegetais, é bastante elevado, sendo um grande entrave na indústria as quantidades de resíduos produzidas. Esses componentes rejeitados na produção, que compreendem cascas, sementes, albedo e aparas detêm uma composição de interesse para a alimentação humana, devido ao seu alto teor de fibras alimentares (Tabela 1) e compostos bioativos (MALACRIDA; JORGE, 2012; REIS *et al.*, 2020).

O emprego desses resíduos na alimentação favorece o enriquecimento nutricional de produtos alimentícios, o aproveitamento integral de vegetais e o incremento do valor agregado à matéria-prima, beneficiando também o produtor (BRANCO, 2017; MALACRIDA; JORGE, 2012). O redirecionamento de cascas e sementes como matéria prima para novos produtos contribuem, economicamente, ainda mais que a comercialização única de produtos derivados da polpa do maracujá,

gerando mais empregos e diminuindo os grandes volumes de material descartado (SILVA; ORLANDELLI, 2019; SANTOS *et al.*, 2019).

Tabela 1 - Composição nutricional da polpa, farinha da casca e semente do maracujá amarelo (*Passiflora edulis f. flavicarpa*).

Componentes	Polpa	Farinha da casca	Semente
Umidade (g/100g)	85,62	7,42	10,8
Cinzas (g/100g)	0,34	6,00	1,46
Proteínas (g/100g)	0,39	8,87	10,8
Lipídios (g/100g)	0,05	3,39	23,4
Carboidratos (g/100g)	13,60	14,24	36,06
Fibras totais (g/100g)	0,2	60,08	17,48
Energia (Kcal/100g)	51	122,95	398,04

Fonte: Adaptado de CORRÊA *et al.* (2016).

Sendo assim, estima-se um elevado potencial de aplicação da semente a nível industrial, buscando agregar valor econômico, científico, tecnológico e, sobretudo, exercendo atividades que promovam a sustentabilidade da cadeia produtiva de alimentos (REIS *et al.*, 2020; SANTOS *et al.*, 2019).

Um amplo espectro atividades biológicas já foi associado a extratos da folha, casca e semente do maracujá, como as ações anti-inflamatória, antitumoral, citotóxica, antiproliferativa, antioxidativa, antimicrobiana, hemolítica, anti-hipertensiva, vasodilatador, hipoglicêmica, hipolipidêmica, hipocolesterolêmica, cicatrizante, anticoagulante, ansiolítica, anticonvulsivante, sedativa, hipnótica, antidepressiva, antiespasmódica, espermicida e antitussígena (ALVES *et al.*, 2021; MOTA, 2015; ZERAIK *et al.*, 2010). Seu aproveitamento como matéria prima para alimentos perpassa uma variedade de produtos, como doces, geleias, bolos, barras de cereal e óleos, também sendo aplicado na elaboração de cosméticos e fitoterápicos (SANTOS *et al.*, 2019).

A caracterização e aplicação da farinha da casca de maracujá já está bem estabelecida na literatura. É composta por carboidratos (majoritariamente pectina), proteínas, vitaminas do complexo B, ferro, cálcio, fósforo e sódio, como também carotenoides, compostos fenólicos, minerais. A pectina tem capacidade de formar gel,

com ampla aplicação como agente de gelificação em alimentos. Uma vez no organismo humano, a pectina contribui para uma menor absorção de carboidratos (REIS *et al.*, 2020).

As sementes de maracujá (5-13% da fruta) apresentam composição rica, sendo fonte de proteínas, fibras, lipídeos, e compostos bioativos (Tabela 1). A fração lipídica, além da função nutritiva, também concentra compostos fenólicos que atuam em processos bioquímicos e fisiológicos, com significativo potencial antioxidante (MALACRIDA; JORGE, 2012; PERTUZATTI *et al.*, 2015; SANTOS *et al.*, 2019). A presença de tais compostos reforça a qualidade nutricional e funcional da semente, juntamente com a presença de vitaminas, sais minerais (Na, K, Mg, Ca, Zn, Al, Mn, Fe) e outros compostos fundamentais para manutenção da saúde (MOTA *et al.*, 2018; REIS *et al.*, 2020; SANTOS *et al.*, 2019).

Em avaliação da qualidade das fibras alimentares presente na semente de maracujá, Chau e Huang (2004) identificaram diferentes monossacarídeos, como xilose, ramnose, galactose, arabinose, manose. O consumo de fibras promove a redução da incidência de doenças cardiovasculares, controle da glicemia, auxilia no controle do peso, na redução do risco de câncer de cólon, entre outros benefícios (ALVES *et al.*, 2021; BAUMGARTNER *et al.*, 2018).

Malacrida e Jorge (2012) quantificaram o teor de fenólicos totais presente na semente e obtiveram 41,2 mg equivalente de ácido gálico (EAG)/g de amostra seca. Em avaliação do potencial bioativo de resíduos de dez vegetais na Colômbia, Alzate e colaboradores (2017) reportaram que os subprodutos do maracujá apresentaram teores significativos de carotenoides (2,31 mg de β -caroteno/100g) e fenólicos totais (69,42 mg EAG/ 100g).

Dentre os compostos bioativos detectados em sementes de maracujá, podem ser relatados carotenoides (ζ -caroteno, fitoeno, fitoflueno, neurosporeno, β -caroteno, licopeno, pró-licopeno, monoepóxi- β -caroteno, β -criptoxantina, β -citraurina, anteraxantina, violaxantina e neoxantina) e antocianinas (cianidinas, glucosídeos, galactopiranosídeos), como também ácido ascórbico (ALVES *et al.*, 2021; ZERAIK *et al.*, 2010). Piombo e colaboradores (2006) também relatam a presença de fitoesteróis (campesterol, estigmasterol, β -sitosterol e δ -5 avenasterol) e tocoferóis (α -tocoferol, β -tocoferol, γ -tocoferol e δ -tocoferol) nessas sementes.

Em relação à atividade antimicrobiana, a literatura relata ação antifúngica da semente do maracujá relacionada à presença do peptídeo Pe-AFP1, semelhante a albuminas 2S. Pelegrini e colaboradores (2006) reportaram inibição de crescimento dos fungos filamentosos *Trichoderma harzianum*, *Aspergillus fumigatus* e *Fusarium oxysporum*, com redução de 80%, 60% e 70%, respectivamente.

As sementes de maracujá são direcionadas para produção de óleo, suprindo as indústrias cosmética e de alimentos (BARRALES; REZENDE; MARTÍNEZ, 2015; LIMA; XAVIER-JÚNIOR; STAMFORD, 2020). O óleo extraído dessa semente tem cor amarelo clara, sabor agradável e odor suave. Apresenta elevado teor de β -caroteno (74%), sendo considerado uma fonte potencial de pró-vitamina A (REGIS; RESENDE; ANOTNIASSI, 2015). É composto de ácidos graxos insaturados (Tabela 2), fitoesteróis, carotenoides, tocoferóis, substâncias com papel de grande significância para redução do risco de doenças crônicas (cardiovasculares, neurológicas, neoplásicas), apresentando também potencial hipocolesterolêmico (LIMA; XAVIER-JÚNIOR; STAMFORD, 2020; LUCARINI *et al.*, 2019b; PEREIRA *et al.*, 2019).

O elevado teor de ácidos graxos insaturados do óleo de semente de maracujá se deve, aos ácidos linoleico (ω -6), ácido oleico (ω -9) e linolênico (ω -3) (Tabela 2). Os ácidos graxos ω -3 e ω -6 são considerados essenciais, pois desempenham funções fundamentais no organismo humano, na manutenção de membranas celulares e desenvolvimento do sistema nervoso, como também na transmissão de impulsos nervosos (VIANA; DANTAS; MENEZES, 2016; ZERAIK *et al.*, 2010).

As propriedades físico-químicas desse óleo o tornam semelhantes a outros já bem consolidados no consumo humano, como os óleos de soja, milho e gergelim. Seu coeficiente de digestibilidade (98%) é próximo ao de óleo de algodão. Seus baixos teores de acidez e peróxidos refletem sua conservação frente a reações oxidativas e hidrolíticas. A alta concentração de ácidos graxos insaturados e baixo teor de saturados fazem do óleo de semente de maracujá uma opção de qualidade para consumo humano, reforçando sua aplicabilidade na indústria de alimentos (DELFINI, 2016; MALACRIDA; JORGE, 2012).

Tabela 2 - Composição química percentual de óleos de semente de maracujá amarelo (*Passiflora edulis f flavicarpa*), milho, soja e girassol.

Composição	Óleo de semente de maracujá ¹	Óleo de Milho (<i>Zea mays</i>) ²	Óleo de Soja (<i>Glycine max</i>) ²	Óleo de Girassol (<i>Helianthus annuus</i>) ²
Ácido palmítico (C16:0)	9,73 ± 0,01	11,28 ± 0,72	11,35 ± 0,56	6,68 ± 0,23
Ácido esteárico (C18:0)	2,58 ± 0,01	2,91 ± 0,22	4,74 ± 0,45	5,13 ± 0,51
Ácido oleico (C18:1)	13,83 ± 0,04	26,61 ± 0,51	23,3 ± 0,37	26,65 ± 0,46
Ácido linoleico (C18:2)	73,14 ± 0,05	53,93 ± 0,47	51,23 ± 0,30	58,52 ± 0,35
Ácido linolênico (C18:3)	0,41 ± 0,00	2,21 ± 0,10	5,58 ± 0,12	0,17 ± 0,01

Fonte: (MALACRIDA; JORGE, 2012)¹; (AYYILDIZ *et al.*, 2015)²

Pereira *et al.* (2019) realizaram a extração do óleo de semente de maracujá e detectaram uma composição lipídica predominante de ácido linoleico (66,64-68,99%), seguido de ácido oleico (17,11-17,30%), ácido palmítico (10,22-10,49%), ácido esteárico (2,87-2,93%) e ácido α -linolênico (0,32-0,36%). Os autores também relataram teores de tocoferóis totais entre 298-822 mg/Kg, com destaque para o δ -tocoferol, concentração de fenólicos totais de 1,31 mg EAG /g e 209 mg de fitoesteróis/100g de amostra, com predomínio de stigamasterol, β -sitosterol e campesterol. Reportaram também ação antimicrobiana contra bactérias Gram-positivas (*Staphylococcus aureus* e *Bacillus cereus*) and Gram-negativas (*Escherichia coli* e *Salmonella enteritidis*). Esses achados corroboram pesquisas anteriores com o referido óleo (LOPES *et al.*, 2010; MALACRIDA; JORGE, 2012; PERTUZATTI *et al.*, 2015; PIOMBO *et al.*, 2006; REGIS; RESENDE; ANOTNIASSI, 2015).

A busca por fontes alternativas de óleos com alto valor nutritivo e fonte de ácidos graxos cardioprotetores têm aumentado bastante, uma vez que o consumo de

óleos vegetais ricos em ácidos graxos essenciais é fundamental, por não serem sintetizados pelo organismo (ROJAS, 2018; SANTOS *et al.*, 2019).

Nesse processamento, a extração contabiliza quantidades variáveis de óleo, juntamente com o acúmulo de grandes quantidades de torta, material sólido parcialmente desengordurado, com elevado potencial nutricional e bioativo (KARAMAN *et al.*, 2015; LUCARINI *et al.*, 2019b). Apesar de seu potencial, a torta da semente ainda apresenta escassa pesquisa sobre suas aplicações em matrizes alimentares.

A aplicação da semente e de seus derivados em alimentos contribui para o enriquecimento nutricional de diversos produtos, com também agrega valor à cadeia produtiva da fruta, beneficiando tanto os produtores como os consumidores. A aplicação integral da fruta representa uma alternativa mais interessante que o uso exclusivo da polpa, visto que amplia a geração de empregos e redução da produção e resíduos orgânicos, forte poluente ambiental (MALACRIDA & JORGE, 2012; SANTOS *et al.*, 2019).

Pelo exposto, a semente de maracujá é mais uma matéria-prima de grande valor para a aquisição desses ácidos graxos com atividade funcional, mas também pela potencialidade de aplicações da torta da semente na alimentação humana, permitindo a ingestão de compostos importantes não só para uma boa nutrição, mas para promoção de saúde.

2.2. EMULSÕES

2.2.1. Aspectos gerais de emulsões

Emulsões são sistemas coloidais que podem ser formados por duas fases, uma aquosa e uma oleosa (SHARKAWY; BARREIRO; RODRIGUES, 2020). São sistemas adequados para o carreamento de fitoquímicos lipofílicos, ao apresentar um interior lipídico líquido envolvido por um revestimento de emulsificante, de fácil produção, alta capacidade de agregar a fase interna, podendo empregar apenas componentes

naturais. Macroscopicamente, podem ser claros ou opacos. Por outro lado, são sistemas termodinamicamente instáveis e propensos aos fenômenos de floculação e cremação (JU *et al.*, 2020; McCLEMENTS, 2020).

Segundo McClements (2020), as fases presentes nas emulsões podem ser classificadas como fase dispersa (descontínua ou interna), sendo representadas pelas gotas; enquanto isso, o meio no qual as gotas se encontram dispersas recebe o nome de fase dispersante (contínua ou externa), como observado na Figura 1. Quando a fase dispersa é constituída de meio oleoso e a fase dispersante é composta de meio aquoso, a emulsão é dita do tipo óleo em água (Figura 1a). No caso de dispersões do tipo água em óleo (Figura 1b), os referidos meios que compõem as fases descontínua e contínua se invertem (MATOS, 2019; McCLEMENTS, 2021).

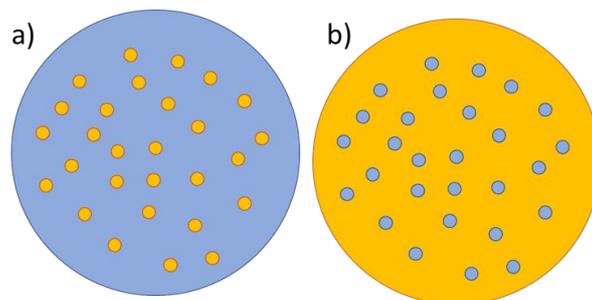


Figura 1 - Fases *aquosa* (azul) e *oleosa* (amarelo) das emulsões do tipo óleo em água (a) e do tipo água em óleo (b).

Fonte: Autoria própria (2022).

Quanto ao tamanho das gotículas, as emulsões podem ser agrupadas em microemulsões e nanoemulsões. As microemulsões são sistemas coloidais termodinamicamente estáveis, comumente formados por partículas dispersas em água, com gotículas de diâmetros superiores a 200 nm (McCLEMENTS, 2013). Podem ser formados espontaneamente por agitação na presença de emulsificantes anfifílicos ou polímeros dispersos em meio aquoso, o que favorece a sua aplicação em larga escala. Esses sistemas são indicados para a encapsulação de compostos lipofílicos, sistemas com interior hidrofóbico e exterior hidrofílico. Além da possibilidade de ampliação de sua produção, microemulsões podem apresentar vida de prateleira prolongada, devido à sua estabilidade termodinâmica (McCLEMENTS, 2020, 2021).

Nanoemulsões são definidas como dispersões compostas por pelo menos duas fases líquidas imiscíveis e por agentes emulsificantes que atuam na estabilização das gotas (McCLEMENTS, 2020). Para serem classificados na escala nanométrica, esses sistemas devem apresentar gotas com tamanho inferior a 200 nm. Quando sistemas apresentam gotículas de diâmetro inferior a 50 nm, podem ser amplamente empregadas na fortificação de água, sucos e outras bebidas. Do ponto de vista termodinâmico, as nanoemulsões são sistemas instáveis e, portanto, requerem a aplicação de energia para a sua formação (McCLEMENTS, 2021).

As emulsões podem ser obtidas por métodos de alta e baixa energia. Técnicas de alta energia requerem o uso de agitação mecânica para a formação do sistema. A aplicação conjunta de forças de cisalhamento pode contribuir para a redução do tamanho das gotículas formadas da escala micro para a escala nanométrica. A energia mecânica fornecida ao sistema pode ser advinda de homogeneizadores de alta pressão, microfluidizadores, ultrassom. Já as de baixa energia se baseiam na formação espontânea das gotículas de óleo em sistemas óleo-água-tensioativo, podendo ser obtidas por inversão de fases (por composição ou temperatura) ou emulsificação espontânea (McCLEMENTS, 2020, 2021).

Os sistemas formados por esses métodos têm sua estabilidade e características dependentes de fatores como a composição da amostra, concentração de tensoativos, tensão superficial, viscosidade das fases, aspectos do equipamento (vazão, energia fornecida ao sistema, temperatura) (McCLEMENTS, 2020). Podem ser produzidas a partir de variados emulsificantes naturais, como proteínas, polissacarídeos, fosfolipídios, biosurfactantes e saponinas, principalmente de origem vegetal (McCLEMENTS, 2021).

Do ponto de vista industrial, a utilização de métodos de alta energia requerem alto investimento, embora possibilitem maior variabilidade de ingredientes nos sistemas, em comparação aos permitidos pelos métodos de baixa energia. Por outro lado, técnicas de baixa energia apresentam custos mais baixos, podendo ser mais facilmente implementadas para produção em larga escala (MATOS, 2019; McCLEMENTS, 2020, 2021).

Como mencionado anteriormente, a composição do sistema modifica sua estabilidade e características. Maiores volumes de óleo podem requerer elevadas concentrações de tensoativos, podendo modificar as características organolépticas do

produto no qual as emulsões foram aplicadas, ou até mesmo torná-los impróprios para consumo (MATOS, 2019; McCLEMENTS, 2020).

Os tensoativos representam um papel significativo na formação das emulsões (McCLEMENTS, 2020). Espera-se que emulsificantes de origem vegetal apresentem certas características, como alta solubilidade em água, superfície ativa, rápida cinética de absorção, devendo estar presente em concentrações suficientes para a cobertura completa da superfície das gotículas durante a homogeneização (McCLEMENTS, 2021).

Esses sistemas vêm sendo amplamente estudados para o carreamento de compostos lipídicos, nos quais a fase oleosa atua como dispersante dos fitoquímicos antes da formação da emulsão, aumentando sua dispersão em água, bioacessibilidade e biodisponibilidade (McCLEMENTS, 2020). A literatura reporta a aplicação de diversos compostos lipofílicos em emulsões, como quercetina (CHEN *et al.*, 2020; DU *et al.*, 2022), betacaroteno (LI *et al.*, 2020), curcumina (MIAO *et al.*, 2021), zeaxantina (LIU *et al.*, 2022), óleo de krill (*Euphausia superba*) (EL-MESSERY *et al.*, 2020), óleo de coco (HONG *et al.*, 2022), óleo de macadâmia (ZHONG *et al.*, 2021), vitamina D (SHAH; XU; MRÁZ, 2021), óleo de milho (ZHAO *et al.*, 2022), óleo de canola (WYNNYCHUK *et al.*, 2021), vitamina E (RIBEIRO *et al.*, 2022), óleo de café (RIBEIRO *et al.*, 2020a).

2.2.2. Estabilidade físico-química de emulsões

A estabilidade físico-química de emulsões pode ser avaliada termodinâmica ou cineticamente. De acordo com a primeira, a estabilidade estaria relacionada à energia livre positiva resultante da interface entre as fases oleosa e aquosa. Como a estabilidade termodinâmica não indica variações das propriedades de um sistema no decorrer do tempo, o segundo tipo é mais ajustável às emulsões aplicadas em produtos alimentícios (MATOS, 2019; McCLEMENTS, 2021).

A avaliação da estabilidade cinética considera a natureza dinâmica dos sistemas e as interações entre as gotículas neles presentes geradas por forças externas e o próprio movimento Browniano, o que promove um estado contínuo de

movimento às gotículas e choque constante entre elas. Essas interações podem causar a aglutinação de gotículas e a separação de fases (MATOS, 2019). Os principais fenômenos que interferem na estabilidade de emulsões estão apresentados na figura 2.

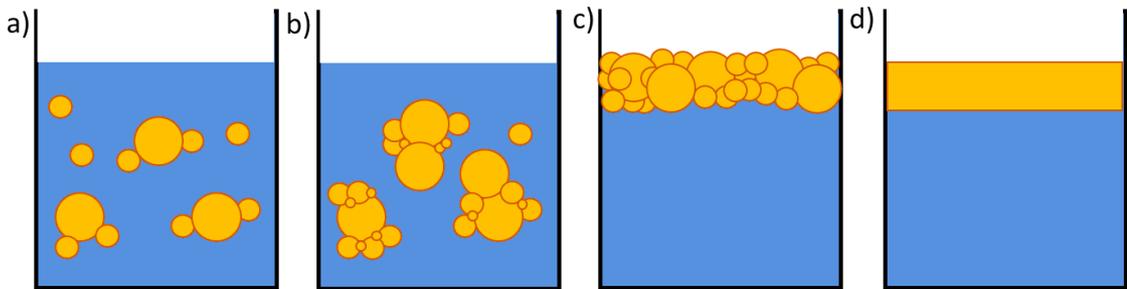


Figura 2 - Fenômenos que afetam a estabilidade de emulsões: coalescência (a), floculação (b), cremação (c) e separação de fases (d).

Fonte: Adaptado de MATOS (2019).

Durante a coalescência (Figura 2a) ocorre a aglutinação das gotículas de gordura, formando gotículas maiores, o que reduz a ação de emulsificantes devido a uma menor área interfacial das gotas. A floculação (Figura 2b) é resultante da junção de gotículas, gerando um agregado sem alterar suas dimensões originais. A cremação (Figura 2c) ocorre por ação gravitacional sobre as gotículas que são deslocadas para cima, por serem menos densas que a fase contínua. A separação de fases (Figura 2d) é consequência da maturação de Ostwald, ou seja, a incorporação das gotículas menores pelas maiores, graças a uma maior diferença de energia livre entre ambas. Essa fusão progressiva culmina em fase oleosa de apenas uma gota e separação das fases do sistema (LIU *et al.*, 2019; MATOS, 2019; RIBEIRO, 2021).

A produção desses sistemas normalmente requer surfactantes sintéticos, que podem alterar as características sensoriais dos produtos, como o sabor, e conferir toxicidade, a depender da sua concentração. Estudos têm sido desenvolvidos no intuito de reduzir o uso de surfactantes sintéticos, como a aplicação de caseína e saponinas para a formação de micelas naturais. Os surfactantes naturais também permitem uma maior capacidade de carreamento, em comparação aos surfactantes sintéticos (McCLEMENTS, 2020).

2.2.3. Emulsões com estabilizantes coloidais

Além dos surfactantes clássicos aplicados para estabilização de emulsões, existem os chamados estabilizantes coloidais, ou seja, partículas sólidas orgânicas ou inorgânicas capazes de interagir parcialmente tanto com a fase oleosa quanto com a aquosa, reduzindo a energia interfacial entre as fases imiscíveis. Tais produtos são classificados como emulsões do tipo *pickering* (SHARKAWY; BARREIRO; RODRIGUES, 2020). Essa abordagem permite que o sistema seja estabilizado por uma barreira rígida ao redor das gotículas, reduzindo sua mobilidade e aumentando o impedimento estérico entre suas fases (BERTON-CARABIN; SCROËN, 2015; JIANG; SHENG; NGAI, 2020).

A aplicação desse tipo de emulsão é benéfica por reduzir o uso de emulsificantes tradicionais, minimizando os efeitos adversos tanto para o meio ambiente quanto para a saúde dos consumidores, devido à sua toxicidade (SHARKAWY; BARREIRO; RODRIGUES, 2020). Emulsões do tipo *pickering* são menos suscetíveis a desestabilização por coalescência e amadurecimento de Ostwald (WANG *et al.* 2020). Dentre estas partículas sólidas estão proteínas e polissacarídeos (Tabela 3). Nesta pesquisa, focaremos em dois polímeros: a quitosana e o cloridrato de quitosana.

O primeiro composto é um polissacarídeo derivado da desacetilação da quitina, composto presente no exoesqueleto de crustáceos e na parede celular de fungos, principalmente de Zigomicetos (MELO *et al.*, 2018). Quimicamente, é um polissacarídeo policatiônico formado por unidades de β -1,4-D-glicosamina ligadas a resíduos de N-acetil-glicosamina, sendo solúvel em soluções ácidas diluídas, ou seja, com pH abaixo do seu pKa (pH<6,5), mas insolúvel em água e solventes orgânicos. Em meios neutros e básicos, a quitosana apresenta grupamentos amina livres, que adquirem conformação protonada em pH ácido, tornando o polímero hidrossolúvel (HAN *et al.*, 2020; MELO *et al.*, 2018; SHARKAWY; BARREIRO; RODRIGUES, 2020).

O cloridrato de quitosana é um dos mais importantes derivados hidrossolúveis da quitosana. Este sal é obtido pela degradação enzimática da quitosana em solução de ácido clorídrico pela atuação de quitosanases. Diferente da quitosana, esse

derivado é solúvel em meios neutros e alcalinos (KUROZUMI *et al.*, 2019; LI *et al.*, 2019; YAN *et al.*, 2020).

Ambos os polímeros apresentam biofuncionalidade (atividades antimicrobiana, antitumoral e antioxidante), biocompatibilidade, biodegradabilidade e atoxicidade (ARANAZ *et al.*, 2021; MELO *et al.*, 2020). Com a elevação do pH, ocorre agregação desses polímeros, o que possibilita sua aplicação como estabilizante em emulsões *pickering*. Sua capacidade emulsificante é dependente de sua concentração (superior a 0,75%) e derivada de sua heterogeneidade de estrutura, apresentando as unidades de D-glucosamina e os grupamentos N-acetis como porções hidrofílicas e hidrofóbicas, respectivamente (SHARKAWY; BARREIRO; RODRIGUES, 2020).

Além das propriedades biológicas, a aplicação de partículas desses polímeros contribui para a liberação controlada dos compostos, proteção contra degradação, aumento da biodisponibilidade durante a digestão. Além das funcionalidades apresentadas acima, a aplicação de quitosana em alimentos, como fibra dietética, confere benefícios à saúde por sua capacidade de ligação com a gordura, auxiliando no controle da obesidade, na redução do colesterol total e do LDL (HAN *et al.*, 2020; SHARKAWY; BARREIRO; RODRIGUES, 2020).

Tabela 3 – Emulsões do tipo *Pickering* para a veiculação de compostos lipofílicos.

Estabilizante coloidal	Aplicação	Resultados	Referência
Amido de arroz	Óleo de girassol	Estabilidade oxidativa ampliada em combinação a surfactantes aniônicos	Song <i>et al.</i> (2020)
Nanofibras de celulose	Vitamina D	Maior proteção contra estresse ambiental	Winuprasith <i>et al.</i> (2018), Mitbumrung <i>et al.</i> (2019)
Quitosana	Óleo de canola	Melhora das propriedades viscoelásticas e na estabilidade de armazenamento	Wang <i>et al.</i> 2020
Quitosana	Óleo de café torrado	Emulsões estáveis e maior proteção a compostos bioativos	Ribeiro <i>et al.</i> (2020a)
Quitosana-goma arábica	Azeite de oliva	Melhor estabilidade a longo prazo com o aumento do teor de óleo e de nanopartículas	Sharkawy; Barreiro; Rodrigues (2019)
Proteína isolada de soja e antocianinas	Óleo de soja	Maior estabilidade oxidativa e resistência à digestão <i>in vitro</i>	Ju <i>et al.</i> (2020)
β -lactoglobulina– Epigallocatequina–3-galato (EGCG)	Luteína	Aumento da estabilidade por repulsão estérica	Su <i>et al.</i> (2020)
Nanofibras de frutas cítricas-ácido tânico	Óleo de abacate	Maior estabilidade oxidativa pela camada antioxidante protetora sobre o óleo	Wang <i>et al.</i> (2018)
Gliadina-quitosana	Curcumina	Efeito protetor e conversão de óleos polinsaturados em semissólidos viscoelásticos	Zeng <i>et al.</i> (2017)

Gliadina + goma arábica	Óleo de milho	Maior estabilidade a pH, força iônica e temperatura	Ma <i>et al.</i> (2020)
Proteína de ervilha + polissacarídeos	Óleo de girassol	Menor perda de óleo com possível aplicação em substitutos de gordura em alimentos	Velez-Eraza <i>et al.</i> (2020)

Fonte: Autoria própria (2022).

2.3. DESENVOLVIMENTO DE SORVETES FUNCIONAIS

Sorvete é uma das sobremesas geladas mais consumidas no mundo, concentrando mais de 80% desse consumo, o correspondente a um volume anual de 5,75 bilhões de litros (MOHAMMED; MUHIALDIN; MEOR HUSSIN, 2020). Espera-se que em 2024, a produção mundial de sorvetes seja capaz de movimentar US\$ 75 bilhões de dólares (GENOVESE *et al.*, 2022).

Segundo a Resolução de Diretoria Colegiada (RDC) 713/2022 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) (BRASIL, 2022), essas sobremesas são produtos congelados obtidos a partir de emulsão de gorduras e proteínas, ou de uma mistura de água e açúcares. Apesar de apresentar composição variada, sorvetes são produtos complexos por serem formados por uma fase não congelada (soro), cristais de gelo, uma fase lipídica e bolhas de ar (HOMAYOUNI *et al.*, 2018; KLOJDOVÁ; STATHOPOULOS, 2022). Para a obtenção das três fases existentes nos sorvetes – ar, líquido e sólido – a mistura dos ingredientes empregados é submetida a pasteurização, homogeneização, maturação, aeração e congelamento (KLOJDOVÁ; STATHOPOULOS, 2022).

Os sorvetes convencionais têm como importante componente o leite, matéria prima fonte de proteínas, vitaminas e minerais e com alto valor nutritivo (SOUKOULIS; FISK; BOHN, 2014). Os principais componentes encontrados nesse produto são lipídios (10-18%) e açúcar (15-18%) (KLOJDOVÁ; STATHOPOULOS, 2022). Entretanto, a demanda atual espera o desenvolvimento de produtos mais naturais que apresentem benefícios além do seu valor nutricional, podendo também contribuir por agregar funções biológicas aos alimentos, ou seja, tem-se buscado uma maior variedade de produtos funcionais (GENOVESE *et al.*, 2022; KLOJDOVÁ; STATHOPOULOS, 2022; MOHAMMED; MUHIALDIN; MEOR HUSSIN, 2020). Os sorvetes podem ser classificados de acordo com o seu teor de gordura, como observado na Tabela 4.

A elaboração de sorvetes funcionais enriquecidos com compostos fenólicos, óleos vegetais, proteínas, vitaminas, fibras, entre outros componentes têm sido alvo de pesquisas a nível acadêmico e industrial (ARSLANER & SALIK, 2020; MOHAMMED; MUHIALDIN; MEOR HUSSIN, 2020). Esses compostos, uma vez

introduzidos no alimento, têm seu consumo elevado, o que pode contribuir para a prevenção e controle de sintomas de doenças cardiovasculares, obesidade, diabetes, doenças inflamatórias intestinais (KLOJDOVÁ; STATHOPOULOS, 2022). Esse ainda é um nicho de mercado em fortalecimento, que têm prospecção de lucro próximo a \$320 milhões de dólares nos próximos anos (GENOVESE *et al.*, 2022).

Tabela 4 - Classificação dos tipos de sorvete, composições e teores de gordura.

Tipo	Composição	Teor de gordura (%)
Sorbet	Água, polpa ou sucos de frutas	0
Sherbet	Leite com teor reduzido de gordura, proteínas. Gordura apenas de origem láctea.	1-2
Sorvete tradicional	Leite e gordura de outros ingredientes.	6-10
Sorvete premium	Leite e outros ingredientes com teor de gordura superior a 10%.	10-16
Sorvete superpremium	Leite ou derivados lácteos e outros ingredientes com teor de gordura superior a 16%.	>16

Fonte: (SEBRAE, 2017).

A introdução de lipídios bioativos em alimentos tem como entrave a maior propensão a processos oxidativos, o que culmina no desenvolvimento de *off-flavors* e na perda da funcionalidade de seus compostos (CHEN *et al.*, 2013; DUHAN, BARAK, & MUDGIL, 2020). Por exemplo, óleos vegetais ricos em fitoquímicos já vem sendo estudados para produção de sorvetes funcionais, como óleo de chia (*Salvia hispanica* L.) (ULLAH; NADEEM; IMRAN, 2017), de avelã (*Corylus avellana*) e azeite de oliva (*Olea europaea*) (GÜVEN; KALENDER; TAŞPINAR, 2018) e de linhaça (*Linum usitatissimum*) (GOWDA *et al.*, 2018).

Entretanto, devido a sua alta hidrofobicidade, a aplicação de óleo *in natura* pode comprometer a estabilidade dos sorvetes. Logo, o desenvolvimento de sistemas como emulsões, lipossomas, nanocarreadores e sólidos amorfos se mostram como alternativas de minimizar esses efeitos (MOHAMMED; MUHIALDIN; MEOR HUSSIN, 2020). A introdução de emulsões em sorvetes traz a vantagem de modificação do perfil lipídico do produto, sem alterações ao sabor do produto. É importante salientar que a adição de emulsões em sorvetes varia em questão de concentrações aplicadas, a fim de minimizar os efeitos negativos sobre as características sensoriais do produto

base (AKBARI; ESKANDARI; DAVOUDI, 2019; KLOJDOVÁ; STATHOPOULOS, 2022).

Ao aplicar emulsões como componentes de sorvetes, observar cada etapa de produção é fundamental para a manutenção da estabilidade do sistema, assim como de suas propriedades sensoriais e de textura. Esses aspectos são cruciais para uma boa aceitação frente ao mercado consumidor (SYED, 2018; GENOVESE *et al.*, 2022).

A pasteurização objetiva conferir segurança microbiológica ao produto, mas é uma etapa crítica para emulsões, uma vez que o calor pode comprometer sua estrutura (KLOJDOVÁ; STATHOPOULOS, 2022). A homogeneização dos ingredientes é uma etapa que pode ocorrer com aquecimento (40°C), a fim de melhorar a ação emulsificante de componentes como as proteínas do leite. Essas mesmas substâncias contribuem positivamente para a estabilidade de emulsões adicionadas nesse tipo de produto (ALHAJJ *et al.*, 2020; DENG, 2021; MOSTAFAVI *et al.*, 2017).

O processo de maturação consiste no resfriamento da mistura a 5°C para que as proteínas do leite possam ser devidamente hidratadas e ocorra a cristalização dos glóbulos de gordura. O processo de aeração se dá com o resfriamento rápido da mistura até -5°C, o que aumenta a formação das bolhas de ar e reduz o tamanho dos cristais de gelo formados, o que culmina em maior cremosidade do produto. Na elaboração de sorvetes adicionados de emulsões, o rápido congelamento da mistura e a manutenção do sorvete a temperaturas inferiores a -10°C desenvolvem e mantem cristais de gelo menores, atuando como um estabilizante dos sistemas emulsionados (KLOJDOVÁ; STATHOPOULOS, 2022).

A adição de emulsões em sorvetes deve levar em consideração não só o processo de elaboração, mas também as possíveis alterações sensoriais causadas no produto (OPPERMANN *et al.*, 2016). A estabilidade dos sistemas pode afetar as características sensoriais esperadas para esse tipo de produto, com modificação de sabor, aroma e textura. Nesse sentido, a aplicação de emulsões estabilizadas por partículas sólidas pode ser uma alternativa promissora para a incorporação desses sistemas em sorvetes (KUMAR *et al.*, 2019; QI *et al.*, 2021).

Alterações na composição dos alimentos podem comprometer não só suas características sensoriais, mas também aspectos reológicos. Modificação no teor e no perfil lipídico de sorvetes se refletem na sua textura cremosa, liberação de sabor,

resistência ao derretimento, estabilidade das bolhas de ar, retenção de forma, sensação bucal (ROLON *et al.*, 2017). A introdução de óleos vegetais ricos em ácidos graxos insaturados em sorvetes à base de leite melhora a composição lipídica desses produtos, com um menor uso de gordura do leite, rica em ácidos graxos saturados, cujo consumo deve ser reduzido, segundo a Organização Mundial de Saúde (WHO, 2019).

Nesse sentido, a fim de elevar o consumo de ômega-3, óleo de linhaça foi aplicado como substituto de gordura do leite em sorvetes (0%, 3%, 6%, 9% e 12%). A adição de maiores proporções de óleo nas formulações (12%) ocasionou maior taxa de derretimento e menor dureza nos produtos, graças à baixa temperatura de fusão do óleo (GOH, YE, & DALE, 2006). Já em estudo com a elaboração de sorvetes com ácidos graxos insaturados (ácidos oleico e linoleico) ou saturados (óleo de coco), Marín-Suárez *et al.* (2016) observaram que o primeiro grupo melhorou sua taxa de derretimento combinada a uma redução leve da incorporação de ar (*overrun*).

A introdução de ácido oleico como substituto da gordura láctea em sorvetes foi investigada por Nadeem, Situ e Abdullah (2015). Os produtos desenvolvidos apresentaram características sensoriais aceitáveis, mas sua vida útil foi significativamente reduzida pela oxidação. Óleo de chia foi adicionado na formulação de sorvetes em estudo de Ullah, Nadeem e Imran (2017), cujos produtos apresentaram suas melhores propriedades antioxidantes pela presença de polifenóis e flavonoides do óleo, além de maior teor de ômega-3.

As pesquisas apresentadas evidenciam as possibilidades de aplicação de óleos em sorvetes como alternativa de incremento de seu perfil lipídico inicial. Apesar da modificação das propriedades reológicas do sorvete, é preciso avaliação da forma de veiculação do óleo estudado, a fim de evitar ou retardar possível oxidação. Caso não seja adicionado na forma direta, óleos veiculados com emulsões, oleogeis ou encapsulados requerem cuidados quanto ao processamento do sorvete, a fim de não comprometer os sistemas empregados. Combinado a essas precauções, a avaliação da manutenção ou possível melhora das características tecnológicas e sensoriais é primordial para uma escolha apropriada do produto com maior potencial de aceitação no mercado.

2.4. APLICAÇÃO DE FARINHAS DE SUBPRODUTOS VEGETAIS

Nas últimas décadas, uma maior preocupação com o meio ambiente tem-se refletido em todos os setores produtivos, com grande importância para o setor alimentício. Muito tem-se estudado como associar impacto ambiental positivo ao desenvolvimento tecnológico e econômico (BRITO *et al.*, 2020; SILVA *et al.*, 2014; FERREIRA *et al.*, 2020; KAUR *et al.*, 2018).

Um ponto fundamental a ser minimizado para se alcançar um desenvolvimento sustentável é o desperdício de alimentos. O Brasil compõe a lista dos 10 países com maiores índices de desperdício (MARTINS; VIANA; CAPPATO, 2022). Ao ano, contabiliza-se entre 30-40% da produção mundial de alimentos que não alcança o consumidor, o equivalente 1,3 bilhões de toneladas de partes não convencionalmente comestíveis (BRESSIANI *et al.*, 2017; BRITO *et al.*, 2020).

Em indústrias de polpa de frutas, por exemplo, esse montante pode alcançar até 70% de suas matérias-primas, como cascas, talos e sementes. Atualmente, estudos mostram que esses subprodutos apresentam alto potencial de aproveitamento, devido aos teores de proteínas, fibras, vitaminas, minerais e compostos bioativos, benéficos à saúde humana e para melhora da composição dos alimentos (ALVES *et al.*, 2021; BARREIRA *et al.*, 2019).

O descarte desses elementos demanda um custo de direcionamento para aterros ou incineração, trazendo efeitos negativos ao meio ambiente, quando poderiam ser beneficiados. A questão do manejo de resíduos é fundamental, uma vez que esses subprodutos são propensos à deterioração microbiana, requerendo medidas de controle rápidas que possibilitem o seu uso e impeçam a poluição ambiental. Assim, sua utilização representa uma alternativa eficiente, barata e sustentável (BRITO *et al.*, 2020; KUMAR *et al.*, 2019; SANTOS *et al.*, 2018). Além disso, o aproveitamento de resíduos agroindustriais contribui para a valorização de produtos locais com geração de renda e combate à fome, promovendo, assim, uma maior segurança alimentar (DIAS; SAJIWANIE; RATHNAYAKA, 2020).

A reintrodução de resíduos agroindustriais na cadeia produtiva de alimentos reforça a importância de ações que corroborem com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Organização das Nações Unidas, principalmente o objetivo 12

(“Consumo e produção responsáveis”), referente a uma menor geração de resíduos através da prevenção, redução, reciclagem e reuso (BLEISCHWITZ *et al.*, 2018).

A produção de alimentos mais saudáveis, com melhor aporte nutricional e de compostos funcionais, obtido a partir de processos sustentáveis vêm sendo um dos principais objetivos de diversas pesquisas na área, seja pela área acadêmica como pela própria indústria alimentícia. Essa visão é consonante ao desenvolvimento de melhores hábitos alimentares que vêm sendo observados na sociedade mundial, como forma de se alcançar promoção e proteção à saúde (FERREIRA *et al.*, 2020; VIOLA, 2015). Alimentos fortificados com ingredientes naturais são bem aceitos pelos consumidores, por representarem um maior comprometimento com a preservação ambiental. Assim, resíduos vegetais apresentam grande potencial como fonte de ingredientes naturais (CAGGIA *et al.*, 2020).

A transformação de materiais sólidos em farinhas é de grande ajuda para futuras aplicações tecnológicas, uma vez que possibilita a redução de volumes de matéria, além de aumentar sua vida de prateleira, minimizando as condições favoráveis ao crescimento microbiano através da secagem (BATISTA *et al.*, 2018). Essas farinhas podem compor diversos produtos funcionais, trazendo benefícios pelos seus teores mais elevados de compostos bioativos, fibra alimentar e minerais, como visto no uso de farinhas integrais em produtos de panificação e confeitaria (KAUR; SHARMA, 2017; LÓPEZ-VARGAS *et al.*, 2013; SANTOS *et al.*, 2018).

As farinhas de resíduos vegetais, por seus teores de fibras e compostos bioativos, contribuem para redução do risco de doenças cardiovasculares, hipertensão, diabetes, obesidade. Os compostos fenólicos apresentam ação anti-inflamatória, antiviral e antimutagênica. Maiores concentrações de ácidos graxos essenciais (família Ômega 3, 6 e 9) contribuem para redução de LDL colesterol e do risco de doenças cardiovasculares. Vitaminas e antioxidantes, além da proteção cardiovascular, atuam na manutenção das estruturas celulares, formação e manutenção da estrutura óssea, redução da glicemia (FERREIRA *et al.*, 2020; KUMAR *et al.*, 2019; SANTOS *et al.*, 2018).

As fibras alimentares são partes não digeríveis do alimento que atravessam o trato gastrointestinal, sendo fermentadas, total ou parcialmente pela microbiota intestinal, produzindo piruvato, etanol, metano, hidrogênio, ácidos orgânicos e ácidos graxos de cadeia curta (AGCC). Agem como reguladores da microbiota intestinal,

sendo fundamental seu consumo regular para melhor desempenho de funções fisiológicas, qualidade de vida e redução dos níveis sanguíneos de glicose, LDL e triglicerídeos. O consumo de fibras também já foi associado à redução de obesidade, diabetes, doenças cardiovasculares, osteoporose, doença hepática gordurosa não alcoólica, alergias, constipação intestinal e câncer colorretal (ALVES *et al.*, 2017; CHAU; HUANG, 2004; SANTOS *et al.*, 2018; VIOLA, 2015).

A aplicação da farinha de subprodutos vegetais em alimentos vem sendo largamente estudada, pois contribui para suas características nutricionais, reológicas, tecnológicas, bioativas, sensoriais e vida de prateleira dos produtos (BRITO *et al.*, 2020; SILVA; ORLANDELLI, 2019). As fibras alimentares nelas presentes podem contribuir tecnologicamente devido às suas propriedades estabilizante, espessante e emulsificante. Farinhas de cascas, sementes, talos e folhas têm sido utilizadas na elaboração de diferentes produtos, como sorvetes, iogurtes, embutidos, bebidas, massas alimentícias, produtos de panificação e confeitaria. Podem ser citados resíduos de jabuticaba (*Plinia cauliflora*), uva proveniente da produção de vinhos (*Vitis vinifera*), banana (*Musa spp*) verde, tangerina (*Citrus reticulata*), tomate (*Solanum lycopersicum*), abóbora (*Curcubita spp*), melancia (*Citrullus lanatus*), jaca (*Artocarpus heterophyllus*), laranja (*Citrus sinensis*), toranja (*Citrus paradisi*) (BRITO *et al.*, 2020; SILVA; ORLANDELLI, 2019; LÓPEZ-VARGAS *et al.*, 2013; VIOLA, 2015).

Os produtos de panificação estão entre os mais consumidos do mundo, principalmente os pães, bolos e biscoitos. Logo, desenvolver produtos com maior teor de fibras alimentares e compostos bioativos é uma alternativa para se adicionar as farinhas de subprodutos vegetais, ampliando a variedade de produtos no mercado e contribuindo para melhorar a saúde dos consumidores. Essa adição comumente é realizada com a substituição parcial da farinha de trigo ou desenvolvimento de farinhas mistas, sendo possível melhora do valor biológico ao alimento com de adição de apenas 5% (CAGGIA *et al.*, 2020; SILVA; ORLANDELLI, 2019; SANTOS *et al.*, 2018).

A farinha da casca de uvas (*Vitis vinifera* var. Ancellotta e Bordô) foi aproveitada para a elaboração de *muffins*, em substituição à farinha de trigo (0, 25 e 50%), tendo a formulação com 25% de farinha de uva sido melhor aceita (BENNEMANN *et al.*, 2016). Bolos tipo *cupcakes* foram desenvolvidos por Silva (2017), com farinhas de resíduos proveniente das polpas de acerola (*Malpighia emarginata*) e umbu-cajá (*Spondias tuberosa* Arruda). O grau de substituição do trigo variou de 0-20%. As

formulações com maiores teores dessa farinha foram bem aceitas sensorialmente e apresentaram melhores composições nutricionais em relação à formulação controle.

A farinha da casca de maracujá (*Passiflora edulis f. flavicarpa*) substituiu a farinha de trigo na elaboração de bolos, cuja concentração variou de 0-14% (MIRANDA *et al.*, 2013), tendo esses produtos registrado boa aceitação sensorial global. Essa mesma farinha foi aplicada em biscoitos tipo *cookie* (ISHIMOTO *et al.*, 2007), trazendo um aumento em mais de sete vezes no teor de fibras da amostra controle. Caggia *et al.* (2020) aplicaram a farinha da casca de laranja como substituto de gordura na elaboração de brioques enriquecidos de fibra (0, 30, 50 e 70%). Os autores observaram um aumento da retenção de umidade e da qualidade nutricional (maior teor proteico e de minerais), manutenção de textura macia e da qualidade sanitária durante o período avaliado (5 dias).

Ferreira *et al.* (2020) desenvolveram formulações de pães de forma com farinha mista de semente de abóbora, casca de batata doce (*Ipomoea batatas*) e talos de brócolis (*Brassica oleracea var. italica*) (10, 12,5 e 15%). Embora não tenha ocorrido aumento do teor proteico dos produtos, os percentuais de lipídios, fibras, cinzas, antocianinas e flavonoides se elevaram. Houve redução do volume final dos pães e da formação dos alvéolos com maiores concentrações da farinha na massa.

Santos *et al.* (2018) utilizaram a farinha mista de cascas (70%) e sementes (30%) de mamão Havaí (*Carica papaya*) na produção de pão integral, com substituição de 3, 6 e 9% da farinha de subprodutos. Foi observado aumento significativo dos teores de proteína, fibras solúveis, cinzas e compostos fenólicos. A formulação com 3% de farinha mista apresentou maiores valores para densidade, volume e dureza, assim como maiores notas de aceitação para os parâmetros avaliados (aroma, textura, sabor e impressão global) e de intenção de compra.

Como visto, a indústria alimentícia tem um grande papel a desempenhar na redução do desperdício. Uma vez que a polpa do maracujá tem uma vasta aplicação, assim como a casca da fruta, a semente e seus componentes também podem ser redirecionados para a produção de alimentos com aporte nutricional amplificado, com utilização de matéria-prima de custo reduzido, trazendo renda para o produtor e promovendo segurança alimentar.

3 HIPÓTESE

As emulsões de óleo de semente de maracujá estabilizadas por partículas de quitosana/cloridrato de quitosana aprimoram a aplicabilidade desse óleo frente ao aumento de sua estabilidade oxidativa e manutenção de suas atividades antioxidante, antimicrobiana, possibilitando sua aplicação em sorvete tipo tradicional.

A produção de biscoito tipo *cookie* com a farinha da semente do maracujá apresenta uma alternativa de alimento com maior aporte de fibras e de compostos antioxidantes naturais.

4 OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GERAL

Obter e caracterizar emulsões de óleo de semente de maracujá estabilizadas por partículas de quitosana/ cloridrato de quitosana e a farinha da torta de extração do óleo para aplicação em diferentes matrizes alimentares.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obter o óleo de semente de maracujá (OSM) por prensagem a frio;
- Elaborar e caracterizar emulsões *pickering* de óleo de semente de maracujá com quitosana e cloridrato de quitosana;
- Avaliar a atividade antimicrobiana das emulsões;
- Desenvolver formulações de sorvete e avaliar a influência da adição de emulsão de OSM nesse produto;
- Produzir a farinha da torta de semente de maracujá (FSM);
- Analisar a FSM quanto às suas características físicas, físico-químicas, tecnológicas e bioativas;
- Formular e caracterizar biscoitos tipo *cookie* fortificados com FSM.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1. MATERIAL

As sementes do maracujá amarelo (*Passiflora edulis f flavicarpa*) foram obtidas de empresa de polpas de frutas da Região Metropolitana do Recife, no período de abril a junho de 2019. A quitosana de origem fúngica, obtida do micélio do *Aspergillus niger* não geneticamente modificado, foi fornecida pela empresa Kitozyme. O cloridrato de quitosana (grau de desacetilação 93,2%, viscosidade 32 mpa.s) foi adquirido da empresa Qingdao ChiBio Biotech Co., Ltd. (China). Ambos os polímeros são de baixo peso molecular. Todas as outras substâncias e insumos utilizados foram obtidos através de fontes comerciais e os reagentes aplicados apresentavam grau analítico.

5.2. MÉTODOS

As etapas de realização da tese se encontram apresentadas no fluxograma abaixo (Figura 3).

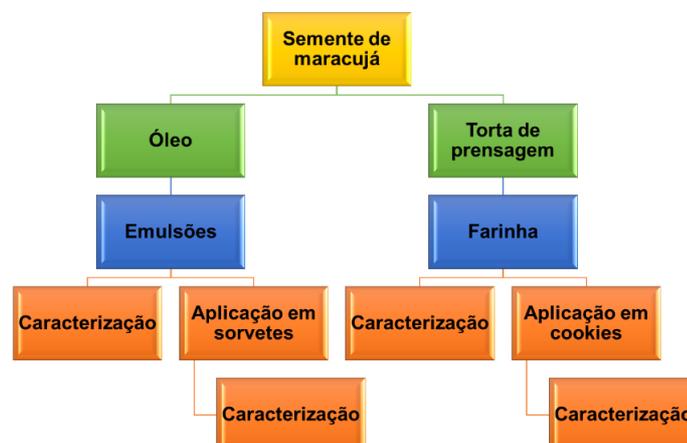


Figura 3 – Fluxograma de etapas de realização da tese.

Fonte: Autoria própria (2022).

5.2.1. Preparo das sementes e extração do óleo

As sementes foram obtidas congeladas (-18°C) e mantidas nessa condição durante transporte em caixas térmicas até a UFPE, onde foram processadas. Elas foram descongeladas sob refrigeração, lavadas em água corrente por 5 minutos, seguida de higienização com solução de hipoclorito de sódio (2,0 – 2,5%v/v), por 15 minutos, e de uma segunda lavagem com água corrente. As sementes foram secas a 60°C durante 8 horas em estufa de circulação de ar, resfriadas à temperatura ambiente em dessecador e armazenadas em sacos de polietileno a vácuo a -18°C para posterior extração do óleo (REGIS; RESENDE; ANOTNIASSI, 2015).

A extração do óleo foi realizada em prensa hidráulica, seguido de centrifugação (30 min a 4000 rpm). A torta da extração foi mantida em sacos de polipropileno a vácuo a -18°C, até o processamento. Todas as análises e aplicações foram realizadas com sementes provenientes do mesmo lote doado.

5.2.2. Elaboração das emulsões

As emulsões foram produzidas seguindo metodologia de Ribeiro *et al.* (2020a), com modificações (Tabela 5). Primeiramente, foram elaboradas as soluções de quitosana fúngica (QF) (1% m/v) em ácido acético a 1% (v/v) e cloridrato de quitosana (CQ) (1% m/v), sob agitação magnética a 700 rpm por 24 horas.

As partículas de QF e CQ foram produzidas pelo gotejamento de solução de NaOH a 6M, sob agitação magnética, até que as soluções de polímeros alcançassem pH de 6,7. As partículas de QF e CQ foram levadas para homogeneização em Ultraturrax (T25, IKA, Alemanha) a 12000 rpm e adicionadas de óleo de semente de maracujá (OSM) durante a agitação, por gotejamento, nas proporções apresentadas na Tabela 5. As amostras foram mantidas sob homogeneização por 5 minutos (RIBEIRO *et al.*, 2020a). As formulações foram desenvolvidas em duplicata e

mantidas em repouso por 24h, sob refrigeração, para observação de estabilidade, por avaliação macroscópica da ocorrência de possíveis defeitos (Figura 2), a fim de seguirem para caracterização.

Tabela 5 – Composição das emulsões de OSM e partículas de QF e CQ.

Ensaio	Código	OSM (%)	PQF (%)	PCQ (%)
1	EPQF1	1	99	0
2	EPCQ1	1	0	99
3	EPQF3	3	97	0
4	EPCQ3	3	0	97
5	EPQF6	6	94	0
6	EPCQ6	6	0	94
7	EPQF10	10	0	90
8	EPCQ10	10	90	0

EPQF1: emulsão pickering de OSM a 1% e partículas de quitosana fúngica. EPCQ1: emulsão pickering de OSM a 1% e partículas de cloridrato de quitosana. EPQF3: emulsão pickering de OSM a 3% e partículas de quitosana fúngica. EPCQ3: emulsão pickering de OSM a 3% e partículas de cloridrato de quitosana. EPQF6: emulsão pickering de OSM a 6% e partículas de quitosana fúngica. EPCQ6: emulsão pickering de OSM a 6% e partículas de cloridrato de quitosana. EPQF10: emulsão pickering de OSM a 10% e partículas de quitosana fúngica. EPCQ10: emulsão pickering de OSM a 10% e partículas de cloridrato de quitosana. OSM: óleo de semente de maracujá; PQF: partículas de quitosana fúngica; PCQ: partículas de cloridrato de quitosana. FONTE: A autoria própria (2022).

A definição da formulação final a ser direcionada para aplicação nos produtos levou em consideração os resultados de caracterização das emulsões, prezando pela estabilidade, tamanho de gotículas e bioatividade das emulsões como parâmetros de maior peso.

5.2.3. Caracterização das emulsões

5.2.3.1. Avaliação das características das emulsões

O tamanho das gotículas e o índice de polidispersão (PDI) das amostras foram determinados por Espalhamento Dinâmico de Luz (DLS). A medição foi realizada a partir de diluição 1:100 das emulsões em água ultrapura filtrada (Millex® 0,22 µm), a 25°C, com um ângulo de detecção de 90°C, em equipamento Zetasizer (Nano ZS90, Malvern, Reino Unido). O tamanho das gotículas foi calculado de acordo com o movimento Browniano das partículas utilizando a equação de Stokes-Einstein (RIBEIRO *et al.*, 2020b).

Para determinar o potencial Zeta, utilizou-se a mesma diluição e equipamento acima. Através da técnica de mobilidade eletroforética, a 25°C, os valores foram convertidos em potencial Zeta (mV), segundo modelo Smoluchowski (UMERSKA *et al.*, 2018). As medidas foram realizadas em triplicata e expressas em média ± desvio padrão.

5.2.3.2. Microscopia Confocal de Varredura a Laser

As emulsões foram avaliadas através de microscopia confocal empregando o microscópio Zeiss LSM 700, segundo metodologia de Ribeiro *et al.* (2020b). Foram empregados dois corantes no ensaio, vermelho do Nilo (Sigma-Aldrich, EUA) a 0,01% (m/m) e isotiocianato de fluoresceína (FITC) (Sigma-Aldrich, EUA) a 0,05% (m/m), ambos solubilizados em etanol, para coloração dos lipídios e dos polímeros, respectivamente. Uma alíquota de 10 µL de cada corante foi adicionada às amostras em lâmina de vidro e mantido em repouso por 15 minutos antes da leitura. Para a excitação dos corantes foi empregado laser Ar (488 nm). As imagens foram obtidas através de lente objetiva de 40x e resolução de 1024×1024 pixels.

5.2.3.3. Espectroscopia na região do infravermelho (FTIR)

A técnica de espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) utilizou o equipamento Nicolet 6700 (Thermo Scientific, USA) acoplado a um acessório de reflectância total atenuada (ATR). As amostras foram depositadas diretamente em um cristal de seleneto de zinco e diamante. A análise consistiu em 16 varreduras, com resolução de 4 cm^{-1} , na região entre 4.000 cm^{-1} e 600 cm^{-1} (RESENDE; OLIVEIRA; FRANCA, 2020).

5.2.3.4. Atividade antibacteriana *in vitro*

A atividade antimicrobiana das emulsões foi realizada contra microrganismos patogênicos de alimentos: *Staphylococcus aureus* (ATCC 6538), *Listeria monocytogenes* (ATCC 7664), *Escherichia coli* (ATCC 25922), *Salmonella enterica* (ATCC 14028), *Enterococcus faecalis* (ATCC 19433). As concentrações inibitórias mínimas (CIM) para as referidas bactérias foram avaliadas pelo teste de microdiluição em placas de 96 poços.

As bactérias testadas foram cultivadas em caldo Brain Heart Infusion (BHI) por 24h a 37°C (MELO *et al.*, 2018). Os inóculos bacterianos foram padronizados em 10^8 UFC/mL, empregando leitura em espectrofotômetro a 540 nm, com absorbância entre 0,08-0,10 (MELO *et al.*, 2020). Diferentes concentrações de amostras (0 a $600\mu\text{g/mL}$) foram adicionadas a cada poço, seguidas de caldo BHI e inóculo, totalizando um volume de $100\ \mu\text{L}$ por poço. As amostras foram incubadas a $37\ ^{\circ}\text{C}$ por 24 horas. Para obtenção da CIM, $30\ \mu\text{L}$ de resazurina foram adicionados a cada poço e a placa foi novamente incubada a 37°C por 1 hora. Após esse período, a manutenção da cor roxa nos poços indicou a CIM como a primeira concentração sem crescimento microbiano visível (MELO *et al.*, 2018).

5.2.4. Desenvolvimento dos sorvetes

Os sorvetes contendo variadas proporções de emulsões (0, 5 e 10%) foram preparados segundo Mohammed, Muhialdin e Meor Hussin (2020), com modificações, e as proporções de seus componentes estão dispostos na Tabela 6.

O leite integral foi aquecido até 50°C, seguido da adição dos demais ingredientes, exceto a emulsão. A mistura foi aquecida até 85-90°C e mantida por cinco minutos para realização da pasteurização. Após esta etapa, a mistura foi resfriada rapidamente até 50°C para adição da emulsão. Em seguida, a mistura foi adicionada em sorveteira (Ice Creamy Gourmet, Cuisinart) para rápido congelamento a -24°C/15 minutos. As amostras de sorvete foram mantidas em embalagens plásticas e armazenadas sob congelamento (-18°C).

Tabela 6 - Formulações de sorvete com EP-OSM

INGREDIENTE	S1 (0%)	S2 (5%)	S3 (10%)
Leite integral líquido (mL)	100	100	100
Leite desnatado em pó (g)	10	10	10
Crema de leite (35% de gordura) (g)	10	10	10
Açúcar (g)	22	22	22
Emulsificante (g)	0,4	0,4	0,4
Estabilizante (g)	0,8	0,8	0,8
EP-OSM (g)	0	7,15	14,3

S1: sorvete elaborado com 0% de emulsão pickering de OSM. S2: sorvete elaborado com 5% de emulsão pickering de OSM. S3: sorvete elaborado com 10% de emulsão pickering de OSM.

5.2.5. Caracterização dos sorvetes

Os sorvetes foram caracterizados quanto aos aspectos físico-químicos (pH, acidez titulável e sólidos totais) (AOAC, 2002). O percentual de *overrun* foi obtido a

partir da Equação 1, como apresentado em Mohammed, Muhialdin e Meor Hussin (2020).

$$\text{Overrun (\%)} = [(massa da mistura) - (massa do sorvete)] \times 100 / massa do sorvete$$

(Eq. 1)

A taxa de derretimento foi medida de acordo com Santos *et al.* (2021), com modificações. Uma porção de 30g dos sorvetes foi colocada em malha de aço inoxidável, conectada a proveta graduada por um funil. A amostra foi mantida a 25°C e teve o volume derretido durante 60 minutos, com quantificação a cada 10 minutos. Os resultados foram expressos em tempo (min) por volume drenado (%).

O perfil de textura foi obtido em Analisador de Textura CT3 (Brookfield Engineering Laboratories Inc., Middleboro, MA, USA) acoplado a uma sonda cilíndrica com 38,1 mm de diâmetro (SANTOS *et al.*, 2021). As condições da análise da dureza foram: profundidade de penetração (10mm), força (6g), velocidade da sonda (2 mm/s).

Os parâmetros obtidos foram dureza, referente à força de compressão no primeiro ciclo; elasticidade, que trata da altura recuperada entre o fim da primeira compressão e início da segunda; coesividade, razão entre as forças da segunda compressão e da primeira; e a mastigabilidade, representada pelo produto entre as três variáveis mencionadas. As amostras foram mantidas em -18°C até o momento do teste, realizado em temperatura ambiente.

5.2.6. Elaboração da farinha

Para obtenção da farinha, foi utilizada a torta, material obtido após a prensagem da semente. Esta foi seca em estufa com circulação de ar forçada por um período de 8 horas, sob temperatura de 60 °C. O material seco foi resfriado, triturado em moinho de facas, peneirado e acondicionado a vácuo, em embalagens de polipropileno, com armazenamento sob refrigeração até sua utilização.

5.2.7. Caracterização da farinha

5.2.7.1. Análises físico-químicas

A análise da composição centesimal foi realizada de acordo com AOAC (2002). Foram avaliados os parâmetros de umidade por secagem em estufa a 105 °C; resíduo mineral fixo (cinzas), por incineração a 550 °C; proteínas, pelo conteúdo de nitrogênio total (método de Kjeldahl); lipídeos, por extração em Soxhlet com hexano; fibras totais, pelo método enzimático gravimétrico. O teor de carboidratos foi quantificado por diferença. O valor energético da farinha foi calculado considerando os fatores de Atwater, multiplicando os valores de carboidratos e proteínas por 4 kcal/g e o de lipídeos por 9 kcal/g (MELO *et al.*, 2022). A atividade de água (A_w) foi realizada em Analisador de Atividade de Água (A_w) (*Water Activity Lab Touch – A_w / NOVASINA*), à 25°C (BRITO *et al.*, 2020).

5.2.7.2. Análises físicas e tecnológicas

A determinação de cor foi efetuada utilizando colorímetro digital (CR-410/ Konica Minolta Sensing), através de três parâmetros, o CIE $L^*a^*b^*$ (Comissão Internacional de Iluminantes). O parâmetro L^* define a luminosidade ($L^* = 0$ preto e $L^* = 100$ branco) e a^* e b^* são responsáveis pela cromaticidade ($+a^*$ vermelho e $-a^*$ verde, $+b^*$ amarelo e $-b^*$ azul) (BRITO *et al.*, 2020).

A granulometria foi determinada pela tamisação da farinha em aparelho Produtest, equipado com tamises de diferentes aberturas (300, 425, 850, 1000 e 1700 μm). O tempo de vibração foi de 15 minutos com rotação de 10 rpm (BRITO *et al.*, 2020). As frações da farinha retidas nos tamises foram pesadas, com expressão dos resultados em porcentagem.

A densidade aparente (DA) foi calculada através da relação entre 5 g de farinha e o volume obtido em proveta graduada de 50 mL, sendo expressa em g/mL (DIAS; SAJIWANIE; RATHNAYAKA, 2020).

O Volume de Intumescimento (VI) foi determinado de acordo com a metodologia de Dias, Sajiwanie & Rathnayka (2020), com a adição de água destilada a 0,5 g de amostra, até completar o volume de uma proveta de 10 mL. Foi então medido o volume inicial ocupado pela amostra, seguido de homogeneização e repouso de 24 horas, à temperatura ambiente (25°C). O volume final foi medido e a capacidade de intumescimento foi expressa em mL de água/g de amostra.

Os Índices de Absorção de Água e Óleo foram determinados utilizando 1 g de amostra misturada com 10 mL de água/óleo vegetal, seguido de agitação por 30 segundos e repouso de 30 minutos a 25°C. Após esse período, passou por centrifugação (3000 rpm por 30 minutos, a 4 °C) e foi pesado o sedimento úmido. O volume de água absorvida foi expresso em mg/mL e obtido pela diferença entre os volumes inicial e final de água. O mesmo procedimento foi realizado para o índice de absorção de óleo, sendo expresso da mesma forma (DIAS; SAJIWANIE; RATHNAYAKA, 2020).

5.2.7.3. Análise Morfológica e Composição Elementar

A farinha foi adicionada em stub de alumínio com fita dupla carbono, revestido com liga de ouro/paládio (60:40) (Denton Vacuum, Desk II, Moorestown, NJ, USA), e então analisada com um Microscópio Eletrônico de Varredura Quanta FEG 650 (FEI, Hillsboro, OR, EUA) com uma tensão de aceleração de 10 kV em modo de alto vácuo. As imagens foram digitalizadas em ampliações de 500x e 1.000x (HE *et al.*, 2018).

Para a análise elementar, a amostra foi adicionada em *stub* de alumínio com fita dupla face de carbono, sem revestimento, e avaliada por Octane Super SDD da EDAX acoplado ao Microscópio Eletrônico de Varredura mencionado acima. O software TEAM™ foi utilizado para coletar e analisar os dados das leituras. Os espectros foram adquiridos a 30 kV (HE *et al.*, 2018).

5.2.7.4. Estrutura química

A técnica de espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) utilizou o equipamento Nicolet 6700 (Thermo Scientific, USA) acoplado a um acessório de refletância total atenuada (ATR). As amostras foram depositadas diretamente em um cristal de seleneto de zinco e diamante. A análise consistiu em 16 varreduras, com resolução de 4 cm^{-1} , na região entre 4.000 cm^{-1} e 600 cm^{-1} (RESENDE; OLIVEIRA; FRANCA, 2020).

5.2.7.5. Estabilidade térmica

A determinação da estabilidade térmica foi realizada por Análise Termogravimétrica (TGA) (STA 449F3, NETZSCH GmbH & Co, Selb, Alemanha). Em cadinhos de alumínio, foram analisados 5 mg da amostra, de acordo com os seguintes parâmetros: aquecimento de 10 °C/min , vazão de 50 ml/min , com faixa de temperatura de $25\text{-}600\text{ °C}$ (TIAN *et al.*, 2021).

5.2.8. Avaliação de bioatividade

A farinha foi testada quanto à sua atividade antimicrobiana e antioxidante. Previamente, foi preparado um extrato metanólico da farinha na proporção de 1 g da amostra para 10 mL da solução metanólica (70:30 v/v). A extração ocorreu em banho ultrassônico (model USC – 1800, Unique, São Paulo, Brazil), 40KHz por 1 hora à 25 °C , seguida de centrifugação a 5500 g por 15 minutos. O extrato foi filtrado, o solvente retirado por rotaevaporação e extrato armazenado em frasco âmbar rosqueado, sob refrigeração (SILVA *et al.*, 2022).

5.2.9. Atividade antimicrobiana *in vitro*

A atividade antimicrobiana da FSM foi realizada as bactérias *Staphylococcus aureus* (ATCC 6538), *Listeria monocytogenes* (ATCC 7664), *Escherichia coli* (ATCC 25922), *Salmonella enterica* (ATCC 14028), *Enterococcus faecalis* (ATCC 19433) e fungos *Aspergillus niger* (URM 7282) e *Colletrochium siamense* (CMM 4077). As concentrações inibitórias mínimas (CIM) para bactérias e fungos foram obtidas por microdiluição em placas de 96 poços. O extrato foi dissolvido em água destilada estéril, seguindo a proporção de 1 mg/mL. A avaliação da ação antibacteriana seguiu os parâmetros descritos no tópico 5.2.3.4.

Os fungos foram semeados em ágar Sabouraud e incubados por 72h a 28°C. Os inóculos fúngicos foram padronizados em 10^7 UFC/mL por contagem em hemocítômetro (MELO *et al.*, 2020). Diferentes concentrações de amostras (0 a 600µg/mL) foram adicionadas a cada poço, seguidas de caldo Sabouraud e inóculo, totalizando um volume de 100 µL por poço. As amostras foram incubadas a 28 °C por 72h para atividade antifúngica. Considerou-se turbidez média e esporulação para determinar a CIM fúngica (KIM *et al.*, 2020).

5.2.10. Atividade Antioxidante *in vitro*

A farinha foi avaliada quanto à atividade antioxidante *in vitro* a partir dos ensaios de DPPH e ABTS, mediante aplicação do seu extrato metanólico.

5.2.10.1. Capacidade de sequestro do radical DPPH

A capacidade antioxidante foi investigada através da capacidade de eliminação do radical DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil) (LI *et al.*, 2008). A diluição seriada das

amostras foi realizada a partir de 1 mg/mL. Uma solução de Trolox (1 mg/mL) foi utilizada como controle positivo para a construção da curva de calibração. Como controle negativo foi utilizado metanol. Após 25 min no escuro, as amostras foram analisadas em leitor de microplacas (LMR 96) a 517 nm, em triplicata. Os resultados foram expressos como Capacidade Antioxidante Equivalente de Trolox (TEAC).

5.2.10.2. Método ABTS

O teste de sequestro de radicais ABTS (2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico) aplicou o método de microdiluição em uma placa de 96 poços (MARIUTTI *et al.*, 2008), com algumas modificações. Uma diluição seriada da amostra foi realizada com etanol (15,6 - 500 µg/mL) a partir de uma solução de 1 mg/mL. Em seguida, 2 µL de cada concentração foram retirados e adicionados à placa de 96 poços juntamente com 200 µL da solução ABTS. Uma solução de Trolox (1 mg/mL) foi utilizada para a curva de calibração. Como controle negativo, foi utilizada uma solução de Trolox com metanol. Após 6 min no escuro, as amostras foram lidas em um leitor de microplacas (LMR 96) a 734 nm, em triplicata. Os resultados foram expressos como Capacidade Antioxidante Equivalente de Trolox (TEAC).

5.2.11. Elaboração dos cookies

Foram produzidas 4 formulações de biscoito do tipo *cookie* com substituição parcial da farinha de trigo pela FSM, em diferentes proporções (Tabela 7).

Os açúcares e a margarina foram misturados por três minutos em batedeira doméstica em velocidade média até formar um creme liso e de cor clara. Depois disso, os ingredientes secos previamente misturados foram adicionados e homogeneizados por um minuto. Em seguida, a mistura foi amassada por dois minutos até ficar firme e homogênea, sendo mantida sob refrigeração por 20 minutos antes da moldagem. A massa foi dividida em porções de 25 gramas e moldadas em moldes circulares, com seis centímetros de diâmetro. Os biscoitos foram assados por oito minutos em forno

a gás pré-aquecido a 180°C. Após o resfriamento, foram armazenados em sacos de polietileno de alta densidade (5 por embalagem), pesados em balança digital, identificados e armazenados a 25°C até a análise (BAUMGARTNER *et al.*, 2018).

Tabela 7 - Formulações de cookies fortificados com farinha da torta de semente de maracujá amarelo (FSM).

INGREDIENTES (g)	F0 (0%)	F1 (10%)	F2 (20%)	F3 (30%)
Farinha de trigo	250	225	200	175
FSM	0	25	50	75
Margarina (80% lipídios) sem sal	150	150	150	150
Açúcar mascavo	75	75	75	75
Açúcar refinado	75	75	75	75
Bicarbonato de sódio	1,3	1,3	1,3	1,3
Fermento químico	1,3	1,3	1,3	1,3

F0: formulação controle. F1: formulação com substituição de farinha de trigo por 10% de FSM. F2: formulação com substituição de farinha de trigo por 20% de FSM. F3: formulação com substituição de farinha de trigo por 30% de FSM.

Para o cálculo do rendimento de cada formulação, a quantidade total de massa pós-cozimento foi pesada e dividida pelo seu peso pré-cozimento, calculando seu índice de cocção e estipulando o rendimento do preparo.

5.2.12. Caracterização dos cookies

A análise da composição centesimal foi realizada de acordo com AOAC (2002) e quantificação do valor energético dos produtos foi calculada por Melo *et al.* (2020), como descrito no tópico 5.2.7.1.

A variação dos parâmetros de cor dos biscoitos foi medida por um colorímetro digital (CR-410/ Konica Minolta Sensing) aplicando o método CIE L*a*b*, como apresentado no tópico 5.2.7.2. Um total de 5 amostras de 25 gramas de cada

formulação foi selecionada aleatoriamente e colocada separadamente em placas de Petri de vidro. Foram feitas cinco leituras por amostra (BRITO *et al.*, 2020).

A dureza dos biscoitos foi analisada utilizando o equipamento Texture Analyzer CT3 (Brookfield Engineering Laboratories Inc., Middleboro, MA, USA) (OLIVEIRA *et al.*, 2020). Cada amostra foi colocada em plataforma horizontal e submetida ao teste de corte com sonda de ponta de faca, com oito repetições por formulação. Os parâmetros aplicados nas análises foram: Teste: Normal; Gatilho: 10g; Deformação: 5,0mm (50% da altura do *cookie*); Velocidade: 1,0 mm/s. Os resultados foram expressos como Dureza (g).

Os cookies foram avaliados quanto à atividade antioxidante *in vitro* a partir dos ensaios de DPPH e ABTS. Para isso, foram submetidos a extrações como no caso da farinha, processo descrito no tópico 5.2.8. Os ensaios DPPH (LI *et al.*, 2008) e ABTS (MARIUTTI *et al.*, 2008), assim como as unidades de expressão dos resultados foram descritos nos tópicos 5.2.10.1 e 5.2.10.2, respectivamente.

5.2.13. Análises estatísticas

Os experimentos foram realizados em triplicata, ou mais repetições, e os resultados expressos como a média \pm desvio padrão. A avaliação de diferenças estatisticamente significantes entre os tratamentos aplicados foi determinada por teste T de Student e por análise de variância (ANOVA *one way*), seguida do teste de Tukey ($p < 0,05$), utilizando o software GraphPad Prims 6.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. AVALIAÇÃO DAS PARTÍCULAS DE QF E CQ

O uso de micro ou nanopartículas compreende uma importante alternativa de inovação para o desenvolvimento de sistemas alimentares. São estruturas com características específicas capazes de não só ampliar a vida útil dos alimentos, mas também contribuir para aspectos nutricionais e sensoriais (YE *et al.*, 2017). Antes de avaliar as emulsões propriamente ditas, é importante analisar as partículas elaboradas como estabilizantes. Os valores de tamanho de partícula, índice de polidispersão (PDI) e o potencial Zeta das partículas de QF e CQ estão apresentados na tabela 8.

Tabela 8 - Caracterização das partículas de quitosana fúngica e cloridrato de quitosana.

Partículas	Tamanho (nm)	PDI	Potencial Zeta (mV)
QF	238,65 ± 64,77 ^b	0,70 ± 0,28 ^a	28,13 ± 1,98 ^b
CQ	385,30 ± 50,59 ^a	0,72 ± 0,25 ^a	35,45 ± 4,03 ^a

Resultados apresentados em média ± desvio padrão. ^{a, b} Letras diferentes nas colunas indicam diferença significativa ($p < 0,05$) entre as médias. QF: quitosana fúngica. CQ: cloridrato de quitosana. PDI: índice de polidispersão.

Fonte: Autoria própria (2022).

As partículas de quitosana se mostraram menores que as produzidas com cloridrato de quitosana. Esses valores foram menores que de outros estudos com quitosana desprotonada, como em Ribeiro *et al.* (2020a), que reportaram tamanho de partícula entre $538,5 \pm 234,8 - 938,4 \pm 332,6$ nm. Tal fato pode ser explicado pela forma de produção das partículas. Em estudo de Costa, Gomes e Cunha (2018), as partículas de quitosana desenvolvidas por auto agregação apresentaram tamanho entre 100-500 nm após tratamento ultrassônico e 1000nm para as partículas sem tratamento. Ao realizar a desprotonação, interações hidrofóbicas são iniciadas, forçando o polímero a um estado de curvatura com dimensões irregulares, o que se

reflete na variabilidade do tamanho de partícula e no índice de polidispersão (RIBEIRO *et al.*, 2020a).

Pode-se observar que a troca de polímeros não ocasionou variação significativa no PDI das partículas. O índice de polidispersão exprime a distribuição do tamanho das partículas no sistema, sendo seu valor inversamente proporcional à uniformidade dessa distribuição. Valores superiores a 0,70 indicam ampla variação nesse parâmetro, com possível formação de aglomerados (DANAEI *et al.*, 2018). Uma vez que as partículas produzidas se encontram nessa faixa de PDI, elas podem ser potencialmente mais estáveis em relação à ocorrência de aglomeração.

Partículas produzidas com NaOH em estudo de Ribeiro *et al.* (2020a) apresentaram PDI variando entre $0,912 \pm 0,050$ – $0,944 \pm 0,048$, indicando o alto grau de variabilidade entre os tamanhos das partículas, o que foi observado em menor intensidade na presente tese (Tabela 9). Esse achado pode ser possivelmente decorrente das condições de produção das partículas e características dos próprios polímeros. Vale salientar que, apesar dos valores serem menores do que os reportados na literatura, macroscopicamente foi possível observar a variabilidade do tamanho das partículas obtidas. Ao contrário do presente estudo, Costa, Gomes e Cunha (2018) obtiveram partículas de quitosana com menor PDI (0,47), evidenciando maior uniformidade nas suspensões elaboradas.

O potencial Zeta é um parâmetro fundamental para a estabilidade de suspensões de partículas, por interferirem na repulsão eletrostática entre elas. Quanto maior o seu módulo, mais elevada é a repulsão eletrostática entre as partículas e mais estável tende a ser o sistema na qual está aplicada (RIBEIRO *et al.*, 2020a). Em ambos os casos, as partículas apresentaram cargas positivas, com destaque para valor mais elevado do cloridrato.

Por outro lado, ambas as suspensões apresentaram potencial Zeta superior aos das partículas de quitosana produzidas por desprotonação e por gelificação iônica com TPP, em estudo de Ribeiro e colaboradores (2020a). Os autores concluíram que as partículas com quitosana e TPP ($22 \pm 1,8$ – $24,1 \pm 1,8$) se mostraram mais estáveis que as obtidas com NaOH ($16,1 \pm 0,7$ – $18,3 \pm 0,4$). Por outro lado, as partículas da presente tese, produzidas apenas com NaOH, apresentaram valores mais elevados que as partículas de quitosana-TPP, podendo contribuir para uma menor formação de agregados e potencial prolongamento da estabilidade das emulsões produzidas.

A obtenção de partículas de quitosana e derivados pode ser realizada de modos diferentes, muito embora as técnicas mais aplicadas sejam a desprotonação e a gelificação iônica, por serem de baixa complexidade, sem uso significativo de solventes orgânicos ou de aplicação de forças de cisalhamento. Nesta pesquisa, foi empregada apenas a desprotonação, método no qual as partículas são formadas por auto agregação, quando as cargas positivas dos polímeros são neutralizadas por agentes aniônicos, como o hidróxido de sódio, em combinação à agitação (COSTA; GOMES; CUNHA, 2018; RIBEIRO *et al.*, 2020a). A representação da alteração da conformação polimérica está disposta na Figura 4.

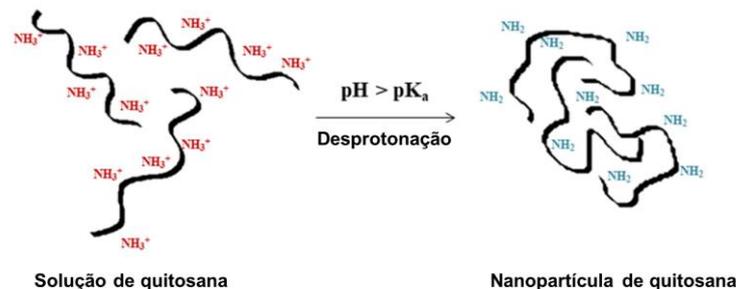


Figura 4 - Estrutura da quitosana antes e após desprotonação.

Fonte: RIBEIRO *et al.* (2020a).

A introdução de partículas de grau alimentício como estabilizantes de emulsões é uma tendência atual que se baseia no recobrimento das gotículas de óleo por partículas sólidas, o que promove redução das tensões interfaciais. A dispersão do polímero na fase contínua cria uma rede capaz de estabilizar as gotículas de emulsão (RIBEIRO *et al.*, 2020a; XIAO; LI; HUANG, 2016).

Ribeiro *et al.* (2020a) avaliaram a ação estabilizante de partículas de quitosana, obtidas por desprotonação com NaOH ou por ligação iônica com TPP, quando aplicada a emulsões com diferentes proporções de óleo de café torrado (33% e 50%). Os autores obtiveram melhor estabilidade ao utilizar o polímero, quando comparado a emulsões convencionais. É importante ressaltar que o tamanho das partículas obtidas apresenta vantagem em relação a partículas muito pequenas. Caso apresentassem tamanho muito reduzido, agiriam como moléculas de surfactantes convencionais e, ao se desprender da interface óleo-água, ocasionariam a desestabilização do sistema (SHARKAWY; BARREIRO; RODRIGUES, 2020).

6.2. CARACTERIZAÇÃO DAS EMULSÕES

6.2.1. Avaliação das emulsões *pickering* com OSM

Os resultados para avaliação do tamanho de partícula, do índice de polidispersão e do potencial Zeta das emulsões estão apresentados na tabela 9. Em relação ao tamanho das partículas, não foram observadas diferenças significativas ($p < 0,05$) entre a maioria das emulsões. Entretanto, o potencial Zeta apresentou grande variabilidade ($p < 0,05$).

Todas as formulações apresentaram partículas na escala micrométrica, com alto grau de polidispersão. O incremento da quantidade de óleo promoveu flutuações no tamanho das partículas obtidas, não sendo observado aumento gradual das dimensões associado a maiores concentrações de OSM (Tabela 10), como era esperado.

Apesar da variabilidade de tamanho, as amostras registraram dimensões inferiores na maior concentração de OSM empregada, assim como Ribeiro e colaboradores (2020b). Entretanto, uma diferença relevante é que os tamanhos reportados na referida pesquisa variaram entre 13,6 e 8,7 μm para emulsões com 50% e 33% de óleo de café, respectivamente. Apesar de utilizar concentrações de óleo até cinco vezes maiores que o presente estudo, suas dimensões foram aproximadamente sete vezes maiores.

Ainda que aplicando concentração de óleo igual (10%) ao da presente tese e concentração de polímero próxima (0,9%), Ribeiro *et al.* (2020a) registraram tamanho de partícula entre 2,712-3,748 μm , valores superiores ao dobro do obtido na presente tese. Maiores tamanhos de partícula estão comumente associados a maiores concentrações de óleo. Uma vez mantido a quantidade de polímero no sistema, quanto maior a fase oleosa, menor a quantidade de partículas disponível para adsorver na interface óleo-água, resultando em gotículas grandes no sistema (WANG *et al.*, 2020). Essa tendência foi observada em estudo de Sharkawy, Barreiro e

Rodrigues (2019), que utilizaram partículas de quitosana-goma arábica em emulsões com diferentes concentrações de azeite de oliva (30-80%).

Tabela 9 – Caracterização das emulsões de OSM estabilizadas com partículas de quitosana fúngica (QF) e cloridrato de quitosana (CQ).

Emulsões	Tamanho (nm)	PDI	Potencial Zeta (mV)
EPQF1	1.748,33 ± 517,40 ^b	0,4 ± 0,20 ^b	27,33 ± 1,30 ^d
EPCQ1	1.401, 50 ± 374, 06 ^b	0,68 ± 0,30 ^b	39,77 ± 1,91 ^a
EPQF3	2.733,00 ± 198,33 ^a	1 ^a	27,37 ± 0,64 ^d
EPCQ3	1.439,17 ± 513,72 ^b	1 ^a	37,30 ± 1,91 ^b
EPQF6	1.836,33 ± 227,07 ^b	1 ^a	31,27 ± 2,01 ^d
EPCQ6	1.456,00 ± 367,36 ^b	1 ^a	31,50 ± 0,44 ^d
EPQF10	1.679,00 ± 507,69 ^b	1 ^a	32,53 ± 0,68 ^c
EPCQ10	1.300,33 ± 252,76 ^b	1 ^a	35,77 ± 3,20 ^c

Resultados apresentados em média ± desvio padrão. ^{a, b, c, d} Letras diferentes nas colunas indicam diferença significativa ($p < 0,05$) entre as médias. EPQF1: emulsão pickering de OSM a 1% e partículas de quitosana fúngica. EPCQ1: emulsão pickering de OSM a 1% e partículas de cloridrato de quitosana. EPQF3: emulsão pickering de OSM a 3% e partículas de quitosana fúngica. EPCQ3: emulsão pickering de OSM a 3% e partículas de cloridrato de quitosana. EPQF6: emulsão pickering de OSM a 6% e partículas de quitosana fúngica. EPCQ6: emulsão pickering de OSM a 6% e partículas de cloridrato de quitosana. EPQF10: emulsão pickering de OSM a 10% e partículas de quitosana fúngica. EPCQ10: emulsão pickering de OSM a 10% e partículas de cloridrato de quitosana. Fonte: Autoria própria (2022).

Em relação ao potencial zeta, as emulsões apresentaram carga positiva, com módulos próximos ou superiores a 30, fator que pode auxiliar na estabilidade do sistema. Essa estabilidade está relacionada à redução de interação entre as gotículas, devido a forças de repulsão eletrostática mais fortes (RIBEIRO *et al.*, 2020a). Esse parâmetro registrou melhores resultados que aqueles reportados por Ribeiro *et al.* (2020a), os quais variaram entre 5,6-13,1 mV.

Macroscopicamente, as amostras mantidas sob refrigeração se mostraram estáveis por um período mínimo de 30 dias (Figura 5), por apresentarem aspecto

uniforme e ausência de defeitos observados em emulsões, como exemplificado na Figura 2. Esse tempo de estabilidade contribuiu para a escolha do produto de aplicação das emulsões. Visto que a elaboração de emulsões estáveis com maior percentual de óleo e menor consumo de polímeros é uma questão de interesse para produções em larga escala, as formulações com 6% e 10% seguiram para caracterização.



Figura 5 - Aspecto visual das emulsões *Pickering* com óleo de semente de maracujá. EPQF1: emulsão pickering de OSM a 1% e partículas de quitosana fúngica. EPQF3: emulsão pickering de OSM a 3% e partículas de quitosana fúngica. EPQF6: emulsão pickering de OSM a 6% e partículas de quitosana fúngica. EPQF10: emulsão pickering de OSM a 10% e partículas de quitosana fúngica. EPCQ1: emulsão pickering de OSM a 1% e partículas de cloridrato de quitosana. EPCQ3: emulsão pickering de OSM a 3% e partículas de cloridrato de quitosana. EPCQ6: emulsão pickering de OSM a 6% e partículas de cloridrato de quitosana. EPCQ10: emulsão pickering de OSM a 10% e partículas de cloridrato de quitosana.

6.2.2. Microscopia Confocal de Varredura a Laser

As microestruturas das emulsões estão apresentadas na figura 6. Como mencionado no tópico 5.2.3.2., essa análise empregou os corantes vermelho do Nilo 0,01% (m/m) e isotiocianato de fluoresceína (FITC) a 0,05% (m/m), para coloração dos lipídios e dos polímeros, ou seja, das fases oleosa e aquosa, respectivamente.

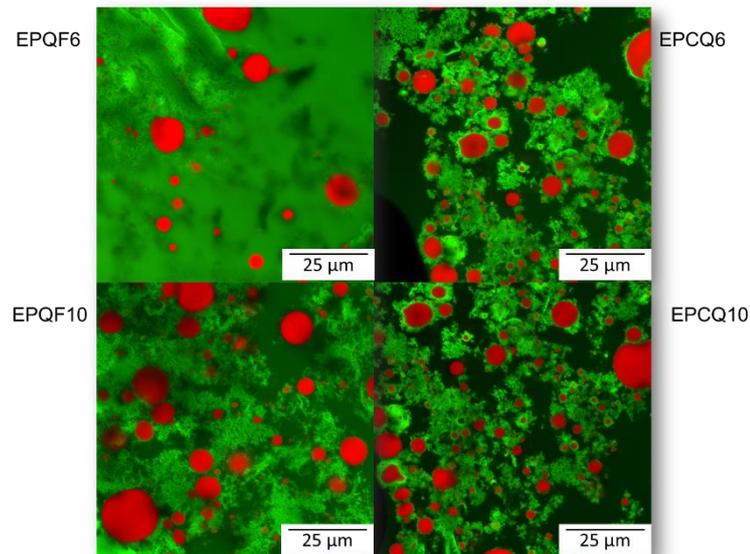


Figura 6 - Micrografias por microscopia confocal das emulsões *pickering* de OSM. EPQF6: emulsão pickering de OSM a 6% e partículas de quitosana fúngica. EPCQ6: emulsão pickering de OSM a 6% e partículas de cloridrato de quitosana. EPQF10: emulsão pickering de OSM a 10% e partículas de quitosana fúngica. EPCQ10: emulsão pickering de OSM a 10% e partículas de cloridrato de quitosana. Fonte: Autoria própria (2022).

Pode-se observar que em todas as amostras as gotículas de óleo, apesar de apresentarem formas definidas, suas dimensões são variadas (1,3-1,9 μm), corroborando as conclusões obtidas pela avaliação do tamanho de partícula e índice de polidispersão (Tabela 10). Os polímeros presentes na fase aquosa formam uma estrutura em rede capaz de estabilizar a emulsão (COSTA; GOMES; CUNHA, 2018), como observado na figura 6 pela coloração verde dispersa entre as gotículas de óleo (vermelho). Como registrado no tamanho de partícula (Tabela 10), as amostras com cloridrato de quitosana apresentaram dimensões inferiores às obtidas com quitosana, o que se encontra refletido nas micrografias acima.

Embora estruturas semelhantes tenham sido reportadas por Ribeiro *et al.* (2020b), os autores detectaram óleo livre em suas amostras, diferentemente da presente pesquisa. Esse dado indica que as partículas de QF e CQ foram suficientes para encapsular todo o óleo presente. Mesmo empregando concentração de 1,5% de quitosana em emulsões com óleo de café, o processo de revestimento das gotículas de óleo desenvolvido pelos referidos autores foi incompleto.

Em produção de emulsões com óleo de canola e partículas de quitosana como estabilizantes, Wang *et al.* (2020) registraram imagens semelhantes às obtidas na presente tese. Os autores observaram a formação de rede do polímero na fase aquosa, aprisionando gotículas de emulsão com dimensões variadas e formando aglomerados que se acumulavam na interface óleo-água, assim como encontrado na presente pesquisa (Figura 6).

A ausência de extravasamento do óleo nas micrografias pode indicar a viabilidade de partículas provenientes de baixas concentrações de polímeros para a encapsulação de concentrações de até 10% de OSM. Esse resultado é positivo ao se pensar em produções em larga escala, uma vez que se tornaria menos oneroso ao consumir menor quantidade de polímero e mais eficiente por ser capaz de abarcar maiores volumes de óleo.

6.2.3. Espectroscopia na região do infravermelho (FTIR)

Os espectros das emulsões e do OSM estão dispostos na figura 7. A partir das bandas identificadas, foi possível avaliar se as partículas de quitosana e cloridrato de quitosana foram capazes de envolver totalmente as gotículas de óleo nos sistemas.

A região entre 3003 cm^{-1} a 2858 cm^{-1} , derivada do alongamento de grupos C-H expressa a complexidade das moléculas dos triglicerídeos em óleos (KIEFER *et al.*, 2019; LUCARINI *et al.*, 2019b). Foram registradas as bandas correspondentes ao estiramento das ligações C=CH (3008 cm^{-1}); ao estiramento assimétrico nos grupamentos =CH₂ dos ácidos graxos (2923 cm^{-1}); ao estiramento de ligações duplas (1743 cm^{-1}), característicos do grupamento carbonila, presente nos ácidos carboxílicos de ésteres metílicos de ácidos graxos, principalmente linoleico e oleico,

os predominantes nesse óleo (LUCARINI *et al.*, 2019a; PUROHIT *et al.*, 2021). A banda em 1159 cm^{-1} representa a vibração do estiramento -C-O, indicativo da presença de ésteres na amostra (ELGEGREN *et al.*, 2019; PUROHIT *et al.*, 2021).

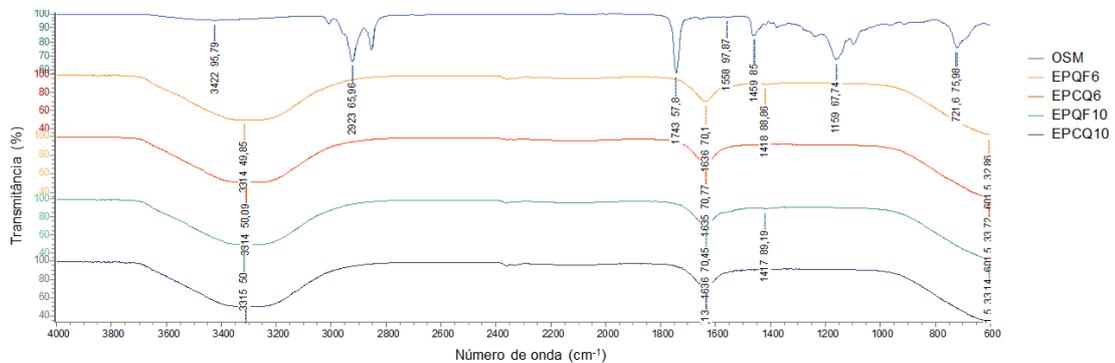


Figura 7 - Espectro em infravermelho (FTIR) das emulsões *pickering* de OSM.

EPQF6: emulsão *pickering* de OSM a 6% e partículas de quitosana fúngica. EPCQ6: emulsão *pickering* de OSM a 6% e partículas de cloridrato de quitosana. EPQF10: emulsão *pickering* de OSM a 10% e partículas de quitosana fúngica. EPCQ10: emulsão *pickering* de OSM a 10% e partículas de cloridrato de quitosana.

Fonte: Autoria própria (2022).

Através da espectroscopia na região do infravermelho, é possível identificar grupos funcionais das substâncias avaliadas por suas respectivas bandas de absorção e suas interações com demais componentes dos sistemas (SHOJAEI; ESHAGHI; NATEGUI, 2019; SANTOS *et al.*, 2020). Nos espectros das emulsões pode-se identificar a banda de deformação axial das amidas primárias em 1636 cm^{-1} (estiramento de C=O das unidades acetiladas) presentes na quitosana (RABELO *et al.*, 2019).

A ausência de bandas características do OSM nos espectros das emulsões indica a interação entre o óleo e as partículas. O revestimento total do óleo pelas partículas *pickering* é corroborado pela ausência de bandas registradas na região abaixo de 1600 cm^{-1} , região denominada *fingerprint* para a identificação de óleos de sementes (KIEFER *et al.*, 2019), como visto no espectro do OSM.

6.2.4. Avaliação da atividade antibacteriana

As concentrações inibitórias mínimas (CIM) das emulsões se encontram dispostas na tabela 10. Apesar da atividade antimicrobiana das partículas de cloridrato de quitosana, as emulsões estabilizadas com esse polímero não apresentaram atividade antibacteriana. Entretanto, as amostras EPQF6 foram capazes de inibir o crescimento de *S. aureus* e *E. coli*, enquanto a EPQF10 inibiu o crescimento de todas as bactérias testadas.

Tabela 10 - Atividade antibacteriana das emulsões pickering com OSM.

MO	CONCENTRAÇÃO INIBITÓRIA MÍNIMA (MIC)			
	[EPQF6]	[EPCQ6]	[EPQF10]	[EPCQ10]
<i>S. aureus</i>	2,78 mg/mL	Sem inibição	2,78 mg/mL	Sem inibição
<i>L. monocytogenes</i>	Sem inibição	Sem inibição	2,78 mg/mL	Sem inibição
<i>E. coli</i>	4,2 mg/mL	Sem inibição	3,47 mg/mL	Sem inibição
<i>S. enterica</i>	Sem inibição	Sem inibição	3,47 mg/mL	Sem inibição
<i>E. feacalis</i>	Sem inibição	Sem inibição	2,78 mg/mL	Sem inibição

EPQF6: emulsão pickering de OSM a 6% e partículas de quitosana fúngica. EPCQ6: emulsão pickering de OSM a 6% e partículas de cloridrato de quitosana. EPQF10: emulsão pickering de OSM a 10% e partículas de quitosana fúngica. EPCQ10: emulsão pickering de OSM a 10% e partículas de cloridrato de quitosana.

Fonte: Autoria própria (2022).

Uma possível explicação de não ser registrada atividade antibacteriana para as amostras de EPCQ 6 e EPCQ10 seria a ausência de grupamentos amina livres no cloridrato após a emulsificação. Esses grupamentos positivos são os responsáveis pela interação do polímero com componentes de carga negativa presente na superfície celular microbiana, que culminariam no aumento da permeabilidade da membrana plasmática, extravasamento de fluidos e morte celular (LOPEZ-MOYA; SUAREZ-FERNANDEZ; LOPEZ-LLORCA, 2019; MENG *et al.*, 2020; SUN, Y. *et al.*, 2021).

Em concentrações inferiores às apresentadas nesta tese, emulsões com óleo essencial de orégano (2%) estabilizadas com nanocristais de celulose foram capazes de inibir o crescimento de *S. aureus* e *E. coli* com concentrações de 12,5 µL/mL em

ambos os casos (ZHOU *et al.*, 2018). O crescimento dos mesmos microrganismos foi retardado pela ação de emulsões de óleo de tomilho estabilizadas com proteína do soro do leite e cloridrato de quitosana (LI *et al.*, 2021).

6.3. CARACTERIZAÇÃO DOS SORVETES ELABORADOS COM EMULSÃO PICKERING DE OSM

O teor de lácteos dos sorvetes elaborados representa 76,8% de sua composição (Tabela 6). Para um produto ser denominado sorvete de leite, deve ser composto entre 70-80% apenas de produtos lácteos, como soro de leite, leite condensado, creme de leite, iogurte (SEBRAE, 2017). Nesse sentido, os produtos elaborados nessa pesquisa se enquadram nessa classificação.

O teor de gordura de sorvetes é fundamental para a qualidade geral do sorvete. Seu aumento deve ser acompanhado da redução de sólidos não gordurosos do leite, a fim de evitar a precipitação da lactose, derivada do excesso de sólidos totais (SEBRAE, 2017). Essa composição também afeta o equilíbrio das emulsões adicionadas ao produto. As proteínas lácteas melhoram a estabilidade de emulsões adicionadas ao sorvete, pois restringem a formação dos cristais de gelo (ALHAJJ *et al.*, 2020; MOSTAFAVI *et al.*, 2017; SILVA *et al.*, 2022). Durante o armazenamento até o momento das análises não foram observadas alterações que indicassem a desestabilização da emulsão adicionada aos sorvetes.

Os resultados para a avaliação de pH, acidez titulável e percentual de *overrun* dos sorvetes elaborados com emulsão de óleo de semente de maracujá estão dispostos na Tabela 11. A adição da emulsão influenciou significativamente no pH, havendo uma queda desse parâmetro no sorvete com 5% (S2) e uma elevação na formulação com 10% (S3). Variações nesse parâmetro podem ocorrer mediante a composição dos componentes das emulsões.

A complexidade da composição do óleo emulsionado pode ter influenciado na oscilação do pH observado, uma vez que o pH das emulsões foi inferior aos dos sorvetes (6,48). Mohammed, Muhialdin e Meor Hussin (2020) indicam que a presença

de compostos fenólicos no óleo empregado pode ser um fator para a redução do pH observado em sorvetes.

Tabela 11 - Avaliação físico-química dos sorvetes com emulsão de óleo de semente de maracujá (OSM).

Parâmetros	S1	S2	S3
pH	6,60 ± 0,03 ^b	6,48 ± 0,28 ^c	6,78 ± 0,02 ^a
Acidez titulável (% de ácido láctico)	0,10 ± 0,01 ^a	0,11 ± 0,00 ^a	0,11 ± 0,00 ^a
Overrun (%)	29,45 ± 6,31 ^a	27,17 ± 5,80 ^a	35,28 ± 3,13 ^a

Resultados expressos em média ± desvio padrão. S1: formulação controle. S2: formulação com 5% de emulsão pickering de OSM. S3: formulação com 10% de emulsão pickering de OSM. Letras sobrescritas diferentes na linha indicam diferença significativa entre as médias ($p < 0,05$). Fonte: Autoria própria (2023).

O comportamento do pH dos sorvetes com emulsão de OSM foi diferente do observado em sorvetes com emulsões de óleo de *Nigella sativa*. Mohammed, Muhialdin e Meor Hussin (2020) reportaram um declínio de 6,94 para 6,53 nas formulações com 0% e 10% das emulsões, respectivamente. Apesar das diferenças, ambos os estudos apresentaram amostras com pH próximo da neutralidade.

Mesmo sendo detectada variação nos valores de pH, a acidez dos produtos se mostrou baixa, sem variação significativa pela introdução da emulsão, sendo inferiores à acidez reportada para sorvetes adicionados de óleo de avelã e azeite de oliva (GÜVEN; KALENDER; TAŞPINAR, 2018). Esse parâmetro é um importante indicador da aceitação do produto. Amostras com menores valores de acidez podem ser mais bem aceitas pelos consumidores.

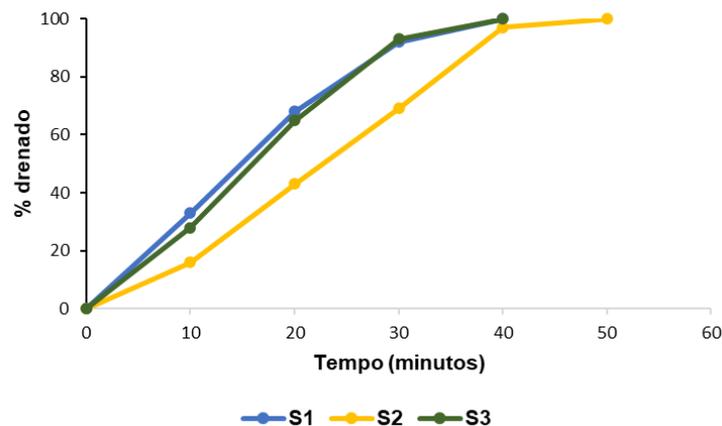
A taxa de incorporação de ar (*overrun*) dos sorvetes adicionados de emulsão não apresentaram diferença significativa em relação ao controle. As taxas de *overrun* obtidas foram superiores às de sorvetes com emulsão de óleo de farelo de arroz (19-22%) (ALFARO *et al.*, 2015) e de sorvete com óleo de soja (18,37-29,74%) (WANG *et al.*, 2022). Por outro lado, foram inferiores às de sorvetes com emulsão de óleo de cominho preto (*Nigella sativa*) (66,7-75,4%) (MOHAMMED; MUHIALDIN; MEOR HUSSIN, 2020).

Essa característica influencia diretamente no rendimento, na taxa de derretimento e na textura dos produtos e pode ter seus valores alterados pela

presença de fibras nas formulações (FERREIRA *et al.*, 2020). Um maior teor de fibra pode elevar o % de *overrun* de sorvetes (ATIK *et al.*, 2021), assim como o aumento do *overrun* eleva a viscosidade dos produtos. A presença de quitosana pode ter contribuído para a oscilação do *overrun* das amostras, ainda que sem variação significativa pela adição da emulsão ao sorvete.

A taxa de derretimento dos sorvetes elaborados com emulsão pickering de óleo de semente de maracujá está apresentada na Figura 8. O gráfico mostra que a amostra com 5% de emulsão apresentou melhor resultado quanto ao parâmetro avaliado, por alcançar um tempo maior até seu derretimento total, em relação à sorvete controle e ao adicionado de 10% de emulsão. Entretanto, não houve diferença significativa entre as taxas de derretimento.

Figura 8 - Taxa de derretimento dos sorvetes com emulsão de óleo de semente de maracujá (OSM).



S1: formulação controle. S2: formulação com 5% de emulsão pickering de OSM. S3: formulação com 10% de emulsão pickering de OSM.

Esses tempos de derretimento foram inferiores aos de sorvete com óleo de soja (WANG *et al.*, 2022). Os autores reportaram que, no tempo de 60 minutos, o derretimento das amostras foi de 50% ou menos. Ferreira *et al.* (2020) indicam 10 minutos como tempo ideal para início da ocorrência do derretimento. Logo, todas as amostras exibiram um derretimento inicial adequado para sorvetes.

As propriedades dos componentes da emulsão contribuem para melhores taxas de derretimento, ou seja, tempos mais longos até o derretimento total dos sorvetes (MOHAMMED; MUHIALDIN; MEOR HUSSIN, 2020). Sorvetes com óleo de avelã e azeite de oliva (GÜVEN; KALENDER; TAŞPINAR, 2018) e de *Nigella sativa*

completaram o derretimento após mais de 60 minutos (MOHAMMED; MUHIALDIN; MEOR HUSSIN, 2020). A presença de ácidos graxos insaturados nas formulações reduz a taxa de derretimento, com elevação da viscosidade e redução da mobilidade das moléculas de água da amostra (WANG *et al.*, 2022)

Os parâmetros de textura são fundamentais para obtenção de propriedades organolépticas ideais e consequente para a aceitação do produto pelos consumidores (MOHAMMED; MUHIALDIN; MEOR HUSSIN, 2020). Os perfis de textura dos elaborados nessa pesquisa estão dispostos na Tabela 12.

Tabela 12 - Perfil de textura dos sorvetes com emulsão de óleo de semente de maracujá (OSM).

Parâmetros	S1	S2	S3
Dureza (g)	1.017 ± 293,45 ^b	6.253,80 ± 1421,64 ^a	4.020,00 ± 282,84 ^a
Coesividade (mJ)	0,14 ± 0,07 ^b	0,10 ± 0,04 ^b	0,24 ± 0,04 ^a
Elasticidade (cm)	0,86 ± 0,23 ^a	0,98 ± 0,05 ^a	0,97 ± 0,29 ^a
Mastigabilidade	233,68 ± 8,03 ^b	748,47 ± 3,92 ^b	1.226,22 ± 17,39 ^a

Resultados expressos em média ± desvio padrão. S1: formulação controle. S2: formulação com 5% de emulsão pickering de OSM. S3: formulação com 10% de emulsão pickering de OSM. Letras sobrescritas diferentes na linha indicam diferença significativa entre as médias ($p < 0,05$). Fonte: Autoria própria (2023).

No parâmetro dureza, foi observada diferença significativa entre o controle e as amostras com emulsão. A presença de emulsificantes altera a textura macia dos sorvetes (ATIK *et al.*, 2021). Uma vez que a quitosana atua como um emulsificante na estabilização da emulsão, suas partículas também podem estar contribuindo para o aumento da firmeza dos produtos. Exceto a formulação S2, os sorvetes apresentaram firmeza inferior àqueles elaborados por Wang *et al.* (2022). Por outro lado, foram mais elevados do que sorvetes com emulsão de óleo de *Nigella sativa* (176,58-251,02 g) (MOHAMMED; MUHIALDIN; MEOR HUSSIN, 2020).

A coesividade da amostra com 10% de adição de emulsão (S3) apresentou uma redução significativa em comparação às demais formulações, enquanto emulsão com 10% de óleo de *Nigella sativa* apresentou maior valor em relação às demais formulações (0.429 ± 0.09g) (MOHAMMED; MUHIALDIN; MEOR HUSSIN, 2020). Essa propriedade remete à cremosidade do produto (SEBRAE, 2017) e pode ser

elevada pela presença de fibras nos sorvetes (FERREIRA *et al.*, 2020). Mesmo apresentando a quitosana nas amostras S2 e S3, não houve aumento desse parâmetro, o que pode ser justificado pela estrutura presente no polímero. Como não se encontra na sua forma solúvel, não foi detectada interferência significativa nos produtos.

No parâmetro elasticidade, não houve diferença significativa entre nenhuma das formulações. Espera-se que a elasticidade de sorvetes seja baixa, de forma a não comprometer sua manipulação (SEBRAE, 2017), como observado nas formulações desta pesquisa. A mastigabilidade apresentou diferença significativa apenas em relação à formulação com 10% de emulsão, como em sorvetes com óleo de soja, com aumento desse parâmetro em relação à amostra controle (243.18 ± 5.15) e a formulação com 10% de óleo (263.56 ± 10.98) (WANG *et al.*, 2022).

A elasticidade reflete a deformação reversível do sorvete, enquanto a mastigabilidade remete ao tempo de mastigação do produto antes de ser deglutido. No caso de sorvetes, um aumento da mastigabilidade prolonga o tempo do produto na boca, favorecendo a percepção oral de seus componentes (WANG *et al.*, 2022).

De modo geral, a formulação padrão diferiu significativamente dos sorvetes com emulsão. A formulação com 5% de emulsão se destacou pelas suas características físico-químicas semelhantes ao sorvete controle, além de apresentar uma maior taxa de derretimento. Como alterações nas propriedades do produto afetem negativamente sua aceitação, a formulação com 5% de emulsão *pickering* de óleo de semente de maracujá e quitosana se mostra mais apta do ponto de vista físico-químico e reológico.

6.4. CARACTERIZAÇÃO DA FSM

6.4.1. Análise físico-química

A Tabela 13 apresenta a composição nutricional e valor energético da FSM. De acordo com os dados apresentados, a FSM está dentro da faixa esperada para o

parâmetro de umidade (<15%). Teores de umidade superiores a 15% favorecem a proliferação microbiana, comprometendo a qualidade sanitária do produto (CUNHA *et al.*, 2020). Portanto, a farinha obtida apresenta maior estabilidade durante o armazenamento.

Tabela 13 - Caracterização físico-química da farinha da torta da semente de maracujá amarelo (FSM)

Parâmetro	Quantidade (g/100 g de farinha)
Umidade	3,51 ± 0,00
Cinzas (minerais)	1,49 ± 0,00
Proteínas	15,55 ± 0,00
Lipídeos	24,62 ± 0,00
Fibra alimentar total	43,89 ± 0,00
Carboidratos	10,96 ± 0,00
Valor energético	327,54 ± 0,54 Kcal
Atividade de água (Aw)	0,32 ± 0,00

Resultados apresentados em média ± desvio padrão.

Fonte: Autoria própria (2022).

A umidade da FSM se mostrou superior ao da farinha de semente de melão (2,64%) (CUNHA *et al.*, 2020). Valores adequados de umidade também foram observados em farinhas de semente de laranja submetidas a diferentes tipos de redução de amargor (3,69-7,63%) (EMOJORHO & AKUBOR, 2016) e na farinha de semente de melão (2,64%) (CUNHA *et al.*, 2020).

A atividade de água (Aw) apresentou valor inferior ao de farinha de subproduto de anis (0,40) (GÖKŞEN & EKIZ, 2021) e farinha de bagaço de uva (0,31-0,34) (DEMIRKOL & TARAKCI, 2018). Um baixo valor para esse parâmetro indica melhor capacidade de conservação da farinha, em associação ao seu baixo teor de umidade (Tabela 13). A atividade de água (Aw) está relacionada ao risco de crescimento microbiano e à taxa de reações bioquímicas e atividade enzimática no produto. Quanto menor a Aw, menor a taxa de ocorrência dessas reações, contribuindo para minimizar o risco de deterioração do produto (PELLEGRINI *et al.*, 2018).

O teor de cinzas da FSM (Tabela 13) foi inferior ao relatado para farinha de

semente de melão cantaloupe (4,12%) (CUNHA *et al.*, 2020) e farinha de semente de laranja (2,82%) (EMOJORHO & AKUBOR, 2016), embora tenha sido semelhante ao valor previamente reportado para a semente de maracujá (1,46%) (CORRÊA *et al.*, 2016). Esse parâmetro reflete o conteúdo mineral da farinha, compostos que contribuem para diversos processos metabólicos, como a estrutura dos ossos e dentes, produção de energia, construção de proteínas e formação do sangue (EMOJORHO & AKUBOR, 2016). No entanto, alto teor de cinzas não é desejável devido à limitação da aplicação da farinha. A concentração elevada de íons metálicos pode promover uma oxidação mais rápida dos produtos (LÓPEZ-VARGAS *et al.*, 2013).

Devido ao seu relevante teor de proteína, a FSM representa uma fonte alternativa desse nutriente para consumo humano (Tabela 13), como também observado na farinha de semente de melão (17,64%) (CUNHA *et al.*, 2020). Em comparação ao recomendado na Ingestão Dietética de Referência (DRI, 2019), a Ingestão Diária Recomendada (RDA) de proteínas para adultos é de 46-56g ao dia. Logo, a ingestão de 50g de FSM corresponderia a 14-17% das necessidades diárias.

A farinha de semente de laranja descascada apresentou teores proteicos inferiores de 8,64% (EMOJORHO & AKUBOR, 2016), reforçando o potencial da matéria prima estudada nesta tese. É importante ressaltar que as variações no teor de proteína das sementes derivam de particularidades da espécie, estágio de maturação e condições ambientais de crescimento da planta (EMOJORHO & AKUBOR, 2016; NOORFARAHZILAH *et al.*, 2017).

O percentual de lipídeos é um fator relevante para a aplicação de farinhas em produtos alimentícios (LÓPEZ-VARGAS *et al.*, 2013). Mesmo depois de desengordurado, a FSM apresentou conteúdo lipídico significativo (Tabela 13). Esse valor foi superior ao da própria semente de maracujá (23,4%) (CORRÊA *et al.*, 2016), embora tenha sido inferior ao obtido em farinha de semente de melão (30,43%) (CUNHA *et al.*, 2020). Não apenas é relevante o teor lipídico da farinha, mas também a qualidade dessa fração. Uma vez que o óleo de semente de maracujá apresenta elevado percentual de ácidos graxos insaturados (Tabela 2), pressupõe-se que a farinha da semente também seguirá padrões semelhantes.

O teor de fibras totais da FSM (Tabela 13) é superior ao das farinhas de semente desengordurada de laranja (21,82%) (EMOJORHO & AKUBOR, 2016), de

maracujá (17,48%) (CORRÊA *et al.*, 2016) e sementes de melão (30,43%) (CUNHA *et al.*, 2020). No entanto, foi inferior ao reportado anteriormente para subprodutos de maracujá amarelo (53,51 g/100g) (LÓPEZ-VARGAS *et al.*, 2013), sendo também um parâmetro influenciado pelas variações de desenvolvimento da planta (EMOJORHO & AKUBOR, 2016; NOORFARAHZILAH *et al.*, 2017).

Farinhas ricas em fibras podem reduzir o índice glicêmico e o risco de desenvolver doenças cardiovasculares, distúrbios gastrointestinais, diabetes e obesidade (EMOJORHO & AKUBOR, 2016; LÓPEZ-VARGAS *et al.*, 2013). Segundo a RDA (DRI, 2019), o valor recomendado da ingestão de fibras para adultos é 21-38g/dia, reforçando o potencial benéfico do consumo de FSM por ofertar 58-104% da quantidade necessária em 50g de farinha.

Os níveis de proteína, lipídios e fibras da FSM revelam sua alta qualidade nutricional. Esta farinha apresenta potencial para aplicação em diversos produtos alimentícios, promovendo seu enriquecimento e possível classificação como fonte desses nutrientes. Além do incremento nutricional, a ingestão habitual da farinha oferece benefícios para saúde do consumidor, quando consumidas em adequação às necessidades nutricionais individuais, combinadas a uma ingestão hídrica apropriada e um estilo de vida saudável.

6.4.2. Análises físicas e tecnológicas

A avaliação da cor da FSM (Figura 9) apresentou para os parâmetros L, a* e b* valores de $29,18 \pm 0,03$, $3,69 \pm 0,00$ e $9,55 \pm 0,05$, respectivamente. Esses resultados classificam a FSM como uma farinha escura, mais próxima do vermelho (a) e do azul (b), devido aos valores positivos para os três parâmetros (GRASSO *et al.*, 2019). Outros resíduos da extração de óleos de uva e romã (KARAMAN *et al.*, 2015) diferiram da FSM por serem mais claras ($42,01 \pm 0,02$ e $43,41 \pm 0,02$) e tenderem a tons mais próximos do vermelho ($10,15 \pm 0,03$ e $12,72 \pm 0,02$) e do amarelo ($23,27 \pm 0,02$ e $18,19 \pm 0,03$).



Figura 9 - Aspecto visual da farinha da torta de semente de maracujá amarelo

Fonte: Autoria própria (2022).

A cor é um aspecto importante na aceitação do alimento pelo consumidor e está correlacionada com os pigmentos da farinha, como clorofila, carotenoides e fenólicos. Este parâmetro também pode ser alterado após a secagem, devido ao escurecimento de Maillard e caramelização (DIAS *et al.*, 2020; KARAMAN *et al.*, 2015). Uma vez que as farinhas ricas em fibras alteram a cor e a textura de um sistema alimentar (LÓPEZ-VARGAS *et al.*, 2013), a aplicação de FSM deve ser manuseada com cuidado para não interferir negativamente na preferência do produto.

Quanto ao tamanho de suas partículas, mais de 60% da granulometria da farinha foi superior a 0,43 mm. Esta distribuição granulométrica do produto é um parâmetro físico significativo para sua aplicação em alimentos. Diferentemente da presente pesquisa, a farinha de sementes de tarap (*Artocarpus odoratissimus*) obteve uma granulometria de 0,15 mm em cerca de 79% das partículas. Tamanhos de partículas menores permitem maior coesividade em produtos alimentícios e maior capacidade de absorção de água (NOORFARAHZILAH *et al.*, 2017). Este fato indica que processos de moagem e peneiramento que culminem em granulometrias inferiores podem beneficiar a aplicação da FSM e proporcionar melhores propriedades físicas a seus produtos.

Os resultados das propriedades tecnológicas da FSM são apresentados na Tabela 14. A FSM apresentou maior densidade que as farinhas de casca de abacaxi ($0,39 \pm 0,01$ g/mL) e laranja ($0,37 \pm 0,01$ g/mL) (DIAS *et al.*, 2020), embora seja menos

densa que a farinha de semente de tarap ($0,57 \pm 0,04$ g/mL) (NOORFARAHZILAH *et al.*, 2017). A densidade de farinhas se relaciona com o tamanho das partículas e ao teor de umidade da amostra. Farinhas de baixa densidade tendem a ser mais bem aplicadas em produtos de panificação (NOORFARAHZILAH *et al.*, 2017).

Tabela 14 - Características tecnológicas da farinha da torta da semente de maracujá amarelo (FSM).

Propriedades	Valores
Densidade	$0,50 \pm 0,00$ g/mL
Capacidade de intumescimento	$3,56 \pm 0,04$ mL/g
Índice de absorção de água	$2,41 \pm 0,00$ mL/g
Índice de absorção de óleo	$2,11 \pm 0,01$ mL/g

Resultados apresentados por média \pm desvio padrão.

Fonte: Autoria própria (2022).

A capacidade de intumescimento da FSM (Tabela 14) foi superior ao valor encontrado para farinha de semente de girassol desengordurada ($2,21$ mL/g) (GRASSO *et al.*, 2019). Esta propriedade está associada aos aspectos estruturais e químicos do teor de fibras. Maiores quantidades de fibra alimentar solúvel na farinha, principalmente pectina, promovem um aumento na capacidade de intumescimento (LÓPEZ-VARGAS *et al.*, 2013). Esse resultado pode indicar maiores teores de fibras insolúveis na farinha estudada. Esse componente, além das propriedades tecnológicas de porosidade e baixa densidade, também contribui fisiologicamente no aumento da massa fecal e redução do trânsito intestinal (LEÃO *et al.*, 2017).

A capacidade de absorção de água pode variar de acordo com a estrutura química dos polissacarídeos e proteínas da farinha, que pode ser alterada pelas etapas de produção, como tratamento térmico, moagem e extrusão. Essas propriedades contribuem para melhorar a viscosidade e formar géis nos produtos. Eles também beneficiam o consumidor por seu efeito de saciedade e redução da absorção intestinal de glicose, gordura e colesterol (DIAS *et al.*, 2020; LÓPEZ-VARGAS *et al.*, 2013). O índice de absorção de água da FSM (Tabela 14) foi superior à de estudo prévio de semente de maracujá ($1,80$ mL/g) (LÓPEZ-VARGAS *et al.*,

2013), embora tenha sido inferior ao de farinha de semente de tarap (2,61 mL/g) (NOORFARAHZILAH *et al.*, 2017)

A capacidade de retenção de óleo reflete a presença de sítios de interação hidrofóbica na amostra, que favorecem a palatabilidade e vida útil de carnes e produtos de panificação. O índice de absorção de óleo da FSM foi superior à farinha de semente de girassol desengordurada (2,21 mL/g) (GRASSO *et al.*, 2019), de farinha de semente de tarap (1,54 mL/g) (NOORFARAHZILAH *et al.*, 2017) e da própria semente de maracujá (1,43 mL/g) (LÓPEZ-VARGAS *et al.*, 2013).

6.4.3. Análise morfológica e de composição elementar

A Figura 10 apresenta as micrografias obtidas por microscopia eletrônica de varredura. As imagens apresentam partículas com superfícies irregulares, diâmetros variados e tamanhos heterogêneos. Como relatado na composição nutricional (Tabela 13), uma quantidade significativa de óleo promove um revestimento sobre as partículas de farinha. As fibras, que representam seu componente majoritário, também são responsáveis por proteger algumas partes da semente, como o endosperma.

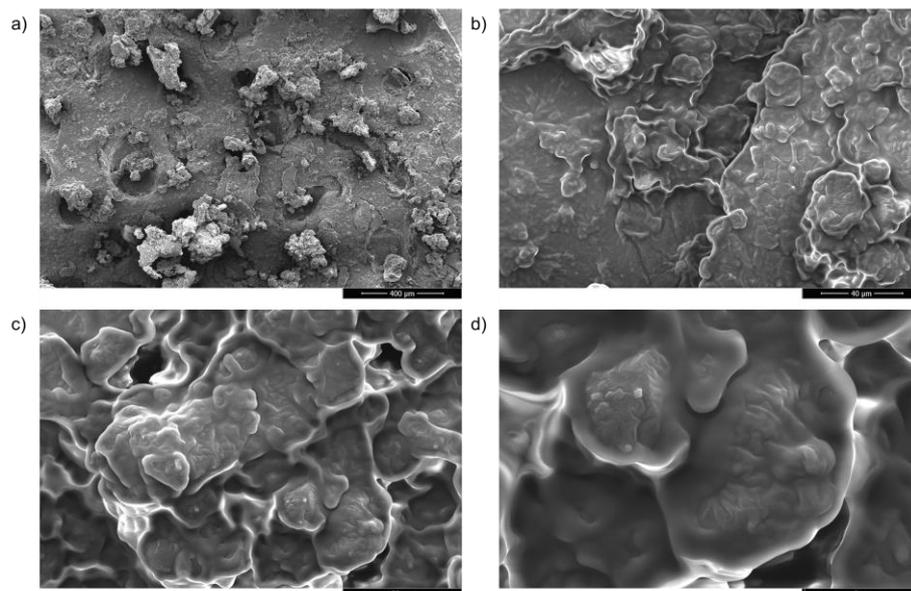


Figura 10 - Micrografias da farinha da torta da semente de maracujá amarelo.

Fonte: Autoria própria (2022).

Além disso, podem ser observadas partículas com densidades distintas. As estruturas compostas por elementos mais pesados parecem mais brilhantes do que os compostos por elementos mais leves (CUNHA *et al.*, 2020), possivelmente representando grânulos de amido e aglomerados de proteínas. Ao avaliar as microestruturas das farinhas, é possível compreender suas propriedades tecnológicas e como as interações entre seus macronutrientes podem interferir nessas mesmas propriedades (LING *et al.*, 2016). Conforme observado na FSM, a farinha da semente de bacupari também apresentou morfologia irregular e não uniforme, possivelmente devido ao seu teor de fibras, lipídios e proteínas (MELO *et al.*, 2022).

A composição mineral do FSM é apresentada na Tabela 15. Os componentes predominantes são potássio, magnésio e enxofre. Segundo a RDA (DRI, 2019), os macrominerais potássio, magnésio e fósforo devem ser ingeridos diariamente, por adultos, em quantidades de 2600-3400mg, 320-420mg e 700mg, respectivamente. O consumo de 50g de FSM ofereceria 16-21% do primeiro, 92-120% do segundo e 12% do terceiro mineral.

Tabela 15 - Composição elementar da farinha da torta da semente de maracujá amarelo (FSM).

Minerais	Valores (mg/100 g)
Potássio (K)	1100 ± 0,00
Enxofre (S)	830 ± 0,21
Magnésio (Mg)	770 ± 0,78
Alumínio (Al)	500 ± 0,01
Fósforo (P)	163 ± 0,07

Resultados apresentados por média ± desvio padrão. Fonte: Autoria própria (2022).

As concentrações de alumínio e potássio em sementes de melão foram 957 mg/100 g e 504 mg/100 g, respectivamente (CUNHA *et al.*, 2020). Já em farinhas de torta de semente de uva, os minerais predominantes foram potássio (832.3 ± 0.1 e 920.6 ± 1.9) e magnésio (179.4 ± 6.7), enquanto a farinha da torta da semente de romã apresentou maiores valores para potássio (920.6 ± 1.9) e fósforo (192.6 ± 1.4)

(KARAMAN *et al.*, 2015). Esses micronutrientes também são influenciados pelas condições de plantio e fatores edafoclimáticos (CUNHA *et al.*, 2020).

Os minerais identificados na FSM são de grande importância para o corpo humano, pois o potássio é imperativo para a regulação da pressão arterial e contração muscular. O fósforo faz parte do crescimento ósseo, da estrutura dos ácidos nucleicos e do equilíbrio ácido-base. O magnésio participa do crescimento ósseo, bem como da função neural e muscular (KARAMAN *et al.*, 2015).

6.4.4. Estrutura química da FSM

A Figura 11 mostra o espectro da FSM obtido por Espectroscopia na região do infravermelho (FTIR) e as bandas registradas podem ser correlacionadas com a composição nutricional da farinha.

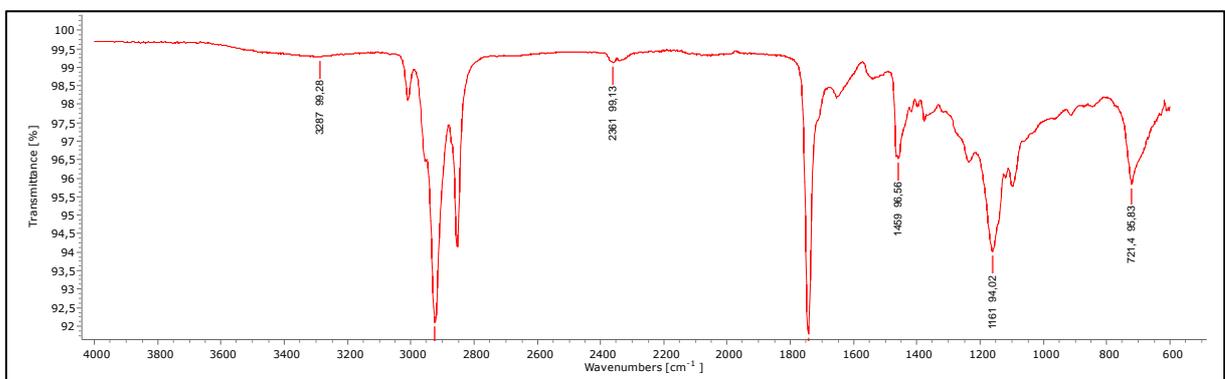


Figura 11 - Espectroscopia na região do infravermelho (FTIR) da farinha da torta da semente de maracujá amarelo (FSM).

As bandas entre 3600-3200 cm^{-1} correspondem ao alongamento da ligação O-H, atribuído à umidade na amostra, componente encontrado em baixa concentração, conforme evidenciado na Tabela 13. Esta região, juntamente com as bandas 1410-1320 cm^{-1} e 1260-1180 cm^{-1} , são equivalentes à deformação angular da ligação O-H e ao estiramento C-O, indicando a presença de compostos fenólicos na amostra (HATAMIAN *et al.*, 2020; RESENDE; OLIVEIRA; FRANCA, 2020). As bandas entre 2853-2923 cm^{-1} representam a ligação C-H simétrica e assimétrica de alongamento e

flexão (JAN *et al.*, 2019). Picos entre 1760-1650 cm^{-1} referem-se a grupos carboxílicos esterificados e não esterificados, típicos da pectina em farinhas (RESENDE; OLIVEIRA; FRANCA, 2020). O teor de lipídios da FSM é evidenciado pelo pico de 1748 cm^{-1} , referente ao alongamento da ligação C=O dos ésteres lipídicos e ácidos graxos presentes na amostra (HATAMIAN *et al.*, 2020). Os picos em 1653-1639 cm^{-1} expressam a presença de aminas na amostra (JAN *et al.*, 2019).

A análise FTIR permite avaliar as estruturas químicas e possíveis interações entre os materiais, identificando grupos funcionais específicos de cada componente. A radiação eletromagnética analisada corresponde às vibrações moleculares características dos grupos químicos das amostras, podendo ser do tipo alongamento, flexão ou torção das ligações químicas (LUCARINI *et al.*, 2019; SANTOS *et al.*, 2020; SHOJAEI *et al.*, 2019).

6.4.5. Estabilidade térmica

A avaliação termogravimétrica da FSM (Figura 12) mostra dois eventos principais de perda de massa relacionados à desidratação e degradação de macronutrientes e fibras (MELO *et al.*, 2022), diferentemente das farinhas de Achachairu (*Garcinia humilis*) (IKEDA *et al.*, 2021), inajá (*Attalea maripa*) (BARBI *et al.*, 2020) e bacupari (*Garcinia gardneriana*) (MELO *et al.*, 2022), que apresentaram mais uma etapa de perda de massa, denominada de carbonização.

Essa análise fornece dados sobre o comportamento térmico dos componentes das farinhas quando submetidos a altas temperaturas, auxiliando na identificação de aplicações alimentícias mais adequadas, resultando em produtos mais estáveis e incremento do aporte nutricional (MELO *et al.*, 2022).

Como o teor de água da FSM foi reduzido (Tabela 13), a perda de massa da primeira etapa correspondeu a 1,65% da amostra (~100 °C). A segunda etapa foi responsável por 42,56% da degradação da FSM (~400 °C). Como a farinha é uma matriz complexa, a perda de massa ocorre como um evento simultâneo para lipídios, proteínas, carboidratos e fibras, o que impede apontar com precisão a temperatura de degradação de cada componente (BARBI *et al.*, 2020).

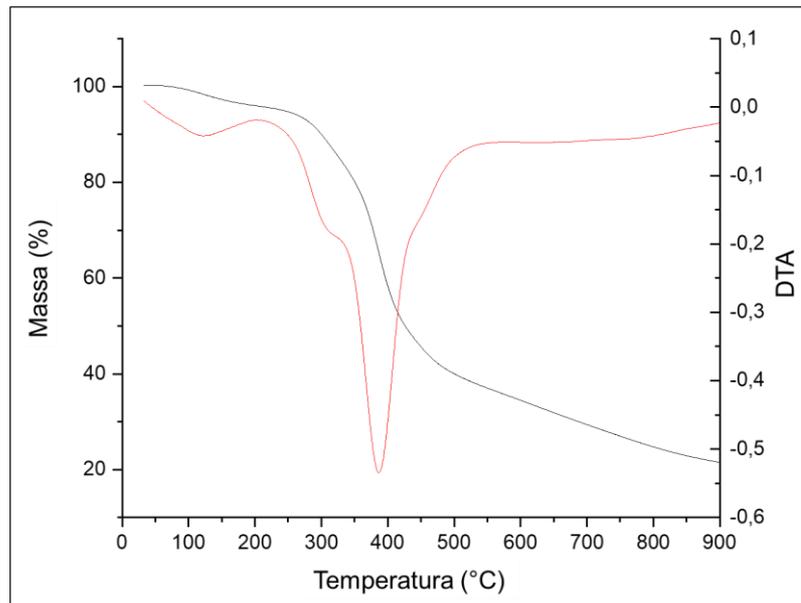


Figura 12 – Gráficos de Análise Termogravimétrica (TGA) (preto) e Derivada da Análise Termogravimétrica (DTA) (vermelho) da farinha da torta da semente de maracujá amarelo.

Fonte: Autoria própria (2022).

6.4.6. Atividade antimicrobiana *in vitro*

O extrato de FSM inibiu o crescimento bacteriano de *L. monocytogenes* (4 mg/mL), *E. feacalis* (4 mg/mL), *S. aureus* (3 mg/mL), *S. enterica* (4 mg/mL) e *E. coli* (5 mg/mL). Assim como os extratos de sementes e torta de prensa de faveleira (*Cnidocolus quercifolius*) (RIBEIRO *et al.*, 2017). Em estudo com subprodutos de óleo de amêndoa, romã, uva e noz, os autores relataram atividade antibacteriana contra *L. monocytogenes*, *S. aureus*, *S. typhimurium* e *E. coli* (KARAMAN *et al.*, 2015). Estudo anterior com casca e semente de maracujá relatou atividade antibacteriana contra Gram-positivos e Gram-negativos (LÓPEZ-VARGAS *et al.*, 2013).

Quanto à atividade antifúngica, a FSM foi capaz de reduzir o crescimento fúngico de *C. siamenses* na concentração de 0,60 mg/mL. Anteriormente, não há relatos de avaliação da atividade antifúngica de subprodutos da semente de maracujá. Esta CIM é igual à relatada para o extrato de semente de lúpulo, mas em relação a

outros fungos do gênero *Aspergillus* e *Penicillium*. Isso indica potencial aplicação da FSM em produtos alimentícios de panificação, não apenas por melhorar seu valor nutricional, mas também por ampliar a vida de prateleira como conservante natural contra o crescimento fúngico (ALONSO-ESTEBAN *et al.*, 2019).

A atividade antimicrobiana não depende apenas da concentração, mas também devem ser consideradas as variações derivadas do processo de extração, solvente aplicado e parte anatômica da planta. A capacidade da planta de inibir o crescimento microbiano se correlaciona com diferentes substâncias na amostra. Dependendo de sua polaridade e concentração, o solvente utilizado na extração pode não carrear todos os compostos bioativos, ou compostos não desejáveis, afetando o resultado final do teste (KARAMAN *et al.*, 2015; RIBEIRO *et al.*, 2017).

6.4.7. Atividade antioxidante *in vitro*

A farinha de torta de semente de maracujá (FSM) apresentou potencial antioxidante de 760,32 μmol de Trolox Equivalente (TE)/100g da amostra. Esse valor foi inferior aos de farinha de semente de Achachairu em diferentes estádios de maturação (912-921 μmol TE/100g) (IKEDA *et al.*, 2021) e de bacupari (937-942 μmol TE/100g) (MELO *et al.*, 2022). Entretanto, a atividade antioxidante da FSM se mostrou superior à de farinha de semente de tomate (357-358 μmol TE/100g) (CHOE *et al.*, 2021).

Em relação ao ensaio ABTS, a FSM apresentou atividade de 68,92 μmol TE/100g da amostra. Farinhas de semente de Achachairu apresentaram atividade mais elevada que a FSM, variando entre 3188-3266 μmol de TE/100g (IKEDA *et al.*, 2021), assim como a farinha de semente de tomate (339-358 μmol TE/100g) (CHOE *et al.*, 2021) e de bacupari (2438-2466 μmol TE/100g) (MELO *et al.*, 2022).

A atividade antioxidante de uma amostra pode variar de acordo com seu processamento. Portanto, diferentes tempos de secagem e condições de temperatura podem favorecer a concentração de compostos bioativos em um produto. O próprio aquecimento atua no desenvolvimento de novos antioxidantes, como as melanoidinas, produzidas através do escurecimento não enzimático (LÓPEZ-

VARGAS *et al.*, 2013). Uma melhor comparação entre os resultados depende de protocolos semelhantes quanto ao tipo de solvente, tempo de extração e forma de expressar os dados obtidos (PELLEGRINI *et al.*, 2018). A aplicação variada desses fatores pode dificultar a comparação entre a atividade antioxidante realizada em estudos diferentes.

Os alimentos são matrizes complexas e podem comprometer os ensaios metodológicos escolhidos. Os compostos bioativos presentes neles podem demonstrar sua ação no organismo de forma complementar, atuando sinergicamente devido às interações entre eles e os demais componentes do produto. Assim, para avaliar a capacidade antioxidante total de produtos alimentícios, é necessário utilizar múltiplos ensaios com diferentes mecanismos de ação (KEHILI *et al.*, 2018; LÓPEZ-VARGAS *et al.*, 2013; MELO *et al.*, 2022).

6.5. CARACTERIZAÇÃO DOS COOKIES

Todas as formulações dos biscoitos (Figura 13) apresentaram rendimento superior a 90%, com valores variando entre 90,85-94,66%. Esses valores foram superiores aos relatados para biscoitos suplementados com farinhas de berinjela e quiabo (65,33-75,33%) (OLIVEIRA *et al.*, 2020).

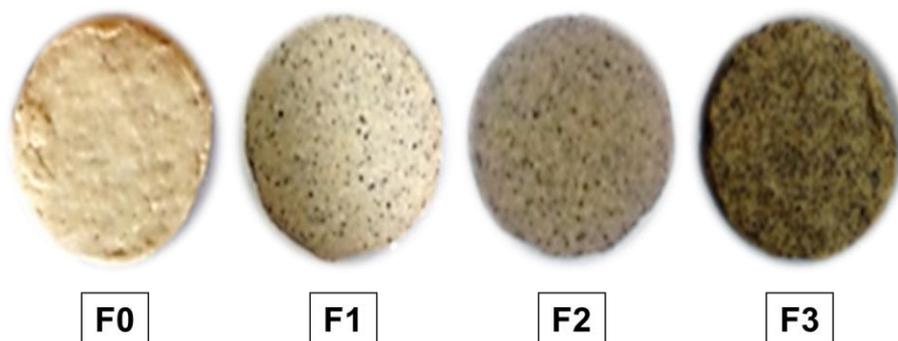


Figura 13 – Aspecto visual das formulações de *cookies* elaborados com FSM.

F0: formulação controle. F1: formulação com 10% de FSM. F2: formulação com 20% de FSM. F3: formulação com 30% de FSM. Fonte: Autoria própria (2022).

6.5.1. Composição nutricional

A Tabela 16 contém a composição centesimal das formulações dos biscoitos (F0, F1, F2 e F3). Em relação ao teor de umidade, todas as formulações apresentaram teores inferiores a 5%, exibindo diferença significativa ($p < 0,05$) decorrente da adição da FSM em relação ao padrão. Entretanto, não houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre as formulações substituídas.

Tabela 16 - Composição nutricional dos cookies produzidos da farinha da torta da semente de maracujá amarelo (FSM).

Parâmetro (%)	F0	F1	F2	F3
Umidade	4,98±0,00 ^a	3,81±0,00 ^b	3,16±0,00 ^b	3,71±0,00 ^b
Cinzas	1,2±0,00 ^a	1,0±0,00 ^a	1,1±0,00 ^a	1,20±0,00 ^a
Proteínas	6,59±0,00 ^a	4,82±0,00 ^b	5,13±0,00 ^b	4,53±0,00 ^b
Lipídios	21±0,03 ^b	24±0,00 ^a	25±0,00 ^a	25±0,00 ^a
Carboidratos	62,02±0,02 ^a	66,44±0,00 ^a	65,65±0,00 ^a	65,39±0,00 ^a
Valor energético (kcal/100g)	496,56 ^a	501,04 ^a	508,12 ^a	504,68 ^a

Resultados expressos em média \pm desvio padrão. F0: formulação controle. F1: formulação com 10% de FSM. F2: formulação com 20% de FSM. F3: formulação com 30% de FSM. Letras sobrescritas diferentes na linha indicam diferença significativa entre as médias ($p < 0,05$). Fonte: Autoria própria (2022).

O uso de linhaça em biscoitos promoveu teor de umidade inferior aos obtidos nesta pesquisa para amostras com 25% (3,53%) e 30% (2,92%) de farinha (KAUR; SINGH; KAUR, 2017). Biscoitos com farinha de semente de goiaba apresentaram umidade de 6,74 e 3,47% para formulações substituídas de 10 a 50%, respectivamente (SILVEIRA *et al.*, 2017). Assim como observado no presente estudo, ambos apresentaram alta umidade na formulação com maiores teores de farinha de trigo, ou seja, com menores substituição das farinhas estudadas.

As cinzas variaram entre 1% e 1,2%, sem diferença significativa entre as amostras ($p < 0,05$). Biscoitos com diferentes frações da farinha de semente de abóbora apresentaram concentrações minerais entre 1,33-1,85%, relativamente superiores às encontradas neste estudo (MOURA *et al.*, 2010). Em estudo aplicando

diferentes frações de farinha de linhaça em biscoitos (5-30%), o conteúdo mineral variou de 1,29% a 1,63% (KAUR; SINGH; KAUR, 2017), todos resultados superiores às amostras FSM.

A concentração de proteínas, assim como a umidade, variou significativamente ($p < 0,05$) apenas ao comparar a formulação padrão com a adição da farinha estudada (FSM). Em estudo de substituição de farinha de trigo por farinha de semente de girassol desengordurada, Grasso *et al.* (2019) relataram aumento significativo do teor proteico entre todas as formulações (0, 18 e 36%), com valores de 7,98%, 10,80% e 13,61%, respectivamente.

O teor de lipídios foi elevado com o aumento da proporção de FSM. Houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre a formulação controle e as adicionadas de FSM, mas não entre as amostras enriquecidas com a farinha, como evidenciado por Grasso *et al.* (2019) em biscoitos com 0% (17,37%), 18% (18,33%) e 36% (18,47%) de farinha de semente de girassol desengordurada.

Biscoitos com farinha de linhaça apresentaram concentrações de gordura inferiores para amostras com 10% (19,26%), 20% (21,02%) e 30% (22,5%) de substituição de farinha (KAUR; SINGH; KAUR, 2017). Por outro lado, biscoitos com farinha de caroço de abacate registraram variações de gordura de 8 a 17,3% (SILVA *et al.*, 2019). A alta oscilação entre os valores apresentados pode decorrer da variação da matéria prima inicial, do emprego de farinha de semente integral ou desengordurada, que já apresenta uma concentração lipídica elevada, ao contrário do que ocorreu com a farinha do presente estudo.

A fração dos carboidratos se mostrou com maior percentual de composição dos cookies, embora não tenha ocorrido diferença significativa ($p < 0,05$) com a introdução de FSM. Entretanto, esse parâmetro está contabilizando o conteúdo de fibras das amostras, superestimando seu valor energético. Já Oyeyinka *et al.* (2022) relataram menores teores de carboidratos em cookies adicionados de farinha de semente de tamarindo (53,10-56,14%), com diferença significativa quanto ao tipo de processamento térmico da farinha cozida (53%), submetida a micro-ondas (10-56%) e assada (14%).

Não houve diferença significativa entre os teores de lipídios, carboidratos e valor energético total das formulações adicionadas de FSM. Esse panorama reforça que maiores concentrações de FSM possibilitam um maior incremento no teor de

fibras do produto com pouca alteração de seu valor energético. Embora não tenha sido realizada a análise de fibras dos produtos, a avaliação da farinha identificou um elevado percentual desse componente (tabela 13).

6.5.2. Análise colorimétrica

A cor é um dos primeiros atributos avaliados em biscoitos, estando fortemente relacionado à aceitabilidade visual do produto (BAUMGARTNER *et al.*, 2018; JOSE *et al.*, 2022). A Figura 14 apresenta os resultados colorimétricos para os biscoitos tipo cookie enriquecidos com FSM.

Houve diminuição da luminosidade significativa ($p < 0,05$) à medida que a concentração de farinha aumentou nos biscoitos. Este resultado já era esperado, uma vez que a farinha apresenta baixa luminosidade (tópico 6.4.2.), resultando em uma aparência final mais escura dos produtos graças a maiores adições de FSM e em decorrência da reação de Maillard (OYEYINKA *et al.*, 2022), como visto na figura 13. A luminosidade em F1, F2 e F3 são superiores aos valores relatados para biscoitos com 18% (37,40) e 36% (36,55) de farinha de semente de girassol desengordurada (GRASSO *et al.*, 2019). Os biscoitos enriquecidos com farinha de linhaça apresentam menores valores de luminosidade ao aumentar a porcentagem de farinha (KAUR; SINGH; KAUR, 2017).

Os valores de a^* foram quase nulos, indicando que todas as amostras apresentaram tons intermediários entre o verde e o vermelho sem variação significativa para o parâmetro ($p < 0,05$). Ao contrário do presente estudo, em cookies elaborados com farinha de *Moringa oleífera*, Agrawal *et al.* (2022) detectaram elevação desse parâmetro, variando entre 1,8 - 5,9. Em biscoitos com 18% e 36% de farinha de semente de girassol, Grasso e colaboradores (2019) reportaram valores de 4,96 e 3,93, respectivamente, para esse parâmetro.

O parâmetro b^* apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) entre as formulações. Essa variação indica o afastamento das amostras de tonalidades próximas ao amarelo com a adição da farinha. Cookies enriquecidos com farinha de *Moringa oleífera* (AGRAWAL *et al.*, 2022) e de semente de girassol (GRASSO *et al.*,

2019) corroboram a tendência observada no presente estudo de que o incremento de substituição de farinha promove uma redução nos valores de b^* .

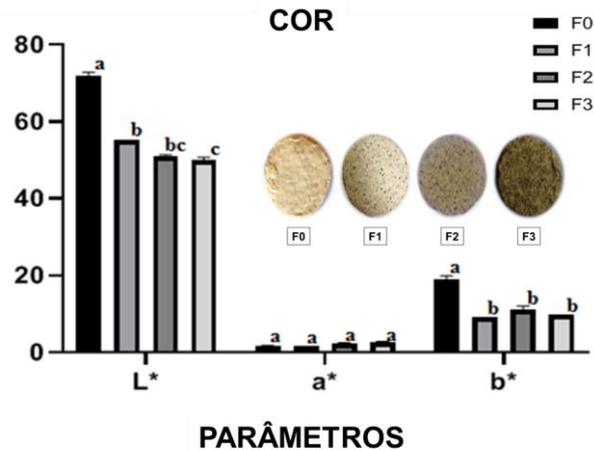


Figura 14 - Avaliação de cor dos biscoitos tipo *cookies* elaborados com FSM.

F0: formulação controle. F1: formulação com 10% de FSM. F2: formulação com 20% de FSM. F3: formulação com 30% de FSM. ^{a, b, c, d} Letras diferentes indicam diferença significativa ($p < 0,05$) entre as médias. Fonte: Autoria própria (2022).

Diferenças nos parâmetros de cor podem ser derivados de escurecimentos enzimáticos e não enzimáticos ocorridos durante a cocção dos produtos (KARAMAN *et al.*, 2015), mas também são afetados por seus componentes, como a quantidade de fibras presentes. Moura *et al.* (2010) reportaram que altas concentrações de farinha de sementes em produtos levam a uma menor luminosidade, como o observado no presente estudo. Em estudo com biscoitos suplementados com farinha de semente de goiaba (*Psidium guajava* L.), Silveira e colaboradores (2017) reportaram diminuição significativa do parâmetro L^* com a elevação da concentração da referida farinha, também detentora de elevado teor de fibras totais.

6.5.3. Avaliação da dureza

A Figura 15 representa os resultados da análise de textura. Não houve diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) entre as formulações F0 e F1, assim

como entre as formulações F2 e F3. De forma geral, as formulações com FSM apresentaram aumento significativo ($p < 0,05$) para dureza quando comparadas às formulações controle e com maiores teores de FSM.

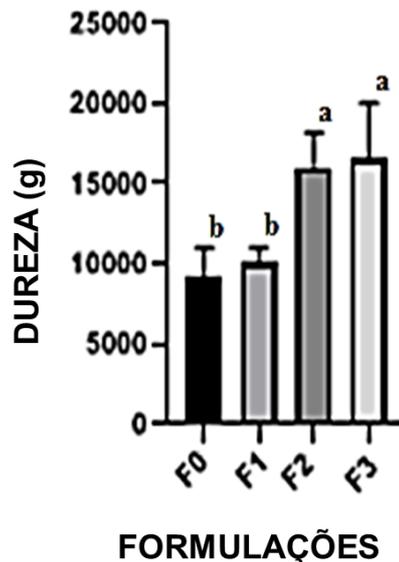


Figura 15 – Avaliação de dureza dos cookies elaborados com FSM.

F0: formulação controle. F1: formulação com 10% de FSM. F2: formulação com 20% de FSM. F3: formulação com 30% de FSM. ^{a, b, c, d} Letras diferentes indicam diferença significativa ($p < 0,05$) entre as médias. Fonte: Autoria própria (2022).

A textura é um parâmetro de grande relevância para a aceitação do consumidor (BAUMGARTNER *et al.*, 2018; JOSE *et al.*, 2022; MAS *et al.*, 2020). Assim como no presente estudo, a análise de textura de biscoitos enriquecidos com farelo de aveia (0,7,14 e 21%) (BAUMGARTNER *et al.*, 2018) e com semente de girassol desengordurada (0, 18 e 36%) (GRASSO *et al.*, 2019) também detectaram um aumento da dureza (resistência à quebra) nas amostras com níveis mais elevados de substituição.

Na avaliação de como a borra de café (SCG) e o resíduo da borra de café (SCGR) podem influenciar o perfil de textura dos biscoitos, Sharma *et al.* (2021) relataram um aumento na dureza à medida que a concentração de farinha crescia (5,7, e 10%). É relevante mencionar que os biscoitos com SCG apresentaram valores de dureza inferiores aos produtos com a mesma concentração de SCGR, matéria-prima desengordurada.

Embora níveis mais altos de FSM tenham produzido biscoitos com maior dureza, esse parâmetro também pode diminuir dependendo do subproduto da fruta aplicado, como observado em biscoitos com farinha de subproduto de *goji berry* (BORA; RAGAE; ABDEL-AAL, 2019). Os autores reportaram que a formulação com 40% de substituição de farinha de trigo apresentou o menor valor de dureza, o que foi correlacionado com a capacidade de retenção de água da farinha estudada que, devido ao maior teor de água na massa, ocorre a formação de glúten, resultando em biscoitos de textura mais rígida.

6.5.4. Atividade antioxidante dos cookies

A atividade antioxidante dos cookies enriquecidos com farinha da torta da semente de maracujá (FSM) está expressa na tabela 17. Os resultados do ensaio DPPH apresentaram variação significativa ($p < 0,05$) entre o produto controle e as demais formulações e entre as amostras com concentrações superiores de FSM. No entanto, a preparação F1 se destacou das demais formulações.

Tabela 17 - Atividade antioxidante dos *cookies* enriquecidos com farinha da torta da semente de maracujá (FSM)

Formulação	DPPH (% de inibição)	ABTS (% de inibição)
F0	29,72 ± 0,02 ^b	9,63 ± 0,02 ^d
F1	45,00 ± 0,05 ^a	19,92 ± 0,02 ^c
F2	29,90 ± 0,04 ^c	23,12 ± 0,01 ^a
F3	29,84 ± 0,08 ^c	22,49 ± 0,03 ^b

Resultados expressos em média ± desvio padrão. F0: formulação controle. F1: formulação com 10% de FSM. F2: formulação com 20% de FSM. F3: formulação com 30% de FSM. ^{a, b, c, d} Letras sobrescritas diferentes na coluna indicam diferença significativa entre as médias ($p < 0,05$). Fonte: Autoria própria (2022).

Vários fatores, como a complexidade da matriz alimentar, a extração dos compostos e o mecanismo de ação do teste, podem influenciar os resultados da

avaliação da bioatividade. A atividade antioxidante para sequestro do DPPH deste estudo foi superior à dos biscoitos fortificados com farinha de linhaça (5,5-12,25%) (KAUR; SINGH; KAUR, 2017). A avaliação da atividade antioxidante em biscoitos suplementados com farinha de resíduo de abacaxi também apresentou valores inferiores (16,37-18,66%) (JOSE *et al.*, 2022).

Um aumento significativo na porcentagem de eliminação de radicais ABTS ocorreu entre a formulação padrão (FO) e as amostras com FSM. No entanto, ao comparar apenas as formulações fortificadas, a atividade se manteve estável, independente da concentração de FSM nos biscoitos. Amostras com farinha de subprodutos cervejeiros apresentaram o mesmo padrão do presente estudo, comparando todos os produtos e apenas aqueles com menos de 50% de enriquecimento de farinha (STOFFEL *et al.*, 2021). Biscoitos enriquecidos com farinha de sementes de tâmara confirmaram um aumento significativo na atividade antioxidante entre todas as amostras (formulação padrão e com 2,5%, 5% e 7,5% de suplementação (NAJJAR *et al.*, 2022).

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação de partículas de quitosana e cloridrato de quitosana se mostrou uma alternativa viável como estabilizantes para a produção de emulsões *pickering* com óleo de semente de maracujá. Essa prática é uma tecnologia sustentável para a elaboração de emulsões sem surfactantes. Todas as formulações apresentaram dimensões inferiores às relatadas na literatura, com potencial Zeta elevado, indicando estabilidade satisfatória para aplicação de alimentos. Quanto à ação antimicrobiana, a interação do óleo com as partículas de quitosana fúngica foram mais efetivas contra os microrganismos patogênicos testados. Dessa forma, a emulsão com 10% de OSM e estabilizada com partículas de quitosana fúngica apresentam melhores características gerais para aplicação em alimentos.

Os sorvetes elaborados com a emulsão de óleo de semente de maracujá e quitosana apresentaram variações significativas quanto à redução do pH, aumento da taxa de derretimento, dureza e coesividade dos produtos. Assim, a formulação S2, adicionada de 5% de emulsão, apresentou características mais próximas da formulação controle, trazendo o benefício do incremento do óleo de semente de maracujá e da quitosana, sem comprometer as propriedades tecnológicas do produto.

A farinha de semente de maracujá apresentou valores significativos de proteínas lipídios e fibras. Sua aplicação em biscoitos tipo *cookie* afetou significativamente sua composição nutricional, dureza e atividade antioxidante. A formulação com substituição de 5% de FSM apresentou melhores resultados gerais, com baixa umidade, bom teor de proteínas e semelhante valor energético em relação ao produto controle. Esse produto também apresentou resultados satisfatórios para sua ação antioxidante, ou seja, deteve maiores concentrações de compostos bioativos, combinados a uma dureza estatisticamente igual ao biscoito controle.

Ambos os produtos elaborados selecionados apresentaram aspectos semelhantes aos das amostras controle. Esse resultado é interessante para a tecnologia de alimentos por oferecer produtos com incremento de ácidos graxos polinsaturados, fibras e compostos bioativos sem afetar as características gerais dos produtos, o que contribui para sua aceitação no mercado consumidor.

Ainda são necessários estudos mais aprofundados que tragam novas aplicabilidades tanto para o óleo de semente de maracujá quanto para a farinha, como

sua introdução em diferentes matrizes alimentares e em diferentes concentrações para avaliação de melhoria da qualidade nutricional, funcional e sensorial deles.

Maracujá é uma importante fonte de renda para a agricultura no Brasil e, como produto de exportação, gera grandes quantidades de resíduos orgânicos. Apesar de classificada como resíduo industrial, a semente de maracujá é fonte de subprodutos valiosos para o enriquecimento de produtos alimentícios, como ingrediente funcional para promover benefícios à saúde. Sua aplicação em alimentos representa uma ação considerável para a propagação e manutenção da sustentabilidade da cadeia produtiva e da economia local, reduzindo o desperdício e a insegurança alimentar.

REFERÊNCIAS

- AKBARI, Mehdi; ESKANDARI, Mohammad Hadi; DAVOUDI, Zahra. Application and functions of fat replacers in low-fat ice cream: A review. **Trends in food science & technology**, v. 86, p. 34-40, 2019.
- ALHAJJ, Maria J. *et al.* Lecithins from vegetable, land, and marine animal sources and their potential applications for cosmetic, food, and pharmaceutical sectors. **Cosmetics**, v. 7, n. 4, p. 87, 2020.
- ALONSO-ESTEBAN, José Ignacio *et al.* Phenolic composition and antioxidant, antimicrobial and cytotoxic properties of hop (*Humulus lupulus* L.) Seeds. **Industrial Crops and Products**, v. 134, p. 154-159, 2019.
- ALVES, Ana Paula de Carvalho *et al.* Elaboration and acceptability of restructured hams added with jabuticaba skin. **Food Science and Technology**, v. 37, p. 232-238, 2017.
- ALVES, Camyla Vidal *et al.* Sustentabilidade da produção de alimentos através da valorização do potencial de resíduos vegetais—uma revisão. In: **Avanços na ciência e tecnologia de alimentos**. Ed. Científica digital, Guarujá-SP, p. 591-604, 2021.
- ALZATE T, Luz M. *et al.* The profile of bioactive substances in ten vegetable and fruit by-products from a food supply chain in Colombia. **Sustainable Production and Consumption**, v. 9, p. 37-43, 2017.
- AOAC. **Association of Official Analytical Chemistry** - AOAC. (2002). Official methods of analysis (17th ed.).
- ARANAZ, Inmaculada *et al.* Chitosan: An overview of its properties and applications. **Polymers**, v. 13, n. 19, p. 3256, 2021.
- ATIK, Ilker *et al.* The effect of cold press chia seed oil by-products on the rheological, microstructural, thermal, and sensory properties of low-fat ice cream. **Foods**, v. 10, n. 10, p. 2302, 2021.
- AYYILDIZ, Hamide Filiz *et al.* Evaluation of fatty acid composition, tocopherols profile, and oxidative stability of some fully refined edible oils. **International Journal of Food Properties**, v. 18, n. 9, p. 2064-2076, 2015.
- BARBI, Rafaela Cristina Turola *et al.* Ripe and unripe inajá (*Maximilia maripa*) fruit: A new high source of added value bioactive compounds. **Food chemistry**, v. 331, p. 127333, 2020.
- BARRALES, Francisco Manuel; REZENDE, Camila Alves; MARTÍNEZ, Julian. Supercritical CO₂ extraction of passion fruit (*Passiflora edulis* sp.) seed oil assisted by ultrasound. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 104, p. 183-192, 2015.
- BARREIRA, João CM *et al.* Almond cold-pressed oil by-product as ingredient for cookies with potential health benefits: Chemical and sensory evaluation. **Food Science and Human Wellness**, v. 8, n. 3, p. 292-298, 2019.

BATISTA, Jaqueline Eduarda Rodrigues *et al.* Partial replacement of wheat flour by pumpkin seed flour in the production of cupcakes filled with carob. **Food Science and Technology**, v. 38, n. 2, p. 250-254, 2018.

BAUMGARTNER, B. *et al.* Functional and physical properties of cookies enriched with dephytinized oat bran. **Journal of Cereal Science**, v. 80, p. 24-30, 2018.

BENNEMANN, Gabriela Datsch *et al.* Desenvolvimento e aceitabilidade de muffins adicionados de farinha de casca de uva das cultivares Ancelotta e Bordô. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 14, n. 2, p. 864-874, 2016.

BERTON-CARABIN, Claire C.; SCHROËN, Karin. Pickering emulsions for food applications: background, trends, and challenges. **Annual review of food science and technology**, v. 6, p. 263-297, 2015.

BLEISCHWITZ, Raimund *et al.* Resource nexus perspectives towards the United Nations sustainable development goals. **Nature Sustainability**, v. 1, n. 12, p. 737-743, 2018.

BORA, Pragyani; RAGAEI, Sanaa; ABDEL-AAL, El-Sayed M. Effect of incorporation of goji berry by-product on biochemical, physical and sensory properties of selected bakery products. **Lwt**, v. 112, p. 108225, 2019.

BRANCO, Fernanda Redivo Waltrick. **Desenvolvimento de bolo com substituição parcial da farinha de trigo por farinha obtida a partir do subproduto de maracujá**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Mato Grosso.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA. Resolução – RDC Nº 713, de 1º de julho de 2022. **Dispõe sobre os requisitos sanitários dos gelados comestíveis e dos preparados para gelados comestíveis**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 1º de julho de 2022.

BRESSIANI, Josiane *et al.* Desperdício alimentar X aproveitamento integral de alimentos: elaboração de bolo de casca de banana. **Uniciências**, v. 21, n. 1, p. 39-44, 2017.

BRITO, T. B. N. *et al.* Chemical composition and physicochemical characterization for cabbage and pineapple by-products flour valorization. **LWT**, v. 124, p. 109028, 2020.

CAGGIA, Cinzia *et al.* Employ of citrus by-product as fat replacer ingredient for bakery confectionery products. **Frontiers in Nutrition**, v. 7, 2020.

CHAU, C. F.; HUANG, Y. L. Characterization of passion fruit seed fibres—a potential fibre source. **Food Chemistry**, v. 85, n. 2, p. 189-194, 2004.

CHEN, Bingcan *et al.* Design of foods with bioactive lipids for improved health. **Annu. Rev. Food Sci. Technol**, v. 4, n. 1, p. 35-56, 2013.

CHEN, Wenye *et al.* Rice bran protein-based nanoemulsion carrier for improving stability and bioavailability of quercetin. **Food Hydrocolloids**, v. 108, p. 106042, 2020.

CHOE, Uyory *et al.* Chemical composition of tomato seed flours, and their radical scavenging, anti-inflammatory and gut microbiota modulating properties. **Molecules**, v. 26, n. 5, p. 1478, 2021.

COELHO, Emanuela Monteiro *et al.* Passion fruit peel flour—Technological properties and application in food products. **Food Hydrocolloids**, v. 62, p. 158-164, 2017.

CORRÊA, Rúbia CG *et al.* The past decade findings related with nutritional composition, bioactive molecules and biotechnological applications of *Passiflora* spp. (passion fruit). **Trends in Food Science & Technology**, v. 58, p. 79-95, 2016.

COSTA, Ana Letícia Rodrigues; GOMES, Andresa; CUNHA, Rosiane Lopes. One-step ultrasound producing O/W emulsions stabilized by chitosan particles. **Food research international**, v. 107, p. 717-725, 2018.

CUNHA, Josiane Araújo *et al.* From seed to flour: sowing sustainability in the use of cantaloupe melon residue (*Cucumis melo* L. var. *reticulatus*). **PloS one**, v. 15, n. 1, p. e0219229, 2020.

DANAEI, M. *et al.* Impact of particle size and polydispersity index on the clinical applications of lipidic nanocarrier systems. **Pharmaceutics**, v. 10, n. 2, p. 57, 2018.

DELFINI, Fernando de Toledo. **Microencapsulação de óleo da semente de maracujá através da secagem por atomização**. 2016. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas.

DEMIRKOL, Melike; TARAKCI, Zekai. Effect of grape (*Vitis labrusca* L.) pomace dried by different methods on physicochemical, microbiological and bioactive properties of yoghurt. **Lwt**, v. 97, p. 770-777, 2018.

DENG, Lingli. Current progress in the utilization of soy-based emulsifiers in food applications—A Review. **Foods**, v. 10, n. 6, p. 1354, 2021.

DIAS, P. G. I.; SAJIWANIE, J. W. A.; RATHNAYAKA, Rmusk. Chemical Composition, Physicochemical and Technological Properties of Selected Fruit Peels as a Potential Food Source. **International Journal of Fruit Science**, p. 1-12, 2020.

DIETARY REFERENCE INTAKES TABLES AND APPLICATION (DRI). Table: DRI Values Summary - A complete document containing the four tables listed above. **The National Academies Sciences Engineering Medicine**. 2019. Disponível em: <http://nationalacademies.org/hmd/~media/Files/Report%20Files/2019/DRI-Tables-2019/6_DRIVValues_Summary.pdf?la=en> . Acesso em 15/12/2022.

DU, Xiaoqian *et al.* Development and evaluation of delivery systems for quercetin: A comparative study between coarse emulsion, nano-emulsion, high internal phase emulsion, and emulsion gel. **Journal of Food Engineering**, v. 314, p. 110784, 2022.

DUHAN, Neha; BARAK, Sheweta; MUDGIL, Deepak. Bioactive lipids: Chemistry & health benefits. **Biointerface Res. Appl. Chem**, v. 10, n. 6, p. 6676-6687, 2020.

ELGEGREN, Mariela *et al.* Ultrasound-assisted encapsulation of sacha inchi (*Plukenetia volubilis* Linneo.) oil in alginate-chitosan nanoparticles. **Polymers**, v. 11, n. 8, p. 1245, 2019.

EL-MESSERY, Tamer Mohammed *et al.* The effect of spray-drying and freeze-drying on encapsulation efficiency, in vitro bioaccessibility and oxidative stability of krill oil nanoemulsion system. **Food Hydrocolloids**, v. 106, p. 105890, 2020.

EMOJORHO, Eguono Ernest; AKUBOR, Peter Isah. Effect of Debittering Methods on the Proximate Composition Sensory and Functional Properties of Orange (*Citrus Sinensis*) Seed Flour. **IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology**, v. 10, n. 9, p. 9-16, 2016.

FERREIRA, Clara Maria *et al.* Effect of mixed flour from vegetable by-products on breads. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 2, p. 8710-8724, 2020.

GENOVESE, Alessandro *et al.* Functional ice cream health benefits and sensory implications. **Food Research International**, p. 111858, 2022.

GOH, Kelvin KT; YE, Aiqian; DALE, Nicola. Characterisation of ice cream containing flaxseed oil. **International journal of food science & technology**, v. 41, n. 8, p. 946-953, 2006.

GÖKŞEN, Gülden; EKİZ, H. İbrahim. Use of aniseed cold-pressed by-product as a food ingredient in muffin formulation. **LWT**, v. 148, p. 111722, 2021.

GOWDA, Avinash *et al.* Process optimization and oxidative stability of omega-3 ice cream fortified with flaxseed oil microcapsules. **Journal of food science and technology**, v. 55, n. 5, p. 1705-1715, 2018.

GRASSO, Simona *et al.* The use of upcycled defatted sunflower seed flour as a functional ingredient in biscuits. **Foods**, v. 8, n. 8, p. 305, 2019.

GÜVEN, Mehmet; KALENDER, Murat; TAŞPINAR, Tansu. Effect of using different kinds and ratios of vegetable oils on ice cream quality characteristics. **Foods**, v. 7, n. 7, p. 104, 2018.

HAMED, Imen; ÖZOGUL, Fatih; REGENSTEIN, Joe M. Industrial applications of crustacean by-products (chitin, chitosan, and chitooligosaccharides): A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 48, p. 40-50, 2016.

HAN, Jing *et al.* Environmental stability and curcumin release properties of Pickering emulsion stabilized by chitosan/gum Arabic nanoparticles. **International Journal of Biological Macromolecules**, 2020.

HATAMIAN, Mahrokh *et al.* Effect of roasting treatment on functional and antioxidant properties of chia seed flours. **NFS Journal**, v. 21, p. 1-8, 2020.

HE, Zhongqi *et al.* Surface characterization of cottonseed meal products by SEM, SEM-EDS, XRD and XPS analysis. **J. Mater. Sci. Res**, v. 7, n. 1, p. 28-40, 2018.

HOMAYOUNI, Aziz *et al.* Advanced methods in ice cream analysis: a review. **Food Analytical Methods**, v. 11, n. 11, p. 3224-3234, 2018.

HONG, Su Jung *et al.* Enhanced bioaccessibility and stability of iron through W/O/W double emulsion-based solid lipid nanoparticles and coating with water-soluble chitosan. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 209, p. 895-903, 2022.

IBGE. **Produção Agrícola - Lavoura Permanente**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro. 2021

IKEDA, Mônica *et al.* Nutritional and bioactive composition of achachairu (*Garcinia humilis*) seed flour: A potential ingredient at three stages of ripening. **LWT**, v. 152, p. 112251, 2021.

ISHIMOTO, Fábio Yuitiro *et al.* Aproveitamento alternativo da casca do maracujá-amarelo (*Passiflora edulis* f. var. *flavicarpa* Deg.) para produção de biscoitos. **RECEN-Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 9, n. 2, 2007.

JAN, Kushboo *et al.* Effect of roasting on physicochemical and antioxidant properties of kalonji (*Nigella sativa*) seed flour. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 13, n. 2, p. 1364-1372, 2019.

JIANG, Hang; SHENG, Yifeng; NGAI, To. Pickering emulsions: Versatility of colloidal particles and recent applications. **Current opinion in colloid & interface science**, v. 49, p. 1-15, 2020.

JOSE, Manisha *et al.* Valorization of food industry by-product (Pineapple Pomace): A study to evaluate its effect on physicochemical and textural properties of developed cookies. **Measurement: Food**, v. 6, p. 100031, 2022.

JU, Mengnan *et al.* A novel pickering emulsion produced using soy protein-anthocyanin complex nanoparticles. **Food Hydrocolloids**, v. 99, p. 105329, 2020.

KARAMAN, Safa *et al.* Recovery potential of cold press byproducts obtained from the edible oil industry: physicochemical, bioactive, and antimicrobial properties. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 63, n. 8, p. 2305-2313, 2015.

KAUR, Guneet *et al.* Recent trends in green and sustainable chemistry & waste valorisation: rethinking plastics in a circular economy. **Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry**, v. 9, p. 30-39, 2018.

KAUR, Maninder; SINGH, Varinder; KAUR, Rajwinder. Effect of partial replacement of wheat flour with varying levels of flaxseed flour on physicochemical, antioxidant and sensory characteristics of cookies. **Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre**, v. 9, p. 14-20, 2017.

KAUR, Manpreet; SHARMA, S. formulation and nutritional evaluation of cookies supplemented with pumpkin seed (*Curcubita Moschata*) flour. **Chemical Science Review and Letters** v. 6, p. 2236-2241, 2017.

KEHILI, Mouna *et al.* Oxidative stability of refined olive and sunflower oils supplemented with lycopene-rich oleoresin from tomato peels industrial by-product, during accelerated shelf-life storage. **Food chemistry**, v. 246, p. 295-304, 2018.

KIEFER, Johannes *et al.* Identification of passion fruit oil adulteration by chemometric analysis of FTIR spectra. **Molecules**, v. 24, n. 18, p. 3219, 2019.

KIM, Yeon Ho *et al.* Comparative antibacterial and antifungal activities of sulfur nanoparticles capped with chitosan. **Microbial Pathogenesis**, v. 144, p. 104178, 2020.

KLOJDOVÁ, Iveta; STATHOPOULOS, Constantinos. W/o/w multiple emulsions: A novel trend in functional ice cream preparations?. **Food Chemistry: X**, p. 100451, 2022.

KUMAR, P. Suresh *et al.* Structural, functional characterization and physicochemical properties of green banana flour from dessert and plantain bananas (*Musa* spp.). **LWT**, v. 116, p. 108524, 2019.

KUROZUMI, Seiji *et al.* A novel hydrochloride-free chitosan oligosaccharide production method to improve taste. **International journal of biological macromolecules**, v. 140, p. 109-118, 2019.

LARROSA, Ana Paula Q.; OTERO, Deborah M. Flour made from fruit by-products: Characteristics, processing conditions, and applications. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 45, n. 5, p. e15398, 2021.

LEÃO, Daniela P. *et al.* Physicochemical characterization, antioxidant capacity, total phenolic and proanthocyanidin content of flours prepared from pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) fruit by-products. **Food Chemistry**, v. 225, p. 146-153, 2017.

LI, Hua-Bin *et al.* Antioxidant properties in vitro and total phenolic contents in methanol extracts from medicinal plants. **LWT-Food Science and Technology**, v. 41, n. 3, p. 385-390, 2008.

LI, Siqi *et al.* Development of antibacterial nanoemulsions incorporating thyme oil: Layer-by-layer self-assembly of whey protein isolate and chitosan hydrochloride. **Food Chemistry**, v. 339, p. 128016, 2021.

LI, Xiao-Min *et al.* Chitosan hydrochloride/carboxymethyl starch complex nanogels as novel Pickering stabilizers: Physical stability and rheological properties. **Food Hydrocolloids**, v. 93, p. 215-225, 2019.

LI, Xiao-Min *et al.* Chitosan hydrochloride/carboxymethyl starch complex nanogels stabilized Pickering emulsions for oral delivery of β -carotene: Protection effect and in vitro digestion study. **Food chemistry**, v. 315, p. 126288, 2020.

LIMA, Gerlane Souza; XAVIER-JÚNIOR, Francisco Humberto; STAMFORD, Thayza Christina Montenegro. Óleo de semente de maracujá (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*): composição química e funcionalidade em alimentos. *In: Equidade e Sustentabilidade no Campo da Segurança Alimentar Global*. Ed. Atena, Ponta Grossa-PR, p. 388-416, 2020.

LING, Bo *et al.* Nutritional quality, functional properties, bioactivity, and microstructure of defatted pistachio kernel flour. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 93, n. 5, p. 689-699, 2016.

LIU, Yang *et al.* Effect of emulsifier composition on oil-in-water nano-emulsions: Fabrication, structural characterization and delivery of zeaxanthin dipalmitate from *Lycium barbarum* L. **LWT**, v. 161, p. 113353, 2022.

LOPES, Renata Miranda *et al.* Estudo comparativo do perfil de ácidos graxos em semente de *Passifloras* nativas do cerrado brasileiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, n. 2, p. 498-506, 2010.

LOPEZ-MOYA, F.; SUAREZ-FERNANDEZ, M.; LOPEZ-LLORCA, L. V. Molecular Mechanisms of Chitosan Interactions with Fungi and Plants. **International Journal of Molecular Science**. 20 (2):332. 2019.

LÓPEZ-VARGAS, Jairo H. *et al.* Chemical, physico-chemical, technological, antibacterial and antioxidant properties of dietary fiber powder obtained from yellow passion fruit (*Passiflora edulis* var. *flavicarpa*) co-products. **Food Research International**, v. 51, n. 2, p. 756-763, 2013.

LUCARINI, Massimo *et al.* Grape seeds: Chromatographic profile of fatty acids and phenolic compounds and qualitative analysis by FTIR-ATR spectroscopy. **Foods**, v. 9, n. 1, p. 10, 2019a.

LUCARINI, Massimo *et al.* Passion Fruit (*Passiflora* spp.) Seed Oil. *In: Fruit Oils: Chemistry and Functionality*. Springer, Cham, p. 577-603, 2019b.

MA, Li *et al.* One-step preparation of high internal phase emulsions using natural edible Pickering stabilizers: Gliadin nanoparticles/gum Arabic. **Food Hydrocolloids**, v. 100, p. 105381, 2020.

MALACRIDA, Cassia Roberta; JORGE, Neuza. Yellow passion fruit seed oil (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*): physical and chemical characteristics. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 55, n. 1, p. 127-134, 2012.

MARÍN-SUÁREZ, Marta *et al.* Production and characterization of ice cream with high content in oleic and linoleic fatty acids. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 118, n. 12, p. 1846-1852, 2016.

MARIUTTI, Lilian Regina Barros *et al.* Free radical scavenging activity of ethanolic extracts from herbs and spices commercialized in Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 51, p. 1225-1232, 2008.

MARTINS, Marcos Rafael Sousa Ferreira; VIANA, Leticia Fleury; CAPPATO, Leandro Pereira. Food waste profile in Brazilian Food and Nutrition Units and the implemented corrective actions. **Food Science and Technology**, v. 42, 2022.

MAS, Agustín Lucini *et al.* Defatted chia flour as functional ingredient in sweet cookies. How do Processing, simulated gastrointestinal digestion and colonic fermentation affect its antioxidant properties?. **Food chemistry**, v. 316, p. 126279, 2020.

MATOS, Ricardo. **Nanoemulsificação de óleo de castanha do Brasil (Bertholletia excelsa) pelo método do ponto de inversão da emulsão e encapsulação de vitamina D3**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2019.

MCCLEMENTS, David Julian. Advances in edible nanoemulsions: Digestion, bioavailability, and potential toxicity. **Progress in lipid research**, v. 81, p. 101081, 2021.

MCCLEMENTS, David Julian. Advances in nanoparticle and microparticle delivery systems for increasing the dispersibility, stability, and bioactivity of phytochemicals. **Biotechnology advances**, v. 38, p. 107287, 2020.

MCCLEMENTS, David Julian. Edible lipid nanoparticles: digestion, absorption, and potential toxicity. **Progress in lipid research**, v. 52, n. 4, p. 409-423, 2013.

MELO, Anely Maciel *et al.* Valorization of the agro-industrial by-products of bacupari (*Garcinia brasiliensis* (Mart.)) through production of flour with bioactive properties. **Food Bioscience**, v. 45, p. 101343, 2022.

MELO, Natália Ferrão Castelo Branco *et al.* Effects of fungal chitosan nanoparticles as eco-friendly edible coatings on the quality of postharvest table grapes. **Postharvest Biology and Technology**, v. 139, p. 56-66, 2018.

MELO, Natália Ferrão Castelo Branco *et al.* Quality of postharvest strawberries: comparative effect of fungal chitosan gel, nanoparticles and gel enriched with edible nanoparticles coatings. **International Journal of Food Studies**, v. 9, n. 2, 2020.

MENG, D. *et al.* Antifungal activity of chitosan against *Aspergillus ochraceus* and its possible mechanisms of action. **International Journal of Biological Macromolecules**, 158: 1063–1070, 2020.

MIAO, Jinyu *et al.* Fabrication of polysaccharide-based high internal phase emulsion gels: Enhancement of curcumin stability and bioaccessibility. **Food Hydrocolloids**, v. 117, p. 106679, 2021.

MIRANDA, Anny Alves *et al.* Desenvolvimento e Análise de Bolos Enriquecidos com Farinha da Casca do Maracujá (*Passiflora Edulis*) como Fonte de Fibras. **Brazilian Journal of Food & Nutrition/Alimentos e Nutrição**, v. 24, n. 2, 2013.

MITBUMRUNG, Wiphada *et al.* Encapsulation of vitamin D3 in pickering emulsion stabilized by nanofibrillated mangosteen cellulose: Effect of environmental stresses. **Journal of food science**, v. 84, n. 11, p. 3213-3221, 2019.

MOHAMMED, Nameer Khairullah; MUHIALDIN, Belal J.; MEOR HUSSIN, Anis Shobirin. Characterization of nanoemulsion of Nigella sativa oil and its application in ice cream. **Food science & nutrition**, v. 8, n. 6, p. 2608-2618, 2020.

MOSTAFAVI, F. S.; TEHRANI, M. M.; MOHEBBI, Mohebbat. Rheological and sensory properties of fat reduced vanilla ice creams containing milk protein concentrate (MPC). **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 11, n. 2, p. 567-575, 2017.

MOTA, N. S. R. S. **Efeito antitumoral dos extratos hidroalcoólico e supercrítico da semente de *Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Degener (Passifloraceae)**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. 2015.

MOTA, Nádia SRS *et al.* In vivo antitumor activity of by-products of *Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deg. Rich in medium and long chain fatty acids evaluated through oxidative stress markers, cell cycle arrest and apoptosis induction. **Food and Chemical Toxicology**, v. 118, p. 557-565, 2018.

MOURA, Fernanda Aline *et al.* Biscoitos tipo "cookie" elaborados com diferentes frações de semente de abóbora. **Brazilian Journal of Food & Nutrition/Alimentos e Nutrição**, v. 21, n. 4, 2010.

NADEEM, Muhammad; SITU, Chen; ABDULLAH, Muhammad. Effect of olein fractions of milk fat on oxidative stability of ice cream. **International Journal of Food Properties**, v. 18, n. 4, p. 735-745, 2015.

NAJJAR, Zein *et al.* Antioxidant Potential of Cookies Formulated with Date Seed Powder. **Foods**, v. 11, n. 3, p. 448, 2022.

NOORFARAHZILAH, M.; MANSOOR, A. H.; HASMADI, M. Proximate composition, mineral content and functional properties of Tarap (*Artocarpus odoratissimus*) seed flour. **Food Research**, v. 1, n. 3, p. 89-96, 2017.

OLIVEIRA, Jocilane Pereira. *et al.* Preparation and characterization of microparticles loaded with seed oil of Caatinga passion fruit obtained by spray drying. **Biomedical and Biopharmaceutical Research**. V.16, n.1, p.97-104, 2019.

OLIVEIRA, Thayse Wilma Nogueira *et al.* Caracterização físico-química e sensorial de biscoitos tipo cookie elaborados com farinha de berinjela (*solanum melongena* L.) E quiabo (*abelmoschus esculentus* L. Moench). **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 3, p. 14259-14277, 2020.

OPPERMANN, A. K. L. *et al.* Descriptive sensory profiling of double emulsions with gelled and non-gelled inner water phase. **Food Research International**, v. 85, p. 215-223, 2016.

OZOGUL, Yesim *et al.* Recent developments in industrial applications of nanoemulsions. **Advances in Colloid and Interface Science**, p. 102685, 2022.

PELEGRINI, P. B. *et al.* An antifungal peptide from passion fruit (*Passiflora edulis*) seeds with similarities to 2S albumin proteins. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Proteins and Proteomics**, v. 1764, n. 6, p. 1141-1146, 2006.

PELLEGRINI, Marika *et al.* Chemical, fatty acid, polyphenolic profile, techno-functional and antioxidant properties of flours obtained from quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) seeds. **Industrial Crops and Products**, v. 111, p. 38-46, 2018.

PEREIRA, Marlene G. *et al.* Effect of extraction process on composition, antioxidant and antibacterial activity of oil from yellow passion fruit (*Passiflora edulis* Var. *Flavicarpa*) seeds. **Waste and Biomass Valorization**, v. 10, n. 9, p. 2611-2625, 2019.

PERTUZATTI, Paula Becker *et al.* Carotenoids, tocopherols and ascorbic acid content in yellow passion fruit (*Passiflora edulis*) grown under different cultivation systems. **LWT-Food Science and Technology**, v. 64, n. 1, p. 259-263, 2015.

PIOMBO, Georges *et al.* Characterization of the seed oils from kiwi (*Actinidia chinensis*), passion fruit (*Passiflora edulis*) and guava (*Psidium guajava*). **Oléagineux, Corps Gras, Lipides**, v. 13, n. 2-3, p. 195-199, 2006.

PUROHIT, Sukumar *et al.* Evaluation of thermophysical, biochemical and antibacterial properties of unconventional vegetable oil from Northeast India. **Materials Science for Energy Technologies**, v. 4, p. 81-91, 2021.

QI, Jun-ru *et al.* Citrus fiber for the stabilization of O/W emulsion through combination of Pickering effect and fiber-based network. **Food Chemistry**, v. 343, p. 128523, 2021.

RABELO, Renata S. *et al.* Complexation of chitosan with gum Arabic, sodium alginate and κ -carrageenan: Effects of pH, polymer ratio and salt concentration. **Carbohydrate polymers**, v. 223, p. 115120, 2019.

REGIS, Suelen Alvarenga; RESENDE, Eder Dutra de; ANTONIASSI, Rosemar. Oil quality of passion fruit seeds subjected to a pulp-waste purification process. **Ciência Rural**, v. 45, n. 6, p. 977-984, 2015.

REIS, Luzia Caroline Ramos dos *et al.* Characterization of Orange Passion Fruit Peel Flour and Its Use as an Ingredient in Bakery Products. **Journal of Culinary Science & Technology**, v. 18, n. 3, p. 214-230, 2020.

RESENDE, Laís M.; OLIVEIRA, Leandro S.; FRANCA, Adriana S. Characterization of jaboticaba (*Plinia cauliflora*) peel flours and prediction of compounds by FTIR analysis. **LWT**, v. 133, p. 110135, 2020.

RIBEIRO, Andreia *et al.* In vitro digestion and bioaccessibility studies of vitamin E-loaded nanohydroxyapatite Pickering emulsions and derived fortified foods. **LWT**, v. 154, p. 112706, 2022.

RIBEIRO, Elisa Franco *et al.* Chitosan and crosslinked chitosan nanoparticles: Synthesis, characterization and their role as Pickering emulsifiers. **Carbohydrate polymers**, v. 250, p. 116878, 2020a.

RIBEIRO, Elisa Franco *et al.* Digestibility and bioaccessibility of pickering emulsions of roasted coffee oil stabilized by chitosan and chitosan-sodium tripolyphosphate nanoparticles. **Food Biophysics**, v. 15, n. 2, p. 196-205, 2020b.

RIBEIRO, Penha Patrícia Cabral *et al.* Bioactive properties of faveleira (*Cnidocolus quercifolius*) seeds, oil and press cake obtained during oilseed processing. **Plos one**, v. 12, n. 8, p. e0183935, 2017.

ROJAS, Valquiria Maedal. **Encapsulação de óleos de alto valor nutricional para formulação de alimentos**. 2018. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

ROLON, M. Laura *et al.* Effect of fat content on the physical properties and consumer acceptability of vanilla ice cream. **Journal of dairy science**, v. 100, n. 7, p. 5217-5227, 2017.

SANTOS, Cláudia Mendes dos *et al.* Preparação, caracterização e análise sensorial de pão integral enriquecido com farinha de subprodutos do mamão. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, 2018.

SANTOS, Orquídea Vasconcelos dos *et al.* Utilization of agroindustrial residue from passion fruit (*Passiflora edulis*) seeds as a source of fatty acids and bioactive substances. **Food Science and Technology**, v. 41, p. 218-225, 2020.

SANTOS, Orquídea Vasconcelos. *et al.* Efeitos do Consumo de Produtos e Subprodutos do Maracujá (*Passiflora edulis*) nas Doenças Crônicas não Degenerativas/Effects of Consumption of Passion (*Passiflora edulis*) Products and By-Products on Non-Degenerative Chronic. **Diseases. Brazilian Journal of Health Review**, v. 2, n. 6, p. 6226-6244, 2019.

SANTOS, Viviane Michele dos *et al.* Evaluation of physicochemical properties and viability of starter culture of liquid cheese whey-based frozen yogurts supplemented with inulin. **Ciência Rural**, v. 51, 2021.

SEBRAE, Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. **Cartilha de boas práticas de fabricação na indústria de gelados comestíveis**. 2017. 62 p.

SHAH, Bakht Ramin; XU, Wei; MRÁZ, Jan. Fabrication, stability and rheological properties of zein/chitosan particles stabilized Pickering emulsions with antioxidant activities of the encapsulated vit-D3. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 191, p. 803-810, 2021.

SHARKAWY, Asma; BARREIRO, Maria Filomena; RODRIGUES, Alírio E. Chitosan-based Pickering emulsions and their applications: A review. **Carbohydrate polymers**, v. 250, p. 116885, 2020.

SHARKAWY, Asma; BARREIRO, Maria Filomena; RODRIGUES, Alírio Egídio. Preparation of chitosan/gum Arabic nanoparticles and their use as novel stabilizers in oil/water Pickering emulsions. **Carbohydrate polymers**, v. 224, p. 115190, 2019.

SHOJAEI, Mahsa; ESHAGHI, Mohammadreza; NATEGHI, Leila. Characterization of hydroxypropyl methyl cellulose–whey protein concentrate bionanocomposite films

reinforced by chitosan nanoparticles. **Journal of food processing and preservation**, v. 43, n. 10, p. e14158, 2019.

SILVA, Denise Andrade da. **Utilização da farinha de resíduos de acerola e umbu cajá na produção de bolo tipo cupcake**. 2017. 89 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristovão, 2017.

SILVA, Francieli Araújo *et al.* Incorporation of phenolic-rich ingredients from integral valorization of Isabel grape improves the nutritional, functional and sensory characteristics of probiotic goat milk yogurt. **Food Chemistry**, v. 369, p. 130957, 2022.

SILVA, Igor Gondin da *et al.* Elaboração e análise sensorial de biscoito tipo cookie feito a partir da farinha do caroço de abacate. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 22, 2019.

SILVA, Larissa Morais Ribeiro *et al.* Quantification of bioactive compounds in pulps and by-products of tropical fruits from Brazil. **Food Chemistry**, v. 143, p. 398-404, 2014.

SILVA, Vania Santos; ORLANDELLI, Ravelly Casarotti. Desenvolvimento de Alimentos Funcionais nos Últimos Anos: Uma Revisão. **Revista Uningá**, v. 56, n. 2, p. 182-194, 2019.

SILVEIRA, Márcia Liliane Rippel *et al.* Aproveitamento tecnológico das sementes de goiaba (*Psidium guajava* L.) como farinha na elaboração de biscoitos. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 34, n. 2, 2017.

SONG, Xiaoyan *et al.* The physical and oxidative stabilities of Pickering emulsion stabilized by starch particle and small molecular surfactant. **Food chemistry**, v. 303, p. 125391, 2020.

SOUKOULIS, Christos; FISK, Ian D.; BOHN, Torsten. Ice cream as a vehicle for incorporating health-promoting ingredients: Conceptualization and overview of quality and storage stability. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 13, n. 4, p. 627-655, 2014.

STOFFEL, Fernanda *et al.* Use of *Pleurotus albidus* mycoprotein flour to produce cookies: Evaluation of nutritional enrichment and biological activity. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 68, p. 102642, 2021.

SU, Jiaqi *et al.* Utilization of β -lactoglobulin(-)-Epigallocatechin-3-gallate (EGCG) composite colloidal nanoparticles as stabilizers for lutein pickering emulsion. **Food Hydrocolloids**, v. 98, p. 105293, 2020.

SUN, Y. *et al.* Cellular uptake of chitosan and its role in antifungal action against *Penicillium expansum*. **Carbohydrate Polymers**, v. 269, n. May, p. 118349, 2021.

SUN, Zhu *et al.* Pickering emulsions stabilized by colloidal surfactants: Role of solid particles. **Particuology**, 2021.

SYED, Qamar Abbas *et al.* Effects of different ingredients on texture of ice cream. **Journal of Nutritional Health and Food Engineering**, v. 8, n. 6, p. 422-435, 2018.

TIAN, Tian *et al.* Preparation of benzyl isothiocyanate nanoemulsions by different emulsifiers: Stability and bioavailability. **Process Biochemistry**, v. 111, p. 128-138, 2021.

ULLAH, Rahman; NADEEM, Muhammad; IMRAN, Muhammad. Omega-3 fatty acids and oxidative stability of ice cream supplemented with olein fraction of chia (*Salvia hispanica* L.) oil. **Lipids in health and disease**, v. 16, n. 1, p. 1-8, 2017.

UMERSKA, Anita *et al.* Freeze drying of polyelectrolyte complex nanoparticles: Effect of nanoparticle composition and cryoprotectant selection. **International journal of pharmaceuticals**, v. 552, n. 1-2, p. 27-38, 2018.

VELEZ-ERAZO, Eliana Marcela *et al.* High internal phase emulsions (HIPE) using pea protein and different polysaccharides as stabilizers. **Food Hydrocolloids**, v. 105, p. 105775, 2020.

VIANA, Dayse Emanuelle de Lima; DANTAS, Mikaeli Medeiros; MENEZES, Maria Emília da Silva. Ácidos graxos das séries ômega-3 e ômega-6 e sua utilização no tratamento de doenças cardiovasculares: uma revisão. **Revista Saúde & Ciência Online**, v. 5, n. 2, p. 65-83, 2016.

VIOLA, Amanda Gouvêa Wandeley. **Desenvolvimento de cupcake funcional a partir da incorporação de produtos das cascas de maracujá (*Passiflora edulis flavicarpa*) e abóbora (*Cucurbita máxima*)**. 2015. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro.

WANG, Jia-Shui *et al.* Physical and oxidative stability of functional avocado oil high internal phase emulsions collaborative formulated using citrus nanofibers and tannic acid. **Food Hydrocolloids**, v. 82, p. 248-257, 2018.

WANG, Xiao-Yan *et al.* Chitosan-stabilized emulsion gels via pH-induced droplet flocculation. **Food Hydrocolloids**, v. 105, p. 105811, 2020.

WANG, Wan *et al.* Effects of soybean oil body as a milk fat substitute on ice cream: Physicochemical, sensory and digestive properties. **Foods**, v. 11, n. 10, p. 1504, 2022.

WHO. Healthy diet. **World Health Organization**. Regional Office for the Eastern Mediterranean. 2019

WINUPRASITH, Thunnalin *et al.* Encapsulation of vitamin D3 in pickering emulsions stabilized by nanofibrillated mangosteen cellulose: Impact on in vitro digestion and bioaccessibility. **Food hydrocolloids**, v. 83, p. 153-164, 2018.

WYNNYCHUK, Carter *et al.* Long-term stable emulsions prepared from lentil protein fibrillar aggregates. **Food Structure**, v. 29, p. 100204, 2021.

XIAO, Jie; LI, Yunqi; HUANG, Qingrong. Recent advances on food-grade particles stabilized Pickering emulsions: Fabrication, characterization and research trends. **Trends in Food Science & Technology**, v. 55, p. 48-60, 2016.

YAN, Ling *et al.* Small interfering RNA-loaded chitosan hydrochloride/carboxymethyl chitosan nanoparticles for ultrasound-triggered release to hamper colorectal cancer growth in vitro. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 162, p. 1303-1310, 2020.

YE, Fan *et al.* Structure and physicochemical properties for modified starch-based nanoparticle from different maize varieties. **Food Hydrocolloids**, v. 67, p. 37-44, 2017.

ZENG, Tao *et al.* Development of antioxidant Pickering high internal phase emulsions (HIPEs) stabilized by protein/polysaccharide hybrid particles as potential alternative for PHOs. **Food Chemistry**, v. 231, p. 122-130, 2017.

ZERAIK, Maria Luiza *et al.* Maracujá: um alimento funcional?. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 20, n. 3, p. 459-471, 2010.

ZHAO, Sheliang *et al.* High internal phase emulsions stabilized by native and heat-treated lactoferrin-carboxymethyl chitosan complexes: Comparison of molecular and granular emulsifiers. **Food Chemistry**, v. 370, p. 130507, 2022.

ZHONG, Yejun *et al.* Spray drying and rehydration of macadamia oil-in-water emulsions: Impact of macadamia protein isolate to chitosan hydrochloride ratio. **Food Chemistry**, v. 342, p. 128380, 2021.

ZHOU, Yan *et al.* Preparation and antimicrobial activity of oregano essential oil Pickering emulsion stabilized by cellulose nanocrystals. **International journal of biological macromolecules**, v. 112, p. 7-13, 2018.