

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

FACULDADE DE ZOOTECNIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS

GUSTAVO AUGUSTO BORGES TEIXEIRA

**Desenvolvimento de sorvete de maracujá enriquecido com luteína  
nanoencapsulada**

---

PIRASSUNUNGA

2022

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
FACULDADE DE ZOOTECNIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS

GUSTAVO AUGUSTO BORGES TEIXEIRA

**Desenvolvimento de sorvete de maracujá enriquecido com luteína  
nanoencapsulada**

**(Versão corrigida)**

Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Mestre em Ciências.

Área de concentração: Ciências da Engenharia de Alimentos

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Samantha Cristina de Pinho

---

PIRASSUNUNGA

2022

Ficha catalográfica elaborada pelo  
Serviço de Biblioteca e Informação, FZEA/USP,  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

T266d      Teixeira, Gustavo Augusto Borges  
Desenvolvimento de sorvete de maracujá  
enriquecido com luteína nanoencapsulada / Gustavo  
Augusto Borges Teixeira ; orientadora Samantha  
Cristina de Pinho. -- Pirassununga, 2022.

86 f.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação  
em Engenharia de Alimentos) -- Faculdade de  
Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade  
de São Paulo.

1. Luteína. 2. Nanoemulsão. 3. Sorvete. 4.  
Carotenoides. I. Pinho, Samantha Cristina de,  
orient. II. Título.

Dedico este trabalho a todas as pessoas que contribuíram para meu crescimento como pessoa. Sou fruto da confiança e da força de cada um de vocês.

## AGRADECIMENTOS

À Deus pela saúde, por me conduzir pelos melhores caminhos e ter colocado pessoas incríveis ao longo dessa jornada.

Aos meus pais, Clarkson Cesar e Estelamar Maria pelo amor incondicional e investimentos na minha educação, à minha irmã Camila Borges pelo carinho e amizade. Vocês foram minha maior motivação para nunca desistir. Amo muito vocês!

À Profa. Dr. Samantha C. de Pinho, que tenho orgulho de dizer que é minha orientadora. Agradeço por ter me recebido tão bem, pelos ensinamentos, pela dedicação, paciência e compreensão. Sempre vou ter profunda admiração e gratidão por você.

À aluna de iniciação científica Poliana Aparecida, pelo companheirismo e auxílio nos experimentos deste projeto.

À todos do Laboratório de Encapsulação e Alimentos Funcionais, pelo convívio, conhecimento compartilhado, parceria na sensorial, amizade e por me mostrarem a importância do trabalho em equipe: Letícia dos Santos, Laís Kaori, Jéssica Thaís, Thais Brito, Marcela Dricha, Ivana Andrade, Nayla Souki, Matheus Chaves e, em especial, a Marluci Ghiraldi pela paciência e ajuda preciosa na análise de digestão.

Aos técnicos de laboratório pela ajuda com os equipamentos e na realização das análises que foi muito importante para o bom andamento da pesquisa: Carla Mônaco, Camila Velludo, Marina Vieira, Nilson Ferreira e, em especial, ao Marcelo Thomazini pela atenção, carinho e por me auxiliar em todas as etapas da parte experimental.

Ao doutorando Handray Fernandes, do Laboratório de Engenharia de Bioprocessos, que foi um irmão que ganhei na FZEA/USP. Sempre me ajudando nos momentos acadêmicos e pessoais.

Aos meus grandes amigos da FZEA/USP: Rafael Belasque, Fábio Caixeta, Lucas Gabriel, Victor Zanata, Vinicius Zanata, André Nogueira, André Leão, Cristian Ferreira, Rafaela Scalise, Sarah Ingrid e Camilo Adrada, agradeço do fundo do meu coração pela amizade, força, momentos de alegria e descontração. Vocês foram minha rede de apoio durante este Mestrado.

Ao Laboratório Multiusuário de Análise Sensorial pelo espaço cedido para a fabricação dos sorvetes.

À Profa. Dra. Alessandra Lopes por permitir a utilização da sorveteira para a produção dos sorvetes.

À empresa YOSEN Nanotechnology pelo apoio e fornecimento da nanoemulsão.

À Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, principalmente ao Programa de Pós-graduação de Engenharia de Alimentos, pela grande oportunidade da realização desse Mestrado.

À CAPES, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pelo financiamento da pesquisa – Código de financiamento 001

Enfim, a todos que colaboraram para que este projeto fosse possível.

*“Crê em ti mesmo, age e verá os resultados. Quando te esforças, a vida também se esforça para te ajudar.”*

**Chico Xavier**

## RESUMO

TEIXEIRA, G.A.B. **Desenvolvimento de sorvete de maracujá enriquecido com luteína nanoencapsulada**. 2022. 85 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2022.

A luteína é um importante bioativo devido à sua potente atividade antioxidante, bem como possibilidade de utilização como corante natural devido à sua intensa cor amarela. No entanto, esse carotenoide é sensível à oxidação por fatores como alta temperatura, pH baixos e exposição à luz. A microencapsulação é uma alternativa para a redução e prevenção de tais processos de degradação, e dentre os métodos mais utilizados para proteção de bioativos hidrofóbicos como a luteína está a emulsificação. O objetivo do presente trabalho de Mestrado foi produzir um sorvete incorporado com luteína nanoencapsulada, avaliando as características físico-químicas, bem como a bioacessibilidade do carotenoide incorporado e avaliação da aceitação do sorvete por meio de análise sensorial. A nanoemulsão foi produzida por homogeneização a alta pressão, usando triglicerídeos de cadeia média como fase oleosa e fosfolípídios como tensoativos. Foram produzidas três formulações de sorvete (um controle com mistura comercial de sabor e cor de maracujá, e duas com 0,2% de nanoemulsão de luteína e 50% de redução de açúcar, sendo uma delas com 0,5% de ácido cítrico). A luteína apresentou estabilidade na nanoemulsão ao longo dos 120 dias de armazenamento sob refrigeração. Por sua vez, nos sorvetes a luteína mostrou-se extremamente estável por 90 dias de armazenagem. Nos resultados obtidos por colorimetria instrumental, observou-se que os valores de  $b^*$ , que representa as coordenadas azul-amarelo, nos tratamentos com a luteína nanoencapsulada estão mais próximo do amarelo do que no controle, assim como para o ângulo Hue, que nos tratamentos com a nanoemulsão estão mais próximos da tonalidade de amarelo ( $80^\circ$ ). Por sua vez, os dados obtidos por a digestão *in vitro* estática mostrou uma quantidade significativa de luteína nos tratamentos com a nanoemulsão, com aproximadamente 65% de luteína preservada ao final da fase gástrica, e 33% ainda preservada ao final da fase intestinal. Comparando-se os dados com a quantidade inicial de luteína nos sorvetes, ainda há um terço como bioacessível após a fase intestinal. Pela análise sensorial, as formulações de sorvetes testadas com a nanoemulsão tiveram uma boa aceitação em relação aos atributos com notas superiores a 6 (gostei muito) e pelo teste CATA (*Check All That Apply*) os atributos mais citados pelos provadores foram aparência cremosa, sabor cremoso e cor amarelada. Portanto, a incorporação da nanoemulsão de luteína mostrou-se como uma opção altamente viável tecnológica e sensorialmente, resultando em um sorvete com produzido com corante natural e uma quantidade de luteína significativa na forma bioacessível após a digestão.

**Palavras-chave:** Luteína. Nanoemulsão. Sorvete. Carotenoides.

## ABSTRACT

TEIXEIRA, G.A.B. **Development of passion fruit ice cream enriched with nanoencapsulated lutein.** 2022. 85 p. Dissertation (Master) – School of Animal Science and Food Engineering, University of São Paulo, Pirassununga, 2022.

Lutein is a bioactive with potent antioxidant activity, as a natural dye due to its intense yellow color. However, this carotenoid is highly susceptible to oxidation by high temperature, acid pH and exposure to light. Microencapsulation is an alternative to reduce and prevent these degradation processes, and among the most used methods for the protection of hydrophobic bioactives such as lutein is emulsification. The objective of this Master's work was to produce ice creams incorporated with nanoencapsulated lutein, evaluating their physical-chemical characteristics. Also, the bioaccessibility of the carotenoid incorporated and evaluation of the acceptance of ice cream through sensory analysis were evaluated. A nanoemulsion was produced by high pressure homogenization, using medium chain triglycerides as oily phase and phospholipids as surfactants. Three ice cream formulations were produced (one control with commercial mixture of flavor and passion fruit color, and two with 0.2% lutein nanoemulsion and 50% sugar reduction, one with 0.5% citric acid). Lutein was highly stable in the nanoemulsion over the 120 days of storage under refrigeration. Lutein in ice cream was extremely stable for 90 days of storage. Data obtained by instrumental colorimetry indicated the values of  $b^*$ , which represent the blue-yellow coordinates, in the treatments with nanoencapsulated lutein are closer to yellow than in the control, as well as to the Hue angle, which in treatments with the nanoemulsion are closer to the shade of yellow ( $80^\circ$ ). In turn, data obtained by static *in vitro* digestion showed a significant amount of lutein in treatments with nanoemulsion, with approximately 65% lutein preserved at the end of the gastric phase, and 33% still preserved at the end of the intestinal phase. Comparing the data with the initial amount of lutein in ice cream, there is still one third as bioaccessible after the intestinal phase. By sensory analysis, as ice cream incorporated with the nanoemulsions had a good acceptance in relation to attributes with scores higher than 6 (“liked very much”) and by the CATA test (*Check All That Apply*) the attributes most cited by the panelists were creamy appearance, creamy flavor and yellow color. Therefore, the incorporation of lutein nanoemulsion proved to be a highly technologically and sensoryally viable option, resulting in an ice cream with natural dye and an amount of lutein in the bioaccessible form after *in vitro* digestion.

**Keywords:** Lutein. Nanoemulsion. Ice cream. Carotenoids.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Consumo em milhões de litros de sorvete no Brasil entre os anos de 2003 e 2020 ....	13
<b>Figura 2:</b> Representação da microestrutura física do sorvete.....	15
<b>Figura 3:</b> <i>Tagetes padula L.</i> .....	16
<b>Figura 4:</b> Estrutura química da molécula de luteína.....	17
<b>Figura 5:</b> Exemplos dos diferentes tipos de encapsulação baseadas em sistemas emulsionados utilizados como sistemas de liberação.....	19
<b>Figura 6:</b> Representação esquemática dos tipos de emulsões simples e emulsões múltiplas: A/O, O/A e A/O/A.....	20
<b>Figura 7:</b> Representação esquemática dos fenômenos físico-químicos que podem afetar a estabilidade das nanoemulsões.....	21
<b>Figura 8:</b> Representação esquemática do mecanismo dos equipamentos para produção de emulsões, dos quais: a) homogeneizador de alta pressão, b) microfluidizador, c) homogeneizador ultrassônico.....	22
<b>Figura 9:</b> Fluxograma do processamento de produção dos sorvetes de maracujá utilizados na presente Dissertação.....	30
<b>Figura 10:</b> Probe de aço inoxidável do tipo TA-18A.....	35
<b>Figura 11:</b> Aspecto visual dos sorvetes de maracujá.....	42
<b>Figura 12:</b> Sorvete de maracujá incorporado com nanoemulsão de luteína encapsulada (a) final da fase oral, (b) começo da fase gástrica, (c) final da fase gástrica, (d) começo da fase intestinal, e em (e) final da fase intestinal.....	59
<b>Figura 13:</b> Gráfico de radar das notas médias para os atributos avaliados pelos panelistas no teste de aceitação dos sorvetes de maracujá.....	61
<b>Figura 14:</b> Gráfico de radar da distribuição da frequência dos termos descritivos no questionário CATA dos sorvetes de maracujá.....	64

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Composição da nanoemulsão produzida com luteína encapsulada.....	28
<b>Tabela 2:</b> Formulações utilizadas para produção dos sorvetes de maracujá caracterizados nessa Dissertação.....	31
<b>Tabela 3:</b> Volumes das soluções estoque de eletrólitos adicionados para produzir 400 mL dos fluidos de digestão diluídos com água para concentração de 1,25×.....	38
<b>Tabela 4:</b> Quantificação de luteína encapsulada na nanoemulsão ao longo do tempo de armazenagem em concentração de luteína (g/100 g da nanoemulsão) .....	40
<b>Tabela 5:</b> Quantificação da luteína incorporada nos sorvetes de maracujá, ao longo do tempo de armazenagem em concentração de luteína (g/100 g da nanoemulsão) .....	41
<b>Tabela 6:</b> Caracterização dos sorvetes de maracujá.....	43
<b>Tabela 7:</b> Determinação de pH ao longo do tempo de armazenagem nos sorvetes de maracujá produzidos.....	45
<b>Tabela 8:</b> Determinação do tempo de primeira gota (“first drop”) e taxa de derretimento ao longo do tempo de armazenagem dos sorvetes de maracujá produzidos.....	46
<b>Tabela 9:</b> Resultados de colorimetria instrumental dos sorvetes de maracujá produzidos, ao longo do tempo de armazenagem.....	48
<b>Tabela 10:</b> Determinação do perfil de textura dos sorvetes de maracujá produzidos, ao longo do tempo de armazenagem.....	51
<b>Tabela 11:</b> Determinação do conteúdo de fenólicos totais nos sorvetes de maracujá produzidos, ao longo do tempo de armazenagem em concentração de EAG mg/100g da amostra.....	54
<b>Tabela 12:</b> Determinação da capacidade redutora do ferro (FRAP) nos sorvetes de maracujá produzidos, ao longo do tempo de armazenagem em $\mu\text{Mol Trolox Equivalente/g}$ de amostra.....	55
<b>Tabela 13:</b> Determinação da capacidade de sequestro do radical ABTS nos sorvetes de maracujá produzidos, ao longo do tempo de armazenagem em $\mu\text{Mol Trolox Equivalente/g}$ de amostra.....	57
<b>Tabela 14:</b> Resultados da quantificação da luteína encapsulada nos extratos dos sorvetes e nas frações digeridas em concentração de mg de luteína/100g de sorvete.....	58
<b>Tabela 15:</b> Notas médias para os atributos avaliados pelos panelistas no teste de aceitação dos sorvetes de maracujá.....	60

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

**ABIS** - Associação Brasileira das Indústrias e do Setor de Sorvetes

**ABNT** - Associação Brasileira de Normas Técnicas

**ANOVA** – Análise de variância

**A/O** – Emulsão água-óleo

**A/O/A** – Emulsão múltipla água-óleo-água

**AOAC** - *Association of Official Analytical Chemists*

**ABTS** - 2,2'-azinobis-3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico

**ANVISA** – Agência Nacional de Vigilância Sanitária

**BHT** - hidroxitolueno butilano

**CATA** - *Check all that apply*

**DMRI** - Degeneração macular relacionada à idade

**DRI** – Degeneração relacionada à idade

**EAG** - Ácido gálico equivalente

**FRAP** - *Ferric Reducing Antioxidant Power*

**HCl** – ácido clorídrico

**KDa** – QuiloDalton

**INC** – Informação Nutricional Complementar

**KOH** – Hidróxido de potássio

**kHz** – Quilohertz

**MHz** – Megahertz

**O/A** – Emulsão óleo em água

**O/A/O** – Emulsão múltipla óleo em água em óleo

**PP** - Polipropileno

**TBA** – ácido tiobarbitúrico

**TCA** – ácido tricloroacético

**TPA** - *Texture profile analysis*

**TPTZ** – Tripiridiltriazina

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>13</b>
2.1	SORVETES: CONSUMO E FORMULAÇÃO COMO ALIMENTOS FUNCIONAIS.....	13
2.1.1	Microestrutura de sorvetes.....	15
2.2	ESTRUTURA E ATIVIDADE BIOLÓGICA DA LUTEÍNA.....	16
2.3	MICROENCAPSULAÇÃO EM ALIMENTOS.....	18
2.3.1	Nanoemulsões: Definição e Estabilidade .....	20
2.4	DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS ALIMENTÍCIOS PARA CONSUMIDORES SENIORES .....	24
2.4.1	Digestão <i>in vitro</i> adaptada para consumidores seniores.....	26
<b>3</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>28</b>
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>29</b>
4.1	MATERIAIS .....	29
4.2	MÉTODOS .....	30
4.2.1	Extração e quantificação da luteína encapsulada nas emulsões por espectrofotometria .....	30
4.2.2	Produção do sorvete de maracujá incorporado com emulsões contendo luteína encapsulada .....	30
4.2.3	Caracterização físico-química do sorvete de maracujá incorporando emulsões com luteína encapsulada .....	32
4.2.3.1	Determinação da composição centesimal, pH, teor de sólidos solúveis e overrun.....	32
4.2.3.2	Determinação de cor instrumental dos sorvetes.....	33
4.2.3.3	Determinação do tempo de primeira gota (“first drop”) e da taxa de derretimento .....	34
4.2.4	Determinação da capacidade antioxidante dos sorvetes.....	34
4.2.4.1	Preparação dos extratos .....	34
4.2.4.2	Determinação do conteúdo de fenólicos totais (CFT) .....	34
4.2.4.3	Determinação da capacidade de sequestro do radical ABTS <sup>+</sup> .....	35
4.2.3.3	Determinação da capacidade redutora do ferro (FRAP) .....	35
4.2.5	Análise instrumental de textura (TPA).....	36
4.2.6	Avaliação sensorial dos sorvetes .....	37
4.2.7	Ensaio de digestão <i>in vitro</i> .....	38

4.2.8	Determinação da luteína encapsulada nos sorvetes e nas frações digeridas por cromatografia .....	39
4.2.9	Análises Estatísticas .....	39
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>40</b>
5.1	Quantificação da luteína encapsulada nas emulsões ao longo do tempo de armazenagem .....	41
5.2	Caracterização físico-química dos sorvetes de maracujá incorporado com nanoemulsão de luteína encapsulada .....	42
5.2.1	Quantificação da luteína encapsulada incorporada nos sorvetes de maracujá ao longo do tempo de armazenagem .....	42
5.2.2	Aspecto visual dos sorvetes .....	43
5.2.3	Determinação da composição centesimal, sólidos solúveis e <i>overrun</i> .....	44
5.2.4	Determinação do pH .....	47
5.2.5	Determinação do tempo de primeira gota (“first drop”) e taxa de derretimento .....	48
5.2.6	Determinação colorimétrica dos sorvetes contendo a luteína encapsulada ....	49
5.2.7	Análise instrumental de textura .....	51
5.3	Determinação da capacidade antioxidante dos sorvetes .....	55
5.3.1	Determinação do conteúdo de fenólicos totais .....	56
5.3.2	Determinação da capacidade redutora do ferro (FRAP) .....	57
5.3.3	Determinação da capacidade de sequestro do radical ABTS .....	58
5.4	Ensaio de digestão <i>in vitro</i> estática em condições adaptadas a consumidores seniores .....	60
5.5	Avaliação sensorial dos sorvetes .....	61
5.5.1	Teste de aceitação .....	60
5.5.2	Teste sensorial CATA ( <i>Check-all-that-apply</i> ) .....	62
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>68</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>69</b>
	<b>APÊNDICE A - Ficha da avaliação sensorial dos sorvetes .....</b>	<b>83</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O aumento do consumo de alimentos saudáveis nos últimos anos tem levado a indústria de alimentos ao desenvolvimento cada vez mais intenso de produtos com aditivos naturais e com apelo funcional. Visando contribuir com a satisfação dessa necessidade, a indústria do setor de sorvetes vem desenvolvendo produtos, por exemplo, com corantes naturais e ingredientes com alegação funcional. Os sorvetes têm se mostrado ótimas matrizes alimentícias para a incorporação de ingredientes com propriedades funcionais, como os bioativos com ação antioxidante, e ainda apresentam a vantagem da estabilidade prolongada pelo fato de serem alimentos congelados (SOUZA et al., 2020; MOLINA et al., 2019).

A luteína é um pigmento natural da classe dos carotenoides presentes em vegetais, frutas, cereais, gema do ovo e algumas flores, como a espécie *Tagetes spp.* Por possuir atividade biológica reconhecida pela sua alta atividade antioxidante, produzindo benefícios a saúde, a luteína é considerada pela indústria alimentícia como um ingrediente promissor. Além da possibilidade de ser utilizada como um aditivo natural, o bioativo também pode ser uma alternativa para a substituição de corantes artificiais amarelos (BUSCEMI et al., 2018). No entanto, esse carotenoide é muito susceptível à degradação por fatores externos, como tratamento térmico, baixo pH, exposição a luz e apresenta baixa solubilidade em meios aquosos. Nesse contexto, a microencapsulação se mostra como uma alternativa para a prevenção dos processos de degradação e ainda pode melhorar a solubilidade de bioativos hidrofóbicos em produtos predominantemente aquosos, e dentre os métodos mais utilizados para alcançar tais objetivos está a emulsificação (FREDE et al., 2014; VANISKI; CORTI; DRUNKLER, 2017).

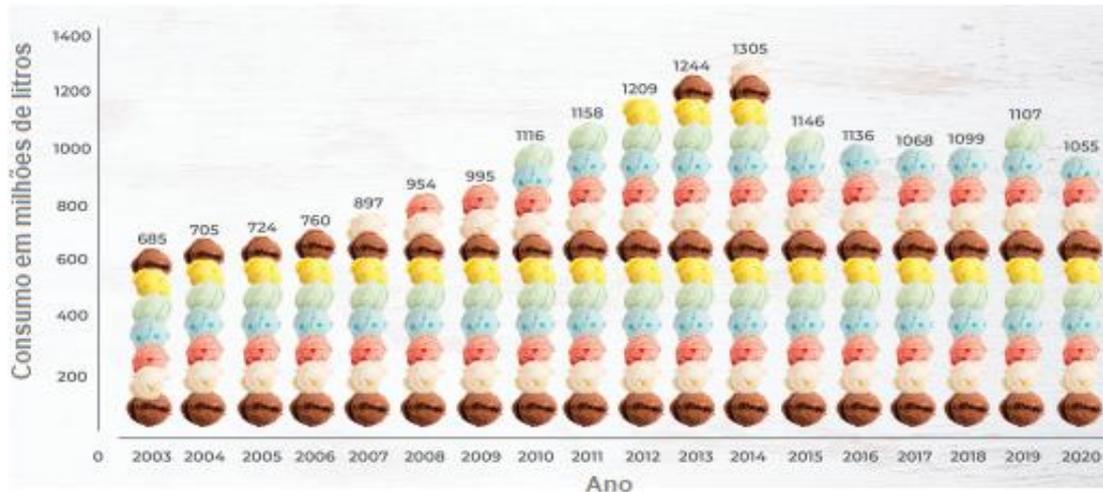
O objetivo do presente trabalho de Mestrado foi desenvolver um sorvete de massa sabor maracujá incorporado com nanoemulsão de luteína. Objetivou-se determinar a viabilidade tecnológica e sensorial da incorporação da luteína nanoencapsulada em sorvete, que teve suas características físico-químicas (pH, cor instrumental, *overrun*, atividade antioxidante, perfil de textura, taxa de derretimento e tempo de primeira gota) avaliadas ao longo de 180 dias de armazenamento. Além disso, a bioacessibilidade do carotenoide incorporado pelo ensaio de digestão *in vitro* foi determinada. Por fim, realizou-se também a avaliação da aceitabilidade do sorvete por meio de análise sensorial com os testes de aceitação afetivos e CATA (*Check All That Apply*).

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 SORVETES: CONSUMO E FORMULAÇÃO COMO ALIMENTOS FUNCIONAIS

Os sorvetes são um dos mais antigos produtos lácteos do mundo, amplamente consumidos por diversos grupos de pessoas e faixas etárias. O mercado global de sorvetes deve crescer de US\$ 73,61 bilhões em 2022 para US\$ 104,96 bilhões em 2029, com uma taxa de crescimento anual de 5,20% no período de previsão (2022-2029). Por ser um país tropical, e com muitos apreciadores em várias regiões, no Brasil são mais de 10 mil empresas ligadas ao setor, e em 2020 foram consumidos mais de 1 bilhão de litros de sorvete, como apresentado na Figura 1, que mostra o consumo em milhões de litros por ano, com média de 4,98 litros por pessoa (ABIS, 2020). Tal fato resultou em aproximadamente 13 bilhões de reais em faturamento para todo o setor, ficando bem colocado em relação a outros países, tanto no consumo (11º lugar) quanto na produção (10º lugar) de sorvetes, segundo o levantamento feito pela Associação Brasileira das Indústrias e do Setor de Sorvetes (ABIS, 2020).

**Figura 1:** Consumo em milhões de litros de sorvete no Brasil entre os anos de 2003 e 2020.



**Fonte:** (adaptado de ABIS, 2020)

A resolução RDC nº 266 de 2005 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) define os sorvetes que se encaixam com a nomenclatura de gelados comestíveis como “*produto alimentício obtidos a partir de uma emulsão de gorduras e proteínas, com ou sem adição de outros ingredientes e substâncias, ou de uma mistura de água, açúcares e outros ingredientes ou substâncias que devem ser submetidos ao congelamento de maneira tal que garantam a*

*conservação do produto no estado congelado ou parcialmente congelado, durante a armazenagem, o transporte e a entrega para o consumo”* (BRASIL, 2005).

Além disso, a exigência dos consumidores por alimentos mais saudáveis tem levado a indústria de sorvetes ao desenvolvimento de produtos com propriedades funcionais. Visando contribuir com essa necessidade, diversos estudos tem sido realizados em relação aos sorvetes funcionais, e pode-se citar alguns exemplos como: sorvete produzido com polpa e farinha de casca de uva (BROTTO et al., 2012); sorvete incorporado com farinha de banana verde (SOUZA et al., 2016); sorvete de cupuaçu utilizando fibra de casca de maracujá (CARLOS et al., 2019) sorvete de maracujá com extrato hidrossolúvel do subproduto de arroz (SILVA et al., 2020); sorvete com hidrolisados de clara de ovo (LÓPEZ-MARTÍNEZ et al., 2021); sorvetes enriquecidos com *Moringa Oleífera* (ADEMOSUN et al., 2022); sorvete vegano com proteína de ervilha e inulina como substituto da gordura (NARALA et al., 2022). No entanto, apenas alguns poucos trabalhos discutiram a aplicação de antioxidantes naturais nos sorvetes, tais como os curcuminoides (SOUZA et al, 2020; BORRIN et al., 2018; LIMA; BRITO-OLIVEIRA; PINHO, 2016; SILVA et al., 2015).

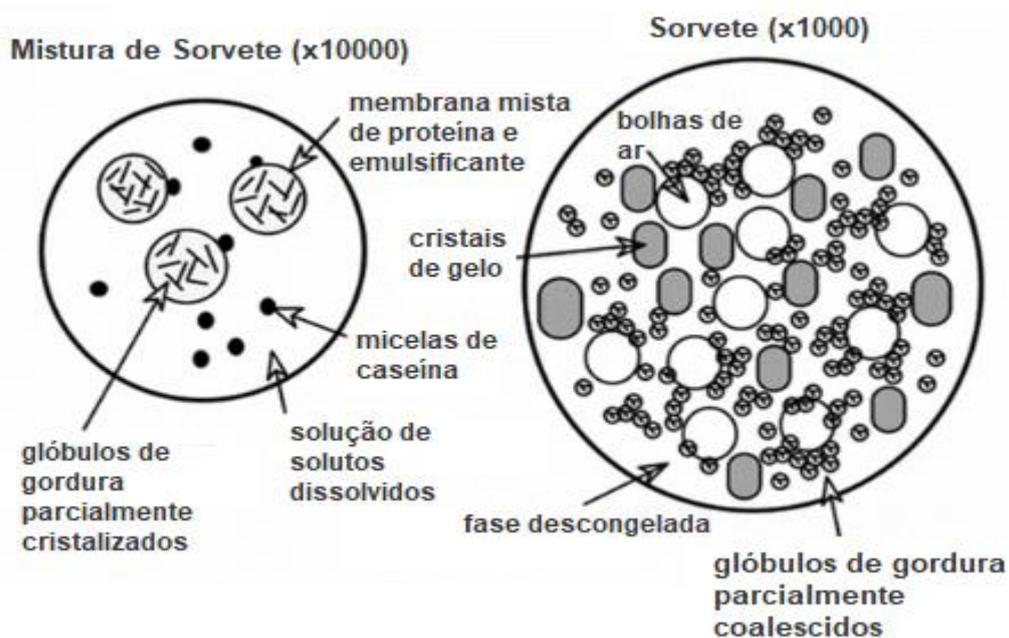
Dentre os aspectos sensoriais mais importantes para a aceitação de um sorvete está sua aparência, sendo a cor um dos principais aspectos valorizados pelos consumidores. A cor do alimento é uma característica fundamental, que aumenta o apelo dos consumidores pelo produto. Além disso, o uso de corantes naturais pela indústria de alimentos está sendo cada vez mais requerido, pois os consumidores estão repensando o consumo de corantes sintéticos devido aos seus malefícios a saúde. Dentre as desvantagens do uso de corantes artificiais, e a razão pela qual vários países proibirem o seu uso, está a ocorrência de alergias alimentares especialmente em crianças, devido ao uso de tartrazina (corante amarelo), por exemplo (MOUTINHO et al., 2007). Sendo assim, substituindo o uso de aditivos sintéticos nos alimentos, os pigmentos naturais estão ganhando espaço rapidamente, não apenas por conferir cor aos produtos, mas também porque diversos desses pigmentos podem também trazer benefícios a saúde do consumidor ao atuar como antioxidantes, como os carotenoides (CHAVES et al., 2018; CORREIA et al., 2008; MANOHARAN et al., 2012; MOLINA et al., 2019).

### 2.1.1 Microestrutura de sorvetes

Sorvetes são estruturas trifásicas, compostas por bolhas de ar, cristais de gelo e glóbulos de gordura, como mostrado na Figura 2. A complexa microestrutura do sorvete é uma mistura heterogênea, sendo um sistema alimentício complexo de partículas coloidais, formado por glóbulos de gordura parcialmente cristalizados e coalescidos, cristais de gelo e bolhas de ar na fase descontínua, e com proteínas, carboidratos, sais e gomas, formando a fase contínua constituída pela fase fluida (não-congelada). (SU, 2012; GOFF; HARTEL, 2013; GRANGER et al., 2005).

Durante a etapa de congelamento, diversos fenômenos ocorrem na mistura do sorvete, e que são essenciais para que a microestrutura se mantenha estável, como: coalescência parcial da gordura, ação das proteínas e emulsificantes na formação e estabilização dos glóbulos de gordura, adsorção dos lipídios na interface gordura/ar estabilizando as bolhas de ar e um aumento da concentração e do tamanho dos cristais de gelo (FARESIN, 2019; GOFF, 2002).

**Figura 2:** Representação esquemática da microestrutura do sorvete.



**Fonte:** (adaptado de GOFF et al. 2002)

## 2.2 ESTRUTURA E ATIVIDADE BIOLÓGICA DA LUTEÍNA

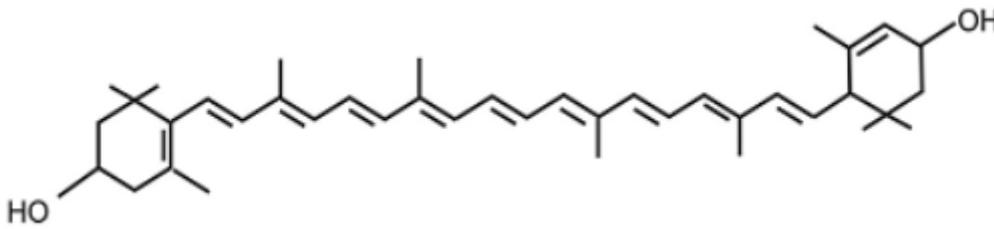
A luteína é um pigmento natural lipofílico da classe dos carotenoides diidroxilados, e que pertence à subclasse das xantofilas de coloração amarelada. As principais fontes de luteína são os vegetais folhosos verde-escuros, gema do ovo e em algumas flores, com destaque para a *Tagetes patula* L., conhecida popularmente como cravo-de-defunto ou cravo-francês (Figura 1) (BUSCEMI et al., 2018; LANDRUM et al., 2001). As xantofilas são diferentes de outros carotenoides, pois contêm substituintes oxigenados, embora tenham semelhanças estruturais significativas com outros carotenoides, como o beta-caroteno. As xantofilas têm grupos hidroxila livres em cada extremidade da molécula, conforme mostrado na Figura 2, que fornecem propriedades biológicas exclusivas. Esses grupos hidroxila são responsáveis pelas características da luteína, que permite que se orientem dentro das membranas celulares e das lipoproteínas de uma forma que outros carotenoides não conseguem (BERMÚDEZ-PIRELA et al., 2005; BERNSTEIN et al., 2016; CHANG et al., 2018).

**Figura 3:** *Tagetes patula* L.



**Fonte:** Disponível em: < <https://www.aplantadavez.com.br/2017/06/tagetes-tagetes-patula-1.html>>. Acesso em: 25 de maio de 2021.

**Figura 4:** Estrutura química da molécula da luteína



**Fonte:** (BERMÚDEZ-PIRELA et al. 2005).

Uma das principais propriedades biológicas da luteína é sua atividade antioxidante, que protege as células dos danos oxidativos, e por consequência, reduz o risco de desenvolvimento de algumas doenças crônicas degenerativas. Tal fato ocorre pois o estresse oxidativo e a atuação dos radicais livres são os maiores fatores associados à iniciação e propagação do desenvolvimento dessas doenças (DAVIDOV-PARDO; GUMUS; MCCLEMENTS, 2016; FREDE et al., 2014; MOZAFFARIEH; SACU; WEDRICH, 2003). As propriedades antioxidantes da luteína consistem na inativação dos radicais livres, na complexação de íons metálicos ou na redução dos hidroperóxidos (POLYAKOV et al., 2001; SOUTHON; FAULKS, 2003), por exercer funções antioxidantes em fases lipídicas, bloqueia os radicais livres que danificam as membranas lipoprotéicas (KUMARI et al., 2010; RANGANATHAN et al., 2016).

Outra característica benéfica já conhecida relacionada a esse carotenoide é a de pigmento protetor macular (CANOVAS et al., 2009). A luteína atua na redução do risco de desenvolvimento de doenças oculares relacionadas à idade, como a degeneração macular relacionada à idade (DMRI) e a catarata (FREDE et al., 2014). No centro focal da retina, existe uma área chamada mácula lútea, que possui a maior concentração de fotorreceptores, sendo responsáveis pela visão central e acuidade visual de alta resolução das imagens, contendo uma alta concentração de pigmento macular, composto por luteína e zeaxantina, essas duas xantofilas funcionam nessa área da retina como antioxidantes, para proteger as células fotorreceptoras do dano potencial causado por radicais livres que podem ser gerados nessas células, pela alta tensão de oxigênio e exposição à luz (BEATTY et al., 2004; KOH et al., 2004). Além da atividade antioxidante, a luteína e zeaxantina também são consideradas responsáveis por filtrar os comprimentos de onda de alta energia da luz azul. Com um filtro de luz azul, estima-se que a redução da luz azul que atinge a mácula pode reduzir significativamente o estresse oxidativo na retina (MA et al., 2012).

Existem diversos suplementos contendo luteína no mercado, geralmente associados a vitaminas e outros bioativos, e na indústria de alimentos podem ser utilizados como corantes naturais, sendo uma alternativa para a substituição dos corantes sintéticos (MATIOLI; RODRIGUEZ-AMAYA, 2003; VALDUGA et al., 2009). Apesar de apresentar vários benefícios, as aplicações da luteína em alimentos ainda são limitadas, devido à sua baixa solubilidade em água e baixa estabilidade química. A oxidação de carotenoides, como a luteína, pode ocorrer por fotodegradação, degradação térmica e condições ácidas causando diminuição da perda de bioacessibilidade, biodisponibilidade e qualidade em produtos alimentícios nos quais os carotenoides estão presentes (DAVIDOV-PARDO; GUMUS; MCCLEMENTS, 2016; FREDE et al., 2014; NAGAO, 2014).

Com o intuito de contornar esses problemas em relação à utilização da luteína, diversas alternativas tecnológicas vêm sendo pesquisadas, sendo uma das principais a microencapsulação. A microencapsulação tem sido descrita na literatura como uma forma de aumentar a estabilidade de bioativos em alimentos, bem como a bioacessibilidade e biodisponibilidade (BHAWANA et al., 2011; YEN et al., 2010).

### **2.3 MICROENCAPSULAÇÃO EM ALIMENTOS**

Os recentes avanços na tecnologia de alimentos têm oferecido diversas oportunidades para a inovação. Uma forma de realizar o desenvolvimento de novos produtos é oferecendo benefícios à saúde, como os alimentos com propriedades funcionais que incorporam componentes bioativos. Por este motivo existe um amplo interesse da indústria na utilização de tecnologias de microencapsulação para incorporar, proteger e liberar controladamente componentes bioativos e melhorar as propriedades funcionais e sensoriais dos produtos alimentícios (CHEN et al., 2006; GIROUX; BRITTEN, 2011; ZUANON, 2012).

A microencapsulação em alimentos deve proporcionar características como (MASON et al., 2006; MAYER; WEISS; McCLEMENTS, 2013; McCLEMENTS et al., 2009):

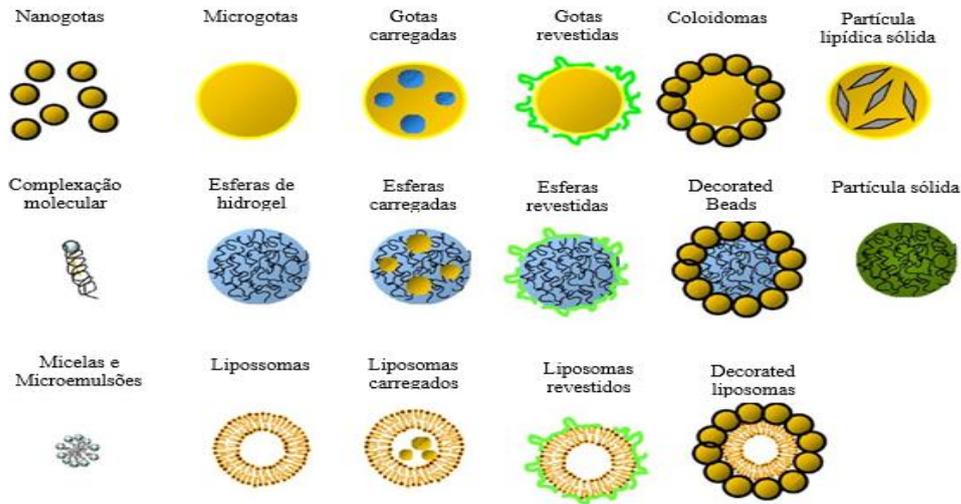
- Eficiência e maior facilidade da incorporação de uma quantidade suficiente dos bioativos nos alimentos;
- proteção dos bioativos de reações que possam gerar degradação química, relacionadas a oxidação ou hidrólise, por exemplo (de forma que o bioativo encapsulado permaneça em seu estado ativo);
- liberação dos os componentes funcionais em taxas controladas (*controlled release*);
- compatibilidade físico-química com o sistema alimentício;
- resistência a condições de ambiente que um alimento suporta durante a sua produção, armazenamento, transporte e consumo.

A escolha do método de microencapsulação depende da aplicação desejada para o ingrediente microencapsulado, do mecanismo de liberação e das propriedades físico-químicas, tanto do bioativo, quanto dos materiais utilizados na encapsulação (COOK et al., 2012; ASSUNÇÃO et al., 2014).

Diferentes métodos são utilizados para a produção de microencapsulação em alimentos, como: spray drying, spray coating, spray chilling, lipossomas, leiteo fluidizado, extrusão, liofilização, homogeneização por alta pressão, tecnologia de fluidos supercríticos e emulsificação (SECOLIN, 2014; SOHAIL et al., 2011). Dentre os métodos de microencapsulação em carreadores lipídicos, que são os mais empregados para encapsular bioativos hidrofóbicos, pode-se utilizar diferentes matrizes lipídicas obtendo-se sistemas emulsificados, emulsões secas, dispersões sólidas, micro e nano partículas lipídicas, lipossomas e microemulsões. Sistemas de encapsulação lipídicos vem ganhado evidência na área de alimentos há alguns anos, apresentando vários benefícios que contribuem aos bioativos, como o aumento da solubilidade, melhoria da atividade biológica, aumento da estabilidade, liberação controlada e redução da degradação (RAO; PRESTIDGE, 2013; SECOLIN, 2014).

Dependendo da seleção da composição do sistema e do método empregado, diferentes tipos de estruturas de encapsulação podem ser obtidas. Diante disto, os sistemas lipídicos emulsionados possuem uma grande vantagem devido à capacidade de encapsular bioativos lipofílicos e hidrofílicos (CORTÉS-ROJAS et al., 2014; MCCLEMENT; LI, 2010;), como pode-se visualizar na Figura 5, os principais sistemas de encapsulação lipídicos:

**Figura 5:** Exemplos dos diferentes tipos de encapsulação baseadas em sistemas emulsionados utilizados com sistemas de liberação.



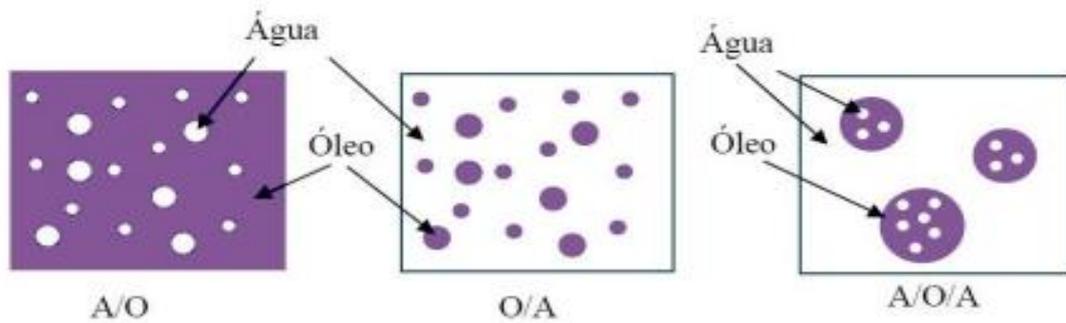
**Fonte:** (MCCLEMENTS; LI, 2010)

### 2.3.1 Nanoemulsões: Definição e Estabilidade

As nanoemulsões são sistemas termodinamicamente instáveis, assim como as emulsões convencionais, sendo compostos por dois líquidos imiscíveis, em que um deles está disperso no outro na forma de gotas. Porém, nas nanoemulsões ao menos um desses líquidos tem que estar disperso na forma de nanogotas, com diâmetros médios inferiores a 100 nm, sendo assim com duas fases com pequenas gotas de tamanhos nanométricos. O tamanho das gotas é de grande importância para os sistemas emulsionados, pois a redução do tamanho das gotas pode aumentar a superfície de contato, exercendo grande influência na modulação da liberação controlada e solubilidade. Além disso, como regra geral, sabe-se que quanto menor o tamanho médio de gota, maior é a estabilidade do sistema emulsificado durante o tempo de armazenamento (KUMARI et al., 2010; MCCLEMENTS; LI, 2010; SATALKAR et al., 2016; TORAGALL et al., 2020).

De acordo com a característica hidrofílica ou lipofílica das fases em uma emulsão, um sistema onde as gotas são formadas por óleo e dispersas em um meio aquoso, é denominado nanoemulsão óleo em água (O/A). Também existem as nanoemulsões água em óleo (A/O), bem como as nanoemulsões múltiplas (A/O/A, ou O/A/O, por exemplo), representadas na Figura 6.

**Figura 6:** Representação esquemática dos tipos de emulsões simples e emulsões múltiplas: A/O, O/A e A/O/A



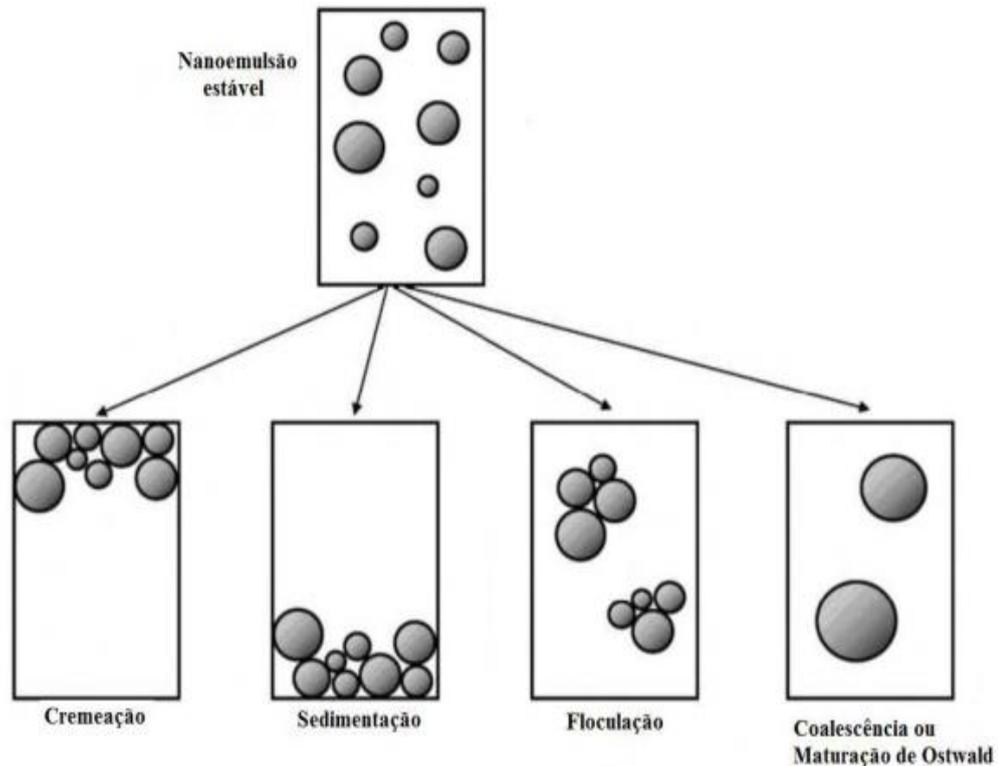
Fonte: (SALAGER, 1999)

As nanoemulsões são estabilizadas cineticamente pela ação de agentes ativos de superfície, denominados tensoativos, que são substâncias capazes de diminuir a tensão interfacial entre as fases, facilitando a formação da nanoemulsão e estabilizando a fase dispersa, formando um filme ao redor das gotas da fase dispersa.

Os tensoativos são moléculas anfifílicas que se adsorvem na interface entre a fase dispersa e a fase contínua apresentando duas principais funções: reduzir a tensão interfacial e estabilizar a nanoemulsão prevenindo fenômenos de desestabilização os quais podem causar a separação das fases do sistema (PAL, 2011). Os principais tensoativos utilizados pela indústria alimentícia para evitar a desestabilização de produtos emulsionados são surfactantes de baixa massa molar, proteínas, lecitinas e polissacarídeos (DICKINSON, 2010; MEDEIROS, 2017).

Em relação à estabilidade das nanoemulsões, existem vários fenômenos que contribuem para a diminuição da mesma, sendo os principais: amadurecimento de Ostwald, cremeação, sedimentação, floculação e coalescência, que estão representados na Figura 7.

**Figura 7:** Representação esquemática dos fenômenos físico-químicos que podem afetar a estabilidade das nanoemulsões



Fonte: (McCLEMENTS, 2005)

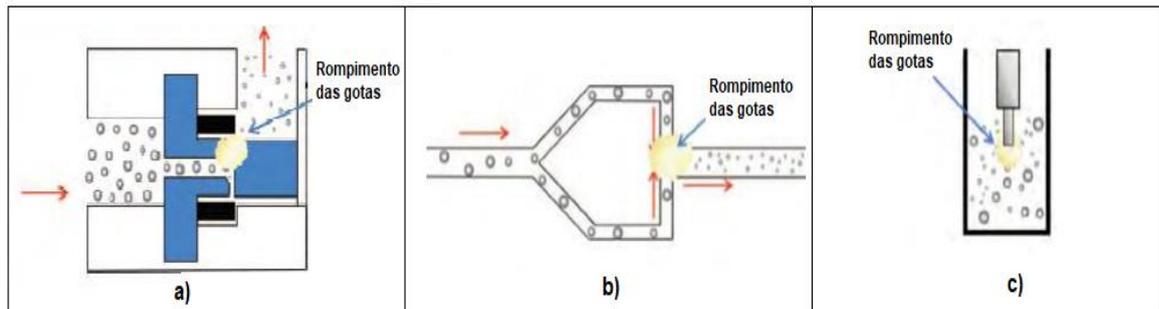
O fenômeno de amadurecimento de Ostwald (*Ostwald ripening*) consiste no crescimento do raio da gota, diminuição do número total das gotas dispersas como consequência do desaparecimento das gotas menores e diminuição da área interfacial total. Alterando a distribuição do tamanho das gotas para valores maiores, fazendo com que as gotas menores desapareçam. Este efeito leva à separação da nanoemulsão com o passar do tempo (FRANZOL; REZENDE, 2015).

A floculação pode ser definida como o agrupamento das gotículas da fase dispersa em flocos, permanecendo com a sua estrutura inalterada, não havendo destruição das gotas individuais. A cremeação e a sedimentação ocorrem quando há diferença entre as densidades da fase dispersa e fase contínua da nanoemulsão, provocando a separação das fases. O processo de cremeação acontece quando a fase dispersa tem menor densidade do que a fase contínua, as gotículas da nanoemulsão formam um creme na região superior da amostra, ocorrendo apenas em nanoemulsões O/A, já na sedimentação o inverso ocorre quando a fase contínua é menos densa que a fase dispersa, fazendo com que as gotículas se desloquem para a parte inferior, acontecendo em nanoemulsões A/O. A coalescência é o fenômeno que ocorre

quando duas ou mais gotículas interagem, tendo as estruturas comprometidas, perdendo a individualidade tornando-se uma única gota maior (McCLEMENTS, 2005; McCLEMENTS, 2007).

Os equipamentos mais comuns utilizados para produção de nanoemulsões são os homogeneizadores a alta pressão, homogeneizadores ultrassônicos e microfluidizadores, que estão representados no esquema da Figura 8. A escolha do equipamento influencia no deslocamento das gotas, tamanho das gotas e nas características físico-químicas das nanoemulsões. Os ultra-agitadores trabalham com altas velocidades, fazendo com que as duas fases se misturem, gerando gotas de tamanhos menores (McCLEMENTS; RAO, 2011; WONG et al, 2015).

**Figura 8:** Representação esquemática do mecanismo dos equipamentos para produção de emulsões, dos quais: a) homogeneizador de alta pressão, b) microfluidizador, c) homogeneizador ultrassônico.



**Fonte:** (adaptado de McCLEMENTS; RAO, 2011)

Pelo método de homogeneização a alta pressão as gotas são deslocadas a alta pressão através de uma abertura estreita, e submetidas a uma alta tensão de cisalhamento, resultando na ruptura das gotas até a faixa nanométrica. Para a redução do tamanho das gotas até valores nanométricos, utiliza-se homogeneizadores ultrassônicos, que por meio de uma superfície sólida vibratória agita a nanoemulsão em frequências ultrassônicas, provocando alto cisalhamento e cavitação, rompendo as gotas (ALMEIDA et al., 2008; MASON et al., 2006).

A luteína por ser lipossolúvel é dispersa na fase oleosa nas nanoemulsões, podendo ser uma forma de sistema utilizado para alcançar melhores resultados em relação a bioacessibilidade e a biodisponibilidade. A nanoemulsão é utilizada como veículo de carotenoides nutracêuticos em aplicações alimentícias (BATISTA et al., 2006; NAGAO, 2014).

A nanoencapsulação de um bioativo hidrofóbico, é geralmente aplicada para melhorar a biodisponibilidade desse composto, devido ao menor tamanho de gota, que aumenta a área superficial, e pode diminuir as limitações intrínsecas da dissolução incompleta dos compostos

funcionais. Quando a velocidade de dissolução é mais lenta que o tempo de trânsito intestinal, pode-se resultar em uma baixa biodisponibilidade. Além disso, a nanoemulsão pode proteger contra degradação pelas condições de baixa acidez do estômago e as interações com outros compostos. A fase lipídica do sistema emulsionado é digerida no trato gastrointestinal humano para formar estruturas coloidais que são capazes de solubilizar e transportar os bioativos hidrofóbicos, podendo assim aumentar sua bioacessibilidade. (ANARJAN et al. 2010; DAVIDOV-PARDO; GUMUS; MCCLEMENTS, 2016; FREDE et al., 2014; HÖRTER; DRESSMAN, 2001).

Como descrito por Porter et al. (2007), a digestão de lipídios começa pela lipase lingual na boca que pode preceder a digestão gástrica, no entanto, os bioativos hidrofóbicos são tipicamente encapsulados para que seu conteúdo seja liberado no estômago e no intestino. A lipase gástrica inicia a digestão lipídica no estômago, resultando na digestão parcial de triglicerídeos à diglicerídeos. Esse processo é responsável por 25% da hidrólise dos lipídios. Porém, a magnitude de qualquer efeito dependerá do tempo da formulação do bioativo dentro do estômago, suas propriedades de dispersão e suscetibilidade à digestão. Os lipídios são emulsificados e penetram no estômago, posteriormente entram no intestino onde a digestão dos triglicerídeos é completada pela lipase pancreática na interface óleo-água. No intestino delgado, a lipase pancreática completa a quebra dos triglicerídeos em diglicerídeos, monoglicerídeos e ácidos graxos. A presença de lipídios no intestino também estimula a secreção de lipídios biliares, incluindo sais biliares, fosfolipídeos e colesterol da vesícula biliar. Na presença de concentrações elevadas de sais biliares, os produtos da digestão lipídica são incorporados em uma série de estruturas coloidais, incluindo vesículas multilamelares, unilamelares e micelas mistas. Juntas, essas estruturas expandem significativamente a capacidade de solubilização do bioativo no intestino. A presença de lipídios e os produtos resultantes da digestão no estômago, também retardam a taxa de entrega no intestino delgado, presumivelmente para permitir uma digestão e absorção mais eficaz.

## **2.4 DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS ALIMENTÍCIOS PARA CONSUMIDORES SENIORES**

O tamanho da população mundial de idosos com mais de 65 anos deverá dobrar de 11% para 22% nas primeiras cinco décadas do século XXI. A proporção da população com 65 anos ou mais, aumentará de 17% em 2010 para 30% em 2060, sendo que a maior porcentagem do aumento deverá ocorrer entre 2020 e 2040. Além disso, o segmento de pessoas com mais de 80

anos está crescendo mais rápido do que qualquer outra faixa etária e deve triplicar até 2060 (HERNÁNDEZ-OLIVAS; MUÑOZ-PINA; ANDRÉS; HEREDIA, 2020). O crescimento da população idosa é um fenômeno mundial que ocorre em função da queda da natalidade, queda da mortalidade, aumento da expectativa de vida e busca por uma melhor qualidade de vida. No Brasil esse processo tem ocorrido de forma acelerada, o período de 1999 a 2009, a proporção de idosos na população com 60 anos ou mais, passou de 9,1% para 11,3%, cerca de 21 milhões de pessoas (CARVALHO; GARCIA, 2003; IBGE, 2013; VERAS, 2009).

Esses números causam muitos desafios, pois a alimentação dos idosos ainda requer atenção, devido às alterações fisiológicas sistêmicas que resultam em alterações nas capacidades físicas, sensoriais e cognitivas. Com o envelhecimento, as funções normais e as capacidades do corpo se alteram, e é nesta fase da vida que a composição corporal, as necessidades nutricionais, a capacidade de digestão e a absorção de diferentes tipos de alimentos diminuem com a idade. Por isso, o bem-estar da população idosa tornou-se uma grande preocupação global (RÉMOND et al., 2015). A desnutrição, que pode ser definida como uma ingestão alimentar reduzida e/ou desequilibrada observada nos idosos, podem estar associadas ao aumento da mortalidade e a susceptibilidade a doenças degenerativas relacionadas a idade, o que conseqüentemente leva a redução da qualidade de vida (KUMPEL et al., 2011).

Estratégias que visam a manutenção da saúde de idosos são objeto de pesquisa em várias áreas. O caráter multifatorial da desnutrição em idosos exige o desenvolvimento de estratégias como a elaboração de produtos com alto valor nutricional (CHERNOFF, 2001; MORLEY et al., 2002). Para ser bem sucedidos, os novos produtos alimentícios devem ser baseados em evidências que atendam às necessidades e exigências dos idosos.

O desenvolvimento de alimentos que auxiliam em uma dieta equilibrada, contendo os nutrientes necessários para satisfazer as necessidades nutricionais de idosos, é de grande relevância. No entanto, além das diferenças nas necessidades nutricionais e nas funcionalidades do sistema gastrointestinal, as escolhas alimentares devem ser cuidadosamente consideradas na formulação e fabricação de produtos especificamente voltados para o público sênior. Tais produtos podem representar um importante passo à frente no combate à desnutrição e prevenção de doenças crônicas em idosos. Ressalta-se também que os hábitos alimentares de muitos idosos são inadequados, a melhora do sabor pode induzir mudanças nas preferências pelo consumo de alimentos saudáveis (GRIEP et al., 2000; IVEY et al., 2011; NAGATA et al., 2011).

Os produtos lácteos, como o sorvete, além de ter proteínas, cálcio e vitaminas, podem ser sensorialmente interessantes, sendo também uma matriz interessante para introduzir compostos bioativos, como a luteína. Por possuir ação antioxidante, pode ajudar a retardar o envelhecimento,

diminuindo a formação de radicais livres, e também atuar na redução do risco de desenvolvimento de doenças oculares relacionadas à idade (FREDE et al., 2014). Entretanto, a utilização desse carotenoide em alimentos ainda é baixa, devido a vários fatores que podem comprometer sua absorção e qualidade em produtos enriquecidos com esse carotenoide (DAVIDOV-PARDO; GUMUS; MCCLEMENTS, 2016; FREDE et al., 2014; NAGAO, 2014). A investigação da bioacessibilidade de luteína, pode ser feita pelos ensaios de digestão *in vitro*, porém como a ingestão do produto com o bioativo encapsulado é voltada para os consumidores idosos, os quais apresentam alterações no trato gastrointestinal, uma avaliação mais adequada da bioacessibilidade deve ser realizada em condições de digestão *in vitro* com parâmetros para essa faixa etária.

#### **2.4.1 Digestão *in vitro* adaptada para consumidores seniores**

A relação entre a alimentação e a saúde está cada vez mais evidente nos últimos anos. Com isso, há um grande interesse em compreender melhor os mecanismos envolvidos na digestão humana, levando ao uso de uma ampla variedade de modelos para simular a digestão (LUCAS-GONZALEZ et al., 2018). Estes modelos incluem uma variedade de simulações *in vitro* do trato gastrointestinal capazes de identificar a bioacessibilidade, ou seja, a fração de um composto que é liberado da matriz alimentar e está disponível para absorção (MULET-CABERO et al., 2020). A capacidade de prever a bioacessibilidade dos compostos é importante se o objetivo é otimizar os benefícios à saúde de determinados alimentos na dieta. Essa otimização só é possível se vários fatores que controlam a bioacessibilidade são bem compreendidos (MCCLEMENTS; PENG, 2020).

A digestão consiste em uma série de processos distintos que converter os alimentos que ingerimos em nutrientes que são absorvidos para sustentar o nosso organismo. A ingestão de alimentos e o subsequente fluxo da *digesta* de um compartimento para o outro, é rigidamente controlada por uma série de mecanismos que evoluíram para extrair de forma otimizada os nutrientes dos alimentos (HAJISHAFIEE et al., 2019; MULET-CABERO et al., 2020).

Comparado com o sistema digestivo dos adultos, a função e a composição do sistema digestivo dos idosos mudam, como a redução dos níveis das enzimas e secreções intestinais. Além disso, e ocorrem mudanças na composição da microbiota intestinal – por ex., firmicutes e bifidobactérias, que são grupos que tem efeitos anti-inflamatórios, pode diminuir, enquanto o número de algumas bactérias promotoras de inflamação, como as enterobactérias, pode aumentar (IKEDO et al., 2021; FONSECA; SALLES; PARENTE, 2007). Além disso, existem grandes

diferenças na secreção salivar, na função do peristaltismo gastrointestinal e na composição eletrolítica dos fluidos da digestão em diferentes partes do sistema digestivo. Dito isso, as simulações *in vitro* para idosos sofre adaptações, nas condições e parâmetros destinada a essa faixa etária (SHANG et al., 2022). Portanto, diante do panorama mostrado na revisão bibliográfica, é sabido que alimentos concebidos visando o público de consumidores seniores são ainda escassos no mercado, especialmente brasileiro. Uma dieta para essa faixa etária deve incluir bioativos como os carotenoides, pois a ingestão de luteína tem um papel nutricional importante para os idosos, podendo ajudar na proteção da mácula ocular. É preciso direcionar esforços de pesquisa na área de Ciência e Tecnologia de Alimentos para proporcionar mais opções de produtos contendo tal bioativos, e que seja ao mesmo tempo prazeroso de comer. O sorvete pode ter ambas as características, ser um carreador de um bioativo essencial para a saúde ocular e também ser fonte de prazer além da nutrição. Para melhorar a bioacessibilidade desse carotenoide, a nanoemulsificação surge como uma opção, sendo uma forma de aumentar a estabilidade físico-química e a bioacessibilidade da luteína. (BHAWANA et al., 2011; YEN et al., 2010). O presente Mestrado, portanto, pretende ser uma contribuição nesse campo, avaliando a viabilidade tecnológica e sensorial da incorporação de luteína nanoencapsulada em sorvetes, bem como pretendeu quantificar a bioacessibilidade da luteína através da ferramenta de digestão *in vitro* estática adaptada para adultos seniores.

### 3 OBJETIVOS

A presente Dissertação teve como objetivo principal o desenvolvimento de um sorvete de massa sabor maracujá enriquecido com luteína nanoemulsionada.

Para alcançar tal objetivo geral, os seguintes objetivos específicos foram determinados:

- Determinação da viabilidade de incorporação da luteína nanoencapsulada no sorvete de maracujá;
- Caracterização físico-química do sorvete enriquecido com luteína nanoencapsulada ao longo do tempo de armazenagem;
- Análise sensorial do sorvete enriquecido com luteína nanoencapsulada;
- Determinação da bioacessibilidade da luteína através de ensaios de digestão *in vitro* do sorvete de maracujá.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 MATERIAIS

As nanoemulsões encapsulando a luteína foram fornecidas pela empresa YOSEN Nanotecnologia (Ribeirão Preto, SP, Brasil), que utilizaram o método de emulsificação, cuja composição está explicitada na Tabela 1:

**Tabela 1** - Composição da nanoemulsão produzida com luteína encapsulada.

Ingrediente	Concentração (Min. - Max.)
Glicerol (%)	> 60
Água (%)	10 - 25
Triglicerídeo caprílico / cáprico (%)	5 - 15
Lecitina de soja (%)	0,5 - 5
Luteína (%)	0,5 - 1,5

Fonte: (YOSEN)

A água deionizada utilizada nos experimentos foi obtida de um sistema de ultrapurificação Direct Q3 (Millipore, Billerica, MA, EUA).

Os sorvetes foram produzidos utilizando emulsificante (Selecta, Duas Rodas, Jaraguá do Sul, SC), estabilizante (super liga neutra, Duas Rodas, Jaraguá do Sul, SC), leite bovino integral pasteurizado com 3% de gordura (Shefa, Amparo, SP), gordura vegetal hidrogenada (Primor, Jaguaré, SP), açúcar (Caravelas, Ariranha, SP), suco concentrado de maracujá (Maguary, Araguari, MG), leite em pó (La Serenissima, Barueri, SP) e ácido cítrico anidro (Cargill, Uberlândia, MG).

Para os experimentos foram utilizados os seguintes reagentes: éter de petróleo (Labsynth, Diadema, SP), hidróxido de potássio (Dinâmica Química, Indaiatuba, SP), etanol etílico (Dinâmica Química, Indaiatuba, SP), álcool metílico (Êxodo Científica, Sumaré, SP), cloreto de cálcio (Dinâmica Química, Indaiatuba, SP), carbonato de sódio (Dinâmica Química, Indaiatuba, SP), ácido gálico (Sigma Aldrich, São Paulo, SP), TPTZ (Tripiridiltriazina) (Sigma Aldrich, São Paulo, SP), cloreto férrico (Sigma Aldrich, São Paulo, SP), trolox (Sigma Aldrich, São Paulo, SP), ABTS (2,2'-azinobis-3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico) (Sigma Aldrich, São Paulo, SP) e reagente de Folin-Ciocalteu (Êxodo Científica, Sumaré, SP).

## 4.2 MÉTODOS

### 4.2.1 Extração e quantificação da luteína encapsulada nas emulsões por espectrofotometria

As extrações foram adaptadas de acordo com método de Nachtigall (2007). O solvente que apresentou melhor eficiência foi o éter de petróleo, que foi combinado aos seguintes equipamentos para extração: pipeta automática (MA420, Marconi, Piracicaba, Brasil) e agitador tipo vórtex (MX-S, PHOX, Colombo, Brasil). Observou-se que havia necessidade do emprego de uma etapa de saponificação prévia dos extratos, que foi realizada com uma solução metanólica de 10% KOH na proporção de 1:1 em relação ao extrato. A saponificação ocorreu na ausência de luz e em temperatura ambiente por 24 h. A seguir em capela foi feito a retirada completa do álcali e do solvente, que foi realizada por meio de 4 lavagens, adicionando 5 ml de éter de petróleo na solução e utilizando o agitador tipo vórtex (MX-S, PHOX, Colombo, Brasil) entre cada lavagem.

Ainda em ambiente escuro e temperatura ambiente, foi transferido uma alíquota da amostra do extrato para cubetas de vidro e realizou-se a leitura em espectrofotômetro a 455 nm (G10S UV-Vis, Thermo Fisher Scientific, Shanghai, China). Utilizando éter de petróleo como solução de referência (branco) para zerar o espectrofotômetro, foram realizadas as leituras em triplicata. As quantificações ocorreram na nanoemulsão de luteína nos tempos 0, 30, 90 e 120 dias de armazenamento. A concentração de carotenoides totais foi expressa em miligrama de carotenoides por 100 gramas da nanoemulsão (mg/100g) (DAVIES, 1976).

$$\text{Carotenoides totais} = \frac{A \times V \times 10^4}{E_{1\text{cm}}^{1\%} \times m}$$

A = absorvância do extrato em 455 nm

V = volume (mL)

m = massa da amostra (g)

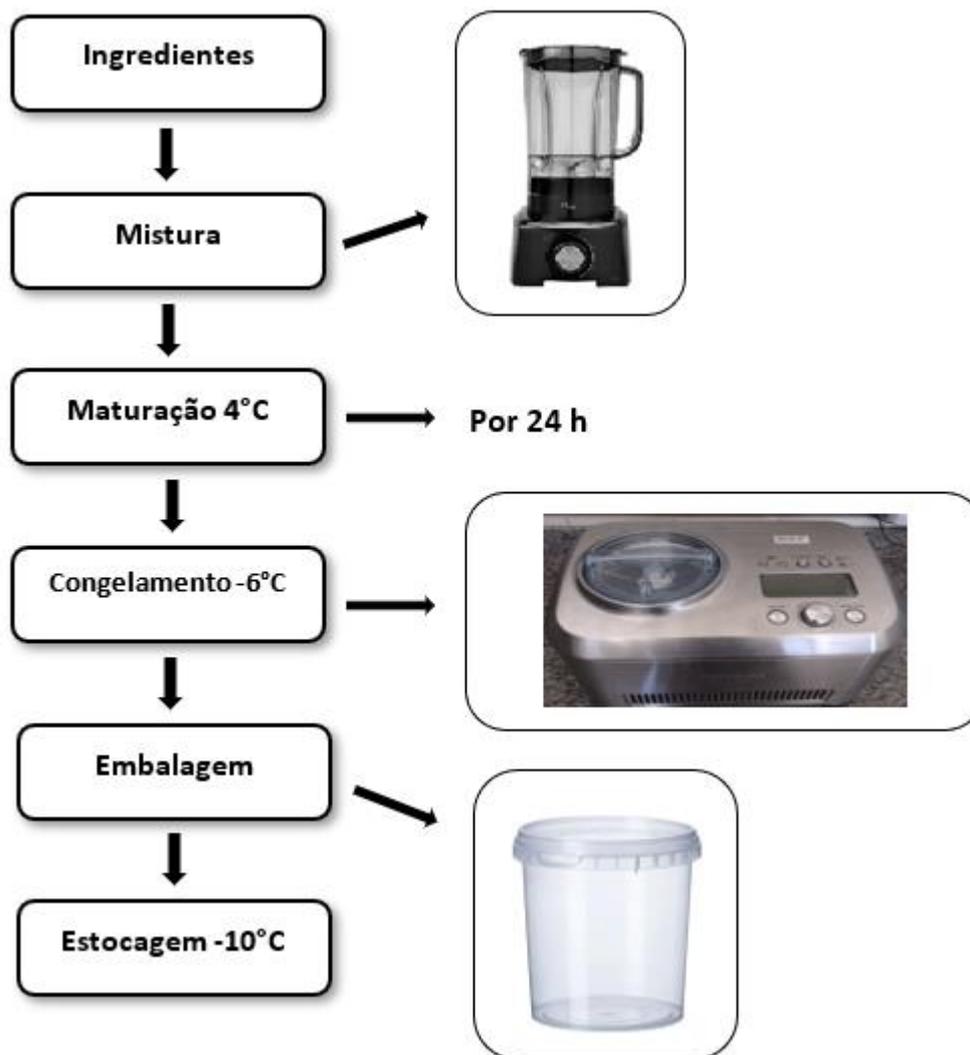
$E_{1\text{cm}}^{1\%}$  = coeficiente de extinção

(Coeficiente de carotenoides em éter de petróleo corresponde a 2592)

#### 4.2.2 Produção do sorvete de maracujá incorporado com emulsões contendo luteína encapsulada

O rendimento total dos sorvetes foi de 7,2 kg, sendo 3 formulações com 2,4 kg cada, e produzidas em 3 bateladas, cada uma com 800 g. A massa que foi utilizada para produzir os sorvetes de maracujá foi obtida através da mistura dos ingredientes, conforme descrito na Tabela 2, em liquidificador com velocidade de mistura 6 (PH9000, Philco, São Paulo, SP, Brasil). A mistura passou por maturação por 24 h a 4° C. Após essa etapa de maturação, o sorvete foi processado em sorveteira (Breville Express, Tramontina, Carlos Barbosa, RS) sob congelamento (- 6° C) por 40 min. Em seguida, o sorvete foi embalado e mantido sob congelamento a -10° C, em embalagens de polipropileno (PP) de 5 L, até o momento das análises. A produção do sorvete ocorreu de acordo com o seguinte fluxograma:

**Figura 9:** Fluxograma do processamento de produção dos sorvetes de maracujá utilizados na presente Dissertação.



Fonte: Própria autoria.

Depois da etapa de maturação, a nanoemulsão de luteína foi adicionada à massa de sorvete em quantidades definidas na Tabela 2. Os sorvetes foram armazenados em embalagens de 5L de polipropileno (PP), mantidas em freezer em temperatura a -10 °C (FE 18, Electrolux, Curitiba, Brasil).

**Tabela 2:** Formulações utilizadas para produção dos sorvetes de maracujá caracterizados nessa Dissertação.

Ingredientes	Formulação dos sorvetes		
	A	B	C
Leite pasteurizado 3% gordura (%)	70,0	69,3	68,8
Açúcar (%)	15,0	7,5	7,5
Leite em pó (%)	7,0	7,0	7,0
Gordura vegetal (%)	4,0	4,0	4,0
Estabilizante (%)	1,0	1,0	1,0
Emulsificante (%)	1,0	1,0	1,0
Ácido cítrico anidro (%)	-	-	0,5
Suco concentrado (%)	-	10,0	10,0
Mix comercial com corante amarelo e aroma de maracujá (%)	2,0	-	-
Nanoemulsão com luteína encapsulada (%)	-	0,2	0,2

(Fonte: Própria autoria)

- A = Sorvete com mix comercial de maracujá, sendo o controle;
- B = Sorvete com 100% de substituição do mix comercial de maracujá por nanoemulsão contendo luteína encapsulada e com 50% de redução de açúcar;
- C = Sorvete com 100% de substituição do mix comercial de maracujá por nanoemulsão contendo luteína encapsulada, com 50% de redução de açúcar e contendo ácido cítrico anidro para conferir a acidez característica do maracujá.

### 4.2.3 Caracterização físico-química do sorvete de maracujá incorporando emulsões com luteína encapsulada

#### 4.2.3.1 Determinação da composição centesimal, pH, teor de sólidos solúveis e overrun

Para a composição centesimal dos sorvetes, a determinação do conteúdo protéico foi realizada pelo método de Kjeldahl. A porcentagem de umidade foi determinada por método gravimétrico por secagem em estufa a 105°C e o teor de cinzas por secagem em mufla (550°C), seguindo métodos padronizados (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2005), no Laboratório de Bromatologia do Departamento de Zootecnia da FZEA/USP.

A determinação do teor de gordura foi realizada pelo método de Gerber que utiliza a hidrólise ácida para extrair a gordura do alimento e é comumente utilizada em leites e produtos lácteos (BRASIL, 2006; CECCHI, 2003).

A determinação da porcentagem do teor de carboidratos presente nos sorvetes de maracujá foi feita matematicamente por diferença entre a massa total e as demais massas de proteína, gordura, cinzas e umidade. Todas as análises foram feitas em triplicata.

O pH das amostras de sorvete foi medido com medidor de pH (TEC-7, TECNAL, Piracicaba, Brasil). As medidas foram realizadas em triplicata ao longo do tempo de armazenagem. O teor de sólidos solúveis foi determinado utilizando o refratômetro, de acordo com a metodologia estabelecida pela Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 1995), com correção automática do °Brix para a temperatura.

A medida da incorporação de ar obtido no processamento do sorvete ocorreu por meio da comparação do volume da calda e do sorvete congelado, o que é chamado de cálculo de *overrun*. Tais medições de *overrun* foram realizadas por amostra através da comparação do volume da mistura do sorvete não-congelado (mistura/calda) e do sorvete em um recipiente de volume fixo (MARSHALL; GOFF; HARTEL, 2003; MUSE; HARTEL, 2004). O valor do *overrun* (%) foi calculado segundo a Equação:

$$\text{Overrun} = \frac{\text{Volume da mistura} - \text{Volume do sorvete}}{\text{Volume do sorvete}} \times 100$$

#### 4.2.3.2 Determinação de cor instrumental dos sorvetes

A cor instrumental dos sorvetes foi determinada em colorímetro (HunterLab, AEROS, USA), utilizando o software EasyMatch Essentials (Versão 1.2). Os parâmetros colorimétricos ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) e os valores de croma ( $C^*_{ab}$ ), ângulo de Hue ( $h^\circ$ ) foram determinados pelo equipamento utilizando o modelo tridimensional de espaço de cores CIELAB e seu modelo relacionado CIELCH. Os parâmetros  $a^*$  = cromaticidade no eixo variando do vermelho/verde;  $b^*$  = cromaticidade no eixo variando do amarelo/azul;  $L^*$  = luminosidade.

#### 4.2.3.3 Determinação do tempo de primeira gota (“*first drop*”) e da taxa de derretimento

Para a realização desse ensaio, as amostras de sorvete (massa de 25 g) foram deixadas para fusão em uma tela de malha 0,2 cm, disposta acima de um béquer, na temperatura ambiente. A primeira gota (“*first drop*”) e a taxa de derretimento das amostras de sorvetes foram determinadas em termos de tempo, e a porcentagem de derretimento foi determinada a cada 10 min (GÜVEN; KARACA 2002).

#### 4.2.4 Determinação da capacidade antioxidante dos sorvetes

##### 4.2.4.1 Preparação dos extratos

Para extrair os compostos antioxidantes, 5 g de sorvete foram diluídos em 10 mL de éter de petróleo e a mistura foi agitada em um agitador orbital a 600 rpm por 10 min (MA420, Marconi, Piracicaba, Brasil). Em seguida, foram misturadas em centrifuga por 20 min (Centrifuge 5430R, Eppendorf, São Paulo, Brasil). Os sobrenadantes foram filtrados através do filtro Whatman papel N° 1 e as alíquotas foram armazenadas em tubos de polipropileno fechados de 50 mL a 20 °C para as análises. Para as análises da capacidade antioxidante, no lugar do tratamento controle, utilizou-se o tratamento branco, sem adição da nanoemulsão de luteína e sem o mix comercial, apenas com o suco concentrado de maracujá.

#### 4.2.4.2 Determinação do conteúdo de fenólicos totais (CFT)

A determinação do conteúdo de fenólicos totais dos extratos obtidos a partir dos sorvetes foram determinados pelo método colorimétrico de Folin-Ciocalteu, usando o padrão analítico de ácido gálico, de acordo com adaptação proposta por Gülçin et al. (2003, 2008). Para tal, 1 mL do filtrado obtido de acordo com o método descrito no item 4.3.2.1 foi transferido para um frasco de vidro e seu volume foi completado até 23 mL com água destilada. Em seguida, 0,5 mL de reagente Folin-Ciocalteu foi adicionado à tal mistura, e 1,5 mL de carbonato de sódio foi transferido para tal mistura após 3 min. A seguir, as amostras foram agitadas em agitador orbital 600 rpm a temperatura ambiente por 120 min (MA420, Marconi, Piracicaba, Brasil). A seguir a absorbância foi medida a 760 nm em espectrofotômetro (G10S UV-Vis, Thermo Fisher Scientific, Shanghai, China). Água destilada foi utilizada como branco e as medições foram realizadas em triplicata para cada amostra. A curva de calibração foi obtida utilizando-se ácido gálico, e os resultados foram expressos em mg equivalente de ácido gálico por 100g do extrato (EAG mg /100g do extrato).

#### 4.2.4.3 Determinação da capacidade de sequestro do radical ABTS<sup>+</sup>

Para a determinação da atividade antioxidante pelo método do sequestro do radical ABTS<sup>+</sup>, foi utilizada a metodologia descrita por Re *et al.* (1999). Inicialmente foi formado o radical 2,2'-azino-bis-(3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico (ABTS<sup>•+</sup>), a partir da reação de 7 mmol de ABTS com 2,45 mM de persulfato de potássio, incubada à temperatura ambiente e na ausência de luz, por 12 h. Transcorrido esse tempo, a solução foi diluída em etanol anidro até obter uma solução com absorbância de 0,70 ( $\pm$  0,01), e comprimento de onda de 734 nm. As amostras foram diluídas em etanol anidro até obter 20-80% de inibição do radical, e comparadas com a absorção do branco.

Para realizar as medidas, foram adicionados 40  $\mu$ L da amostra diluída a 1960  $\mu$ L da solução contendo o radical, foi determinado a absorbância em espectrofotômetro (G10S UV-Vis, Thermo Fisher Scientific, Shanghai, China), a 734 nm, após 6 min de reação. Como solução padrão, foi utilizado o antioxidante sintético Trolox (6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromo-2-ácido carboxílico) nas concentrações de 20 a 50  $\mu$ M diluído em etanol anidro.

Todas as leituras foram realizadas em triplicata. O cálculo da capacidade antioxidante da amostra foi feito em relação à capacidade antioxidante do Trolox, sob condições iguais, e os resultados foram expressos em  $\mu\text{mol}$  de Trolox por grama da amostra ( $\mu\text{mol}$  Trolox/g amostra).

#### **4.2.4.4 Determinação da capacidade redutora do ferro (FRAP)**

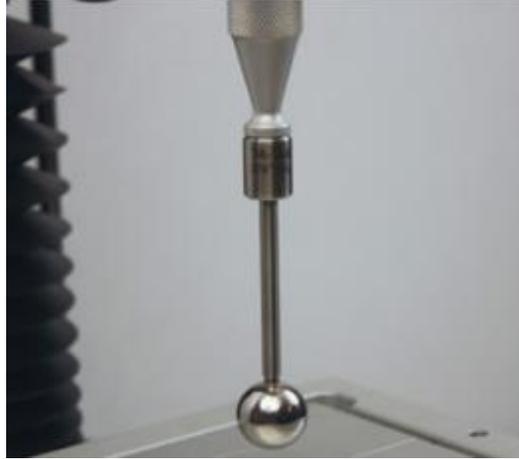
A determinação da capacidade redutora do ferro foi realizada de acordo com o método descrito por Benzie e Strain (1996). Foram utilizados 0,1 mL do extrato obtido no item 4.3.2.1, em 2,9 mL de solução de FRAP e incubadas em banho termostático a  $37^{\circ}\text{C}$  durante 30 minutos no escuro. A absorbância foi medida a 593 nm utilizando um espectrofotômetro (G10S UV-Vis, Thermo Fisher Scientific, Shanghai, China). Foram utilizados como padrão os equivalentes de trolox (2,5 - 15  $\mu\text{mol/L}$ ) e os resultados foram expressos como  $\mu\text{mol}$  equivalentes de Trolox por grama da amostra ( $\mu\text{mol}$  Trolox/g amostra).

#### **4.2.5 Análise instrumental de textura (TPA)**

Para determinação da textura instrumental dos sorvetes, foi adaptada a metodologia utilizada por Ramos et al. (2016). Foram preparadas amostras de sorvetes, com antecedência de um dia das medições no texturômetro, estando acondicionadas em recipientes cilíndricos com 40 mm de altura e 52 mm de diâmetro. As amostras foram retiradas do freezer com 5 min de antecedência aos testes com temperatura das amostras de  $-5^{\circ}\text{C}$ . Tal antecedência teve a finalidade de facilitar a penetração da probe na amostra de sorvete congelado, e evitar que acontecesse derretimento. Uma probe como mostrada na Figura 10, de aço inoxidável do tipo TA-18A de dimensão 2 mm de largura por 20 mm de comprimento foi utilizada para fazer a leitura dos dados selecionados. A probe foi posicionada no centro geométrico da amostra, e a leitura realizada com uma velocidade de penetração de 2 mm/s e a distância de penetração de 20 mm. O equipamento utilizado foi o texturômetro (TA-XT plus, Stable Micro Systems, Itatiba, Brasil) e pelo software Expoent Micro Systems versão 6.1.7.0 acoplado ao mesmo foi responsável pela obtenção dos dados. As análises ocorreram após a fabricação dos sorvetes, aos 30, 90, 120 e 180 dias de armazenamento.

A análise foi realizada à temperatura controlada de  $20^{\circ}\text{C}$ , em que a dureza foi considerada como a força de pressão de pico (N) durante a penetração, e adesividade foi considerada como a força de pico negativo (g) durante o retorno do probe. Os testes foram realizados em triplicata para todas as amostras.

**Figura 10:** Probe de aço inoxidável do tipo TA-18A.



(Fonte: Ramos, 2016)

#### **4.2.6 Avaliação sensorial dos sorvetes**

A avaliação sensorial dos sorvetes foi feita por meio de duas análises afetivas: teste de aceitação e CATA (*check all that apply*). Foram recrutados 146 panelistas dentre alunos e funcionários do campus de Pirassununga (USP), de ambos os sexos e diferentes faixas etárias. As amostras de sorvete foram mantidas sob congelamento de aproximadamente - 10°C para serem servidas aos provadores. Os ensaios sensoriais deste projeto de pesquisa ocorreram com a prévia autorização do Comitê de Ética da FZEA/USP em 02/12/2021 sob número de parecer CAAE 54018621.0.0000.5422, de acordo com normas para Estudos com Humanos da Plataforma Brasil. Os Termos de Consentimento Livre e Esclarecido foram assinados por cada um dos provadores em todas as sessões realizadas. Os testes foram conduzidos no Laboratório de Análise Sensorial do Departamento de Engenharia de Alimentos / FZEA – USP.

Para os testes de aceitação, os provadores foram solicitados a assinalar, em uma escala hedônica de 9 pontos, com valores de 1 (Desgostei extremamente) a 9 (Gostei extremamente), o quanto gostaram ou desgostaram do produto em relação aos cinco parâmetros citados: cor, sabor, aroma, textura e aceitação global, a ficha está apresentada no apêndice da dissertação.

As amostras foram apresentadas de forma codificada em números contendo 3 algarismos escolhidos da tabela estatística de ordens aleatórias dos dígitos 1 a 9 arranjados em grupos de 3 colunas. Codificadas as amostras foram servidas uma de cada vez para os provadores (MEILGAARD; CIVILLE; CARR, 1991).

Já os testes do tipo CATA (*Check-all-that-apply*), é um método que permite aos consumidores escolher atributos potenciais de uma lista para descrever o produto avaliado. Tal

método é diferente da escala hedônica no sentido de que não são dadas intensidades aos atributos. Cada vez mais nos últimos anos está sendo utilizada em estudos com consumidores para avaliar a percepção dos mesmos em relação as características dos alimentos, afim de determinar quais atributos sensoriais podem ser característicos de um produto específico, e para obter perfis de produtos rápidos pelos consumidores (ARES et al., 2010; MEYNER; CASTURA, 2014).

A vantagem desse método é que os descritores não se limitam aos atributos sensoriais do produto, permitindo várias opções a serem selecionadas, em vez de apenas uma resposta dos painelistas ou forçando os mesmos a centrar suas atenções a termos específicos. Este tipo de metodologia reúne informações sobre os atributos percebidos no produto sem exigir escalonamento, permitindo uma descrição um pouco menos artificial das principais propriedades sensoriais do alimento testado (DOOLEY et al., 2010; FARESIN, 2019).

Os consumidores foram apresentados a uma lista de atributos e solicitados a indicar quais palavras ou frases descrevem apropriadamente sua experiência com a amostra que está sendo avaliada, que foram relacionadas com as características sensoriais dos sorvetes, como por exemplo: *sabor de leite, pouco doce, muito doce, derretimento rápido, derretimento lento, aerado, presença de cristais de gelo, sensação gordurosa na boca, duro, sabor cremoso, aparência cremosa, suave, cor alaranjada e cor amarelada*. Outros termos podem ser adicionados dependendo da formulação, principalmente em relação ao sabor que foi utilizado para o sorvete. Os provadores puderam marcar todos os termos que considerem apropriados para descrever os sorvetes. Os termos escolhidos foram baseados em trabalhos anteriores de Dooley et al. (2010) e Faresin (2019) que empregaram o CATA para sorvetes.

Os resultados do teste CATA foram analisados por frequência de citações para cada termo mencionado. Para o teste de aceitação, os resultados foram feitos por meio da análise de variância (ANOVA) e do teste de Tukey para comparar as médias dos tratamentos, com auxílio do software R versão 2.11.1 (R Development Core Team, Auckland, Nova Zelândia). O nível de significância para todos os testes foi de 5% (Aeres e Jaeger, 2013; Ozaki, 2016; Pires et al., 2019).

#### 4.2.7 Ensaio de digestão *in vitro*

A digestão *in vitro* estática foi feita de acordo com o protocolo consensual descrito por Brodkorb et al. (2019), com os parâmetros de tempo de digestão e atividades enzimáticas adaptadas para os adultos seniores, de acordo com os adotados por Levi et al. (2017) e Levi e Lesmes (2014) para digestão *in vitro* dinâmica. Os sorvetes produzidos de acordo com o protocolo descrito anteriormente (item 4.3) foram testados no processo de digestão *in vitro* simulada estática.

A digestão *in vitro* começa com uma etapa anterior de preparação que envolve três procedimentos iniciais: (i) os ensaios de atividade enzimática; (ii) a preparação dos fluidos simulados digestivos; (iii) o experimento teste de ajuste de pH. As atividades enzimáticas foram determinadas de acordo com os ensaios detalhados por Brodkorb et al. (2019). Para mensurar a atividade da pepsina suína foi utilizado como substrato a hemoglobina de sangue bovino e medido com produtos solúveis em ácido tricloroacético (TCA), absorvância 280 nm. A atividade da tripsina da pancreatina suína foi determinada pela hidrólise do éster metílico de p-tolueno-sulfonil-L-arginina (TAME) (1 unidade de tripsina hidrolisa 1  $\mu$ mol TAME), na absorvância de 247 nm. A concentração de sais biliares bovino foi medida com um kit comercial (Bile acid assay kit – MAK 309, Sigma-Aldrich), em diferentes concentrações e seguindo o procedimento e a faixa de linearidade do kit. Os fluidos de digestão simulados salivar (SSF), gástrico (SGF) e intestinal (SIF) foram preparados de acordo com a composição estabelecida no protocolo de digestão *in vitro* estática para adultos detalhado por Brodkorb et al. (2019) (Tabela 3). Os fluidos de digestão (sem a adição do  $\text{CaCl}_2(\text{H}_2\text{O})_2$ ) foram armazenados à  $-20^\circ\text{C}$  após preparados. Eles foram preparados a uma concentração de 1,25 $\times$  porque, durante o experimento, foram misturados com as quantidades necessárias de enzimas e diluídos para uma solução de trabalho na concentração 1 $\times$ .

Após a etapa de preparação pode-se realizar o procedimento de digestão *in vitro* em cada fase do TGI. As enzimas e a bile foram misturadas aos fluidos gástricos no dia do experimento da digestão. As enzimas diluídas foram armazenadas em banho de gelo. A dispersão de pepsina foi preparada no SGF, enquanto que as dispersões de pancreatina e de bile bovina foram preparadas no SIF. Os fluidos gástricos e a bile foram pré-aquecidos à  $37^\circ\text{C}$ .

**Tabela 3:** Volumes das soluções estoque de eletrólitos adicionados para produzir 400 mL dos fluidos de digestão diluídos com água para concentração de 1,25×.

Sal	Concentração da		SSF (pH 7)	SGF (pH 4)	SIF (pH 6,5)
	solução estoque		Volume da solução	Volume da solução	Volume da solução
	(g/L)	(M)	estoque adicionado (mL)	estoque adicionado (mL)	estoque adicionado (mL)
KCl	37,3	0,5	15,1	6,9	6,8
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	68	0,5	3,7	0,9	0,8
NaHCO <sub>3</sub>	84	1	6,8	12,5	42,5
NaCl	117	2	-	11,8	9,6
MgCl <sub>2</sub> (H <sub>2</sub> O) <sub>6</sub>	30,5	0,15	0,5	0,4	1,1
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	48	0,5	0,06	0,5	-
CaCl <sub>2</sub> (H <sub>2</sub> O) <sub>2</sub> *	44,1	0,3	0,025	0,005	0,04

\* CaCl<sub>2</sub>(H<sub>2</sub>O)<sub>2</sub> deve ser adicionado durante o experimento de digestão, para evitar aprecipitação durante o armazenamento dos fluidos de digestão. SSF = fluido salivarsimulado; SGF = fluido gástrico simulado; SIF = fluido intestinal simulado.

Fonte: BRODKORB, A. et al. INFOGEST static *in vitro* simulation of gastrointestinal food digestion. Nature Protocols, 14, 991-1014, 2019.

Para interromper a digestão na fase gástrica o pH foi elevado para 7 e na fase intestinal foi adicionado Pefabloc 0,1 M (50 µL/mL digesta), um inibidor enzimático da tripsina e quimotripsina. Em seguida, as amostras foram homogeneizadas utilizando ultra-agitação, aliquotadas e congeladas em nitrogênio líquido (*snap freezing*). Além de serem realizadas a digestão *in vitro* das cinco formulações, também foi realizada a digestão do branco – tubo contendo os fluidos digestivos e as enzimas, sem amostra.

#### 4.2.8 Determinação da luteína encapsulada nos sorvetes e nas frações digeridas por cromatografia

A extração da luteína nos sorvetes e nas frações digeridas foi realizada nas mesmas condições descritas anteriormente no item 4.2.1, porém os extratos das frações digeridas, antes das lavagens com éter de petróleo, foram necessários uma centrifugação por 40 min (Centrifuge 5430R, Eppendorf, São Paulo, SP, Brasil), e não houve a etapa de saponificação desses extratos.

A concentração de luteína foi determinada por cromatografia líquida de alta eficiência de acordo com (Petry; Mercadante, 2018; Carvalho et al., 2012), por HPLC (Shimadzu Prominence System, Kyoto, Japão). A separação foi feita usando uma coluna YMC Carotenoid C30 5 µm, 0,46 × 25 cm (Shimadzu Prominence System, Kyoto, Japão), com uma temperatura de 30 °C. O metanol e a acetonitrila foram utilizados para a separação das

amostras na proporção de 9:1 (v/v) e fluxo constante de 1,6 mL/min. Alíquotas de 30  $\mu$ L foram analisadas com uma detecção por arranjo de diodos em 445 nm, com o tempo de corrida de 30 min. A luteína foi identificada com base no seu tempo de retenção, e a quantificação das concentrações foi realizada por meio de uma curva analítica da luteína pura na fase móvel, obtida pelo software do equipamento LC Solution versão 5.6 (LC Solution, Kyoto, Japão). Todas as análises foram realizadas em triplicatas.

#### **4.2.9 Análises Estatísticas**

Os tratamentos estatísticos dos resultados foram tabulados e expressos com média  $\pm$  desvio padrão, feitos por meio da análise de variância (ANOVA) e submetidas ao teste de Tukey para comparar as médias dos tratamentos, o que ocorreu com auxílio do programa R versão 2.11.1 (R Development Core Team, Auckland, Nova Zelândia). O nível de significância para todos os testes foi de 5%.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Quantificação da luteína encapsulada nas emulsões ao longo do tempo de armazenagem

A nanoemulsão de luteína com a formulação estabelecida no item 4.1, que foi produzida pela empresa YOSEN Nanotecnologia, com triglicerídeos de cadeia média como fase oleosa e fosfolipídios como tensoativo, encapsulando a luteína. Na Tabela 4 mostra a quantificação de luteína na nanoemulsão, que foi avaliada durante 120 dias de estocagem.

**Tabela 4:** Quantificação de luteína encapsulada na nanoemulsão ao longo do tempo de armazenagem em concentração de luteína (mg/100 g da nanoemulsão).

	Tempo de armazenagem (dias)			
	1	30	90	120
Concentração de luteína (mg/100 g nanoemulsão)	887 ± 2,6 <sup>a</sup>	853 ± 3,0 <sup>a</sup>	819 ± 2,7 <sup>a</sup>	798 ± 3,7 <sup>a</sup>
Luteína preservada (%)	-	96,2	92,3	89,9

Letras minúsculas diferentes nas linhas indicam diferenças estatísticas significativas entre os tempos, de acordo com o teste de Tukey (p<0,05).

(Fonte: Própria autoria)

Como apresentado pela Tabela 4, os resultados da quantificação de luteína encapsulada na nanoemulsão, mostraram que a luteína se manteve estável ao longo dos 120 dias de armazenamento de acordo com a estatística, não exibindo diferença entre os tempos, com a luteína sendo preservada em 96,2% até o dia 30, 92,3% preservada até o dia 90 e com 89,9% ao final do último de tempo de armazenagem. A eficiência de preservação apresentadas foi superior aos encontrados na literatura. Hu et al. (2012) avaliaram a eficiência de preservação da luteína em nanopartículas de zeína obtidas pelo método de solução de dispersão aprimorada por fluidos supercríticos (SEDS), obtendo valores entre 83,15% e 34,44% de preservação. Lacatusu et al. (2013) prepararam nanoemulsões à base de ácidos graxos ômega-3 contendo luteína e obtiveram 88,5% de eficiência de preservação. Arunkumar et al. (2015) trabalharam com a luteína nanoencapsulada em poli ácido láctico-co-glicólico e observaram que a eficiência máxima de preservação encontrada foi de 88%.

Portanto, os altos valores de preservação obtidos no presente trabalho sugerem que a técnica escolhida de nanoencapsulação (emulsificação) e os materiais utilizados (triglicerídeos de cadeia média como fase oleosa e fosfolipídios como tensoativo) são adequados para encapsular e preservar a luteína.

## 5.2 Caracterização físico-química dos sorvetes de maracujá incorporado com nanoemulsão de luteína encapsulada

### 5.2.1 Quantificação da luteína encapsulada incorporada nos sorvetes de maracujá ao longo do tempo de armazenagem

De acordo com a Tabela 5, que mostra a quantificação de luteína nos sorvetes ao longo dos 180 dias, não houve diferenças significativas entre os tratamentos ao longo do tempo de estocagem, porém podemos observar que houve diferença significativa entre os tempos 1 e 180 das duas formulações, mostrando uma perda da quantidade de luteína no final do armazenamento em relação aos sorvetes recém-produzidos. A luteína foi preservada nos tratamentos B e C respectivamente em 93,8 e 95,7% até o tempo 90, e com 87,7 e 89,3% ao final do período de armazenamento, resultados que podem ser considerados bastante promissores.

**Tabela 5:** Quantificação da luteína incorporada nos sorvetes de maracujá, ao longo do tempo de armazenagem em concentração de luteína (mg/100 g de sorvete).

Tratamentos	Tempo (Dias)		
	1	90	180
B	1,79 ± 0,09 <sup>a,A</sup>	1,68 ± 0,04 <sup>a,AB</sup>	1,57 ± 0,11 <sup>a,B</sup>
Luteína preservada (%)	-	93,8	87,7
C	1,86 ± 0,05 <sup>a,A</sup>	1,78 ± 0,04 <sup>a,A</sup>	1,66 ± 0,08 <sup>a,B</sup>
Luteína preservada (%)	-	95,7	89,3

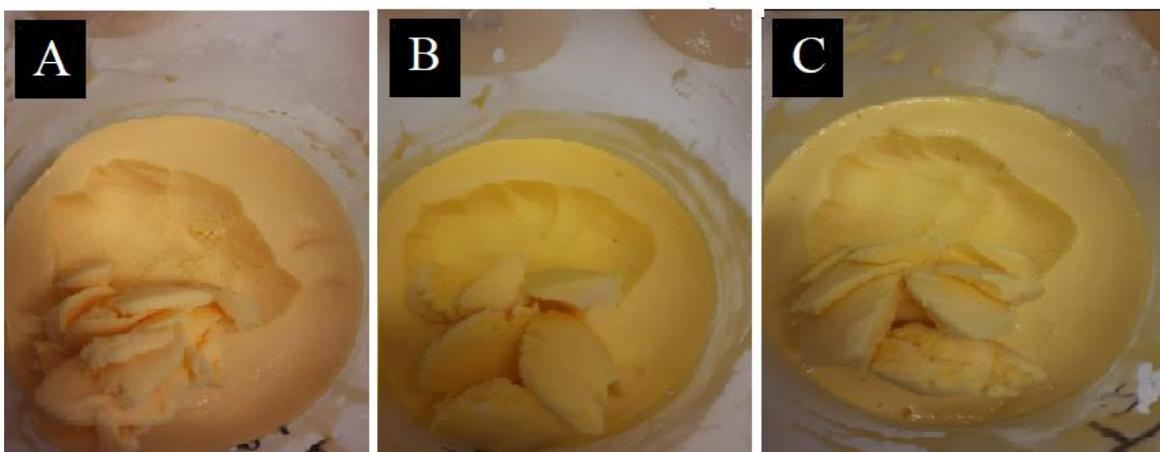
\*B = Sorvete com 100% de substituição do mix comercial de maracujá por nanoemulsão contendo 0,2% de luteína encapsulada e com 50% de redução de açúcar; C = Sorvete com 100% de substituição do mix comercial de maracujá por nanoemulsão contendo 0,2% de luteína encapsulada, com 50% de redução de açúcar e com ácido cítrico anidro. Letras minúsculas diferentes nas colunas indicam diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos, de acordo com o teste de Tukey (p<0,05). Letras maiúsculas diferentes nas linhas indicam diferenças estatísticas significativas entre os tempos, de acordo com o teste de Tukey (p<0,05).

(Fonte: Própria autoria)

### 5.2.2 Aspecto visual dos sorvetes

Foi incorporado nos sorvetes de massa sabor maracujá 0,2 g/100 g sorvete da nanoemulsão contendo a luteína encapsulada. As formulações utilizadas para produção e o fluxograma de processamento estão determinados no item 4.3. Os sorvetes foram caracterizados pela sua composição centesimal, °Brix e *overrun*, que estão apresentados na Tabela 6, e pela quantificação de luteína, pH, tempo de primeira gota, taxa de derretimento, colorimetria e perfil de textura foram avaliados ao longo do tempo de armazenagem de 180 dias. O aspecto visual dos tratamentos dos sorvetes de maracujá produzidos podem ser verificados na Figura 11.

**Figura 11:** Aspecto visual dos sorvetes de maracujá produzidos (a) sorvete com mix comercial de maracujá; (b) sorvete com 100% de substituição do mix comercial de maracujá por nanoemulsão contendo 0,2% de luteína encapsulada e com 50% de redução de açúcar (c) sorvete com 100% de substituição do mix comercial de maracujá por nanoemulsão contendo 0,2% de luteína encapsulada, com 50% de redução de açúcar e com ácido cítrico anidro.



(Fonte: Própria autoria)

As formulações de sorvetes B e C, contendo luteína nanoencapsulada, apresentaram uma cor mais amarelada que a formulação controle, tendo em vista que o sorvete controle apresentou uma cor mais próxima do alaranjado. Além disso, a cor amarela da nanoemulsão de luteína é bem mais “vivo” e forte.

Pode-se observar que foi utilizado apenas 0,2% da nanoemulsão de luteína e foi possível obter a forte coloração amarela. Tal concentração foi escolhida em relação a cor de amarelo desejada, e também por conta da recomendação diária da ingestão de luteína por

profissionais da área da saúde, que é de 15 mg de luteína/dia. O presente sorvete foi formulado para ter em uma porção de 35g de sorvete, 14 mg de luteína.

### 5.2.3 Determinação da composição centesimal, sólidos solúveis e *overrun*

Os valores das médias obtidos na caracterização físico-química dos sorvetes, para composição centesimal em base seca, sólidos solúveis totais (°Brix) e *overrun* (% de ar incorporado) estão apresentados na Tabela 6.

**Tabela 6:** Caracterização dos sorvetes de maracujá.

Análises	Tratamentos		
	A	B	C
Umidade (%)	60,84 ± 0,37 <sup>c</sup>	70,82 ± 0,51 <sup>a</sup>	69,75 ± 0,63 <sup>b</sup>
Proteína Bruta (%) b.s	4,25 ± 0,07 <sup>b</sup>	4,90 ± 0,10 <sup>a</sup>	4,80 ± 0,28 <sup>a</sup>
Gordura (%) b.s	0,71 ± 0,19 <sup>b</sup>	1,34 ± 0,66 <sup>ab</sup>	1,60 ± 0,28 <sup>a</sup>
Cinzas (%) b.s	0,98 ± 0,04 <sup>a</sup>	0,94 ± 0,08 <sup>a</sup>	0,95 ± 0,01 <sup>a</sup>
Carboidratos (%) b.s	33,22 ± 0,29 <sup>a</sup>	22,01 ± 1,22 <sup>b</sup>	22,92 ± 0,08 <sup>b</sup>
°Brix	42,00 ± 0,87 <sup>a</sup>	21,11 ± 0,88 <sup>b</sup>	20,44 ± 0,78 <sup>b</sup>
<i>Overrun</i> (%)	18,74 ± 1,79 <sup>a</sup>	17,78 ± 0,65 <sup>a</sup>	17,81 ± 1,57 <sup>a</sup>

\*A = Sorvete com mix comercial de maracujá; B = Sorvete com 100% de substituição do mix comercial de maracujá por nanoemulsão contendo 0,2% de luteína encapsulada e com 50% de redução de açúcar; C = Sorvete com 100% de substituição do mix comercial de maracujá por nanoemulsão contendo 0,2% de luteína encapsulada, com 50% de redução de açúcar e com ácido cítrico anidro. Letras minúsculas diferentes nas colunas indicam diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos, de acordo com o teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

(Fonte: Própria autoria)

Os dados da Tabela 6, indicaram que os tratamentos apresentaram valores para a composição centesimal que estão de acordo com os requisitos da legislação brasileira para sorvetes de massa (BRASIL, 1999). O teor de umidade que variou entre 60,84 a 69,75%, apresentando diferenças significativas entre as três formulações, com valores superiores para B e C devido a presença do suco concentrado e a redução do açúcar. Tal fato reduziu os sólidos nos sorvetes, aumentando a umidade. As formulações com a adição da nanoemulsão apresentaram maior teor de gordura do que a formulação A controle, como esperado devido

à presença da fase oleosa. Porém, as formulações A e B não apresentaram diferença estatísticas significativas para gordura. As porcentagens de cinzas para todos os tratamentos não exibiram diferenças significativas entre si.

Em relação aos carboidratos, a formulação controle apresentou valores maiores, diferindo dos sorvetes B e C, com 32% e 31% de redução de carboidratos em relação ao controle. Esses valores devem-se a redução de 50% de açúcar na formulação dos sorvetes com a nanoemulsão de luteína, que podem ser considerados *light*. De acordo com o Regulamento técnico de Informação Nutricional Complementar – INC (Resolução RDC n. 54/2012), para um alimento ser considerado *light* é necessária uma redução de no mínimo 25% no valor energético ou no conteúdo do nutriente objeto da alegação em relação ao alimento de referência ou convencional.

Por sua vez, o conteúdo de sólidos solúveis exibiu um valor maior para a formulação A, diferenciando-se significativamente das formulações B e C. Conforme esperado, devido à redução de açúcar, houve redução dos sólidos solúveis em aproximadamente 50%. No entanto, todos os valores de °Brix estão de acordo com a legislação brasileira vigente para sorvetes de frutas, que devem apresentar um teor mínimo de 20% de sólidos solúveis totais (BRASIL, 1999).

Quanto ao *overrun*, os tratamentos não apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre si. Os valores desses parâmetros podem ser considerados baixos quando comparados com a literatura, e tal fato provavelmente se deve ao tipo de sorveteira (caseira) que foi utilizada para produção dos sorvetes. A sorveteira é o equipamento responsável pela estrutura, congelamento e incorporação das bolhas de ar na massa do sorvete, sendo utilizada para bater a mistura em baixas temperaturas. Alguns trabalhos ainda relacionam os baixos valores de *overrun* com a redução de gordura e açúcar. Dentre estes dois ingredientes, destaca-se o açúcar, que controla o congelamento, fusão e a viscosidade da mistura; portanto, quanto menos açúcar, maior a formação de cristais de gelo e, por consequência, menos ar consegue ser incorporado na massa do sorvete.

Boyanova et al. (2022) estudaram a influência de diferentes concentrações de spirulina em sorvetes, encontraram valores entre 30 a 48% de *overrun*. Srinu et al. (2022) que avaliaram vários teores de especiarias nos sorvetes, encontraram valores de *overrun* entre 48 a 53%, que também podem ser considerados valores baixos quando comparados com os sorvetes fabricados industrialmente. Na maior parte dos sorvetes industrializados os

valores médios de incorporação de ar é de no mínimo 60%, podendo ter valores maiores em algumas marcas.

As baixas porcentagens de *overrun* nos sorvetes favorece uma textura mais rígida, podendo influenciar nas propriedades do perfil de textura, tempo de primeira gota e taxa de derretimento (XINYL et al., 2010), que foram observadas e serão mostradas nos itens posteriores.

#### 5.2.4 Determinação do pH

Os sorvetes foram avaliados em relação ao pH por um período de 180 dias, para verificar se as formulações com adição da nanoemulsão de luteína, suco concentrado de maracujá e ácido cítrico alterariam os valores de pH dos sorvetes ao longo do armazenamento. Os dados podem ser visualizados na Tabela 7.

**Tabela 7:** Determinação de pH ao longo do tempo de armazenagem nos sorvetes de maracujá produzidos.

Tratamentos	Tempo (Dias)				
	0	30	90	120	180
A	5,25 ± 0,09 <sup>a,A</sup>	5,35 ± 0,08 <sup>a,AB</sup>	5,33 ± 0,07 <sup>a,BC</sup>	5,23 ± 0,08 <sup>a,BC</sup>	5,20 ± 0,08 <sup>a,C</sup>
B	5,13 ± 0,04 <sup>b,A</sup>	5,12 ± 0,11 <sup>b,A</sup>	5,17 ± 0,06 <sup>b,A</sup>	5,17 ± 0,06 <sup>a,A</sup>	5,16 ± 0,06 <sup>a,A</sup>
C	4,04 ± 0,03 <sup>c,A</sup>	4,14 ± 0,06 <sup>c,A</sup>	4,10 ± 0,04 <sup>c,A</sup>	4,04 ± 0,10 <sup>b,A</sup>	4,03 ± 0,10 <sup>b,A</sup>

\*A = Sorvete com mix comercial de maracujá; B = Sorvete com 100% de substituição do mix comercial de maracujá por nanoemulsão contendo 0,2% de luteína encapsulada e com 50% de redução de açúcar; C = Sorvete com 100% de substituição do mix comercial de maracujá por nanoemulsão contendo 0,2% de luteína encapsulada, com 50% de redução de açúcar e com ácido cítrico anidro. Letras minúsculas diferentes nas colunas indicam diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos, de acordo com o teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Letras maiúsculas diferentes nas linhas indicam diferenças estatísticas significativas entre os tempos, de acordo com o teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

(Fonte: Própria autoria)

As medidas de pH obtidas na Tabela 7, mostram que todos os tratamentos exibiram diferenças significativas entre si logo após a produção. Nos tempos 120 e 180 dias, os sorvetes A e B diferiram do sorvete C, podendo perceber que este apresentou menor pH, sendo mais ácido que os outros sorvetes, como era esperado em decorrência da adição do ácido cítrico anidro nessa formulação. Além disso, o controle mostrou diferenças de pH durante os tempos de armazenagem, enquanto os tratamentos B e C, não apresentaram diferenças significativas ao longo do armazenamento.

Silva (2020) produziu sorvetes com potencial prebiótico com extrato hidrossolúvel de quirera de arroz com sabor de maracujá, encontrou valores de pH variando de 2,98 a 3,30, esses valores mais baixos são devido ao fato que estudo empregou em suas formulações a polpa da fruta de maracujá, já no presente trabalho utilizou-se o suco concentrado de maracujá, e os valores de pH foram entre 4,04 a 5,25. Não existem valores padrões de pH determinados pela legislação brasileira para sorvetes (BRASIL, 1995).

### 5.2.5 Determinação do tempo de primeira gota (“first drop”) e taxa de derretimento

Os resultados dos testes de tempo de primeira gota e taxa de derretimento, que mostram a estabilidade dos sorvetes ao longo do tempo de armazenamento, estão apresentados na Tabela 8.

**Tabela 8:** Determinação do tempo de primeira gota (“first drop”) e taxa de derretimento ao longo do tempo de armazenagem dos sorvetes de maracujá produzidos.

		Tempo (Dias)				
Tratamentos		0	30	90	120	180
Primeira gota (min)	A	13,56 ± 0,46 <sup>a,C</sup>	15,65 ± 0,39 <sup>a,B</sup>	16,15 ± 0,14 <sup>a,AB</sup>	16,34 ± 0,17 <sup>a,AB</sup>	16,67 ± 0,22 <sup>a,A</sup>
	B	11,66 ± 0,15 <sup>b,B</sup>	11,71 ± 0,21 <sup>b,B</sup>	12,43 ± 0,35 <sup>b,A</sup>	12,40 ± 0,09 <sup>b,A</sup>	12,79 ± 0,09 <sup>b,A</sup>
	C	11,40 ± 0,36 <sup>b,BC</sup>	11,20 ± 0,15 <sup>b,C</sup>	11,51 ± 0,13 <sup>c,BC</sup>	11,79 ± 0,08 <sup>c,AB</sup>	12,18 ± 0,11 <sup>c,A</sup>
Taxa de derretimento (%/min)	A	0,93 ± 0,03 <sup>b,A</sup>	0,94 ± 0,05 <sup>b,A</sup>	0,97 ± 0,03 <sup>b,A</sup>	0,98 ± 0,03 <sup>b,A</sup>	1,00 ± 0,03 <sup>b,A</sup>
	B	1,06 ± 0,02 <sup>a,C</sup>	1,08 ± 0,03 <sup>a,C</sup>	1,20 ± 0,04 <sup>a,B</sup>	1,20 ± 0,04 <sup>a,AB</sup>	1,30 ± 0,06 <sup>a,A</sup>
	C	1,05 ± 0,02 <sup>a,C</sup>	1,08 ± 0,03 <sup>a,BC</sup>	1,19 ± 0,04 <sup>a,AB</sup>	1,20 ± 0,05 <sup>a,A</sup>	1,31 ± 0,08 <sup>a,A</sup>

\*A = Sorvete com mix comercial de maracujá; B = Sorvete com 100% de substituição do mix comercial de maracujá por nanoemulsão contendo 0,2% de luteína encapsulada e com 50% de redução de açúcar; C = Sorvete com 100% de substituição do mix comercial de maracujá por nanoemulsão contendo 0,2% de luteína encapsulada, com 50% de redução de açúcar e com ácido cítrico anidro. Letras minúsculas diferentes nas colunas indicam diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos, de acordo com o teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Letras maiúsculas diferentes nas linhas indicam diferenças estatísticas significativas entre os tempos, de acordo com o teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

(Fonte: Própria autoria)

A análise da taxa de derretimento e tempo de primeira gota, mostraram que a formulação A (produzida com o mix comercial e sem redução de açúcar) diferenciou-se significativamente das formulações com a nanoemulsão e com 50% de redução de açúcar ao longo dos 180 dias de armazenamento. Quanto ao tempo de primeira gota, o tratamento controle teve um maior tempo necessário para que primeira gota ocorresse, também diferindo dos sorvetes B e C até o dia 30, entretanto entre o período de tempo de 90 a 180 dias, todos os tratamentos apresentaram diferenças entre si para o tempo de primeira gota.

Ainda podemos observar que a diminuição do tempo de primeira gota tem correlação com a diminuição da taxa de derretimento.

As formulações B e C, mostraram maior taxa derretimento, nas amostras retiradas em todos os tempos de armazenagem, certamente devido à redução de açúcar. O açúcar controla a quantidade de cristais de gelo formados nos sorvetes, e quanto mais cristais de gelo, maiores são as taxas de derretimento, o açúcar atua retardando o congelamento dos sorvetes, à medida que se agrega mais açúcar, se diminui a temperatura de congelamento (FARESIN, 2019; SUNG; GOFF, 2010). Quanto maior o tempo de armazenagem dos sorvetes maior é o processo de congelamento e a presença de cristais de gelo, explicando o aumento progressivo da taxa de derretimento ao longo do tempo para os tratamentos com redução de açúcar.

O comportamento de derretimento dos sorvetes se deve principalmente ao derretimento dos cristais de gelo. No entanto, outros fatores estão correlacionados, como as interações lipídicas e a taxa de ar incorporada (GOFF, 2018; GRANGER et al., 2005).

Segundo Sofjan e Hartel (2004) que analisaram os efeitos do *overrun* nas características estruturais e físicas do sorvete, ressaltaram que os sorvetes com valores baixos de *overrun* são ligeiramente menos resistentes ao derretimento, Srinu et al. (2022) também relataram que quanto menor os valores de *overrun* maior será a taxa de derretimento, ou seja, um sorvete com menor porcentagem de ar incorporado derrete mais rápido.

### **5.2.6 Determinação colorimétrica dos sorvetes contendo a luteína encapsulada**

Os sorvetes foram analisados em relação aos parâmetros de cor instrumental durante 180 dias de armazenagem, para detectar a estabilidade da cor gerada pela presença da nanoemulsão com luteína em função do tempo. Os valores estão apresentados na Tabela 9.

**Tabela 9:** Resultados de colorimetria instrumental dos sorvetes de maracujá produzidos, ao longo do tempo de armazenagem.

Tratamentos		Tempo (Dias)				
		0	30	90	120	180
L*	A	83,14 ± 0,45 <sup>a,A</sup>	82,94 ± 0,44 <sup>b,A</sup>	81,82 ± 0,33 <sup>c,A</sup>	81,80 ± 0,88 <sup>b,A</sup>	81,70 ± 0,94 <sup>b,A</sup>
	B	82,93 ± 0,21 <sup>a,B</sup>	83,48 ± 0,20 <sup>ab,AB</sup>	83,62 ± 0,35 <sup>b,AB</sup>	84,25 ± 0,75 <sup>a,A</sup>	84,37 ± 0,57 <sup>a,A</sup>
	C	82,11 ± 0,10 <sup>b,B</sup>	84,39 ± 0,40 <sup>a,A</sup>	84,96 ± 0,46 <sup>a,A</sup>	85,12 ± 0,44 <sup>a,A</sup>	85,16 ± 0,29 <sup>a,A</sup>
a*	A	11,29 ± 0,42 <sup>a,A</sup>	11,47 ± 0,55 <sup>a,A</sup>	11,76 ± 0,21 <sup>a,A</sup>	11,80 ± 0,14 <sup>ab,A</sup>	11,85 ± 0,20 <sup>ab,A</sup>
	B	11,26 ± 0,41 <sup>a,B</sup>	11,57 ± 0,45 <sup>a,AB</sup>	11,76 ± 0,13 <sup>a,AB</sup>	12,11 ± 0,16 <sup>a,A</sup>	12,20 ± 0,13 <sup>a,A</sup>
	C	11,39 ± 0,70 <sup>a,A</sup>	11,15 ± 0,36 <sup>a,A</sup>	11,33 ± 0,31 <sup>a,A</sup>	11,39 ± 0,38 <sup>b,A</sup>	11,51 ± 0,33 <sup>b,A</sup>
b*	A	44,36 ± 0,31 <sup>c,A</sup>	44,89 ± 0,59 <sup>b,A</sup>	45,74 ± 0,89 <sup>b,A</sup>	45,81 ± 0,59 <sup>b,A</sup>	45,84 ± 0,51 <sup>b,A</sup>
	B	55,55 ± 0,31 <sup>b,A</sup>	55,58 ± 1,07 <sup>a,A</sup>	55,23 ± 0,79 <sup>a,A</sup>	54,85 ± 0,39 <sup>a,A</sup>	54,77 ± 0,45 <sup>a,A</sup>
	C	57,20 ± 0,15 <sup>a,A</sup>	54,31 ± 0,59 <sup>a,B</sup>	54,05 ± 0,85 <sup>a,B</sup>	54,25 ± 0,30 <sup>a,B</sup>	54,21 ± 0,74 <sup>a,B</sup>
C*	A	45,78 ± 0,38 <sup>c,A</sup>	46,33 ± 0,58 <sup>b,A</sup>	47,23 ± 0,89 <sup>b,A</sup>	47,31 ± 0,59 <sup>b,A</sup>	47,35 ± 0,51 <sup>b,A</sup>
	B	56,43 ± 0,32 <sup>b,A</sup>	56,21 ± 1,00 <sup>a,A</sup>	55,89 ± 0,79 <sup>a,A</sup>	55,70 ± 0,39 <sup>a,A</sup>	55,69 ± 0,41 <sup>a,A</sup>
	C	58,33 ± 0,03 <sup>a,A</sup>	55,44 ± 0,56 <sup>a,B</sup>	55,23 ± 0,85 <sup>a,B</sup>	55,43 ± 0,31 <sup>a,B</sup>	55,42 ± 0,80 <sup>a,B</sup>
Hue - h°	A	75,72 ± 0,45 <sup>b,A</sup>	75,67 ± 0,69 <sup>b,A</sup>	75,58 ± 0,23 <sup>b,A</sup>	75,56 ± 0,20 <sup>c,A</sup>	75,51 ± 0,26 <sup>c,A</sup>
	B	78,49 ± 0,41 <sup>a,A</sup>	78,11 ± 0,61 <sup>a,AB</sup>	77,86 ± 0,08 <sup>a,B</sup>	77,44 ± 0,16 <sup>b,B</sup>	77,34 ± 0,23 <sup>b,B</sup>
	C	78,73 ± 0,71 <sup>a,A</sup>	78,39 ± 0,42 <sup>a,A</sup>	78,15 ± 0,40 <sup>a,A</sup>	78,14 ± 0,32 <sup>a,A</sup>	78,02 ± 0,18 <sup>a,A</sup>

\*A = Sorvete com mix comercial de maracujá; B = Sorvete com 100% de substituição do mix comercial de maracujá por nanoemulsão contendo 0,2% de luteína encapsulada e com 50% de redução de açúcar; C = Sorvete com 100% de substituição do mix comercial de maracujá por nanoemulsão contendo 0,2% de luteína encapsulada, com 50% de redução de açúcar e com ácido cítrico anidro. Letras minúsculas diferentes nas colunas indicam diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos, de acordo com o teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Letras maiúsculas diferentes nas linhas indicam diferenças estatísticas significativas entre os tempos, de acordo com o teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

(Fonte: Própria autoria)

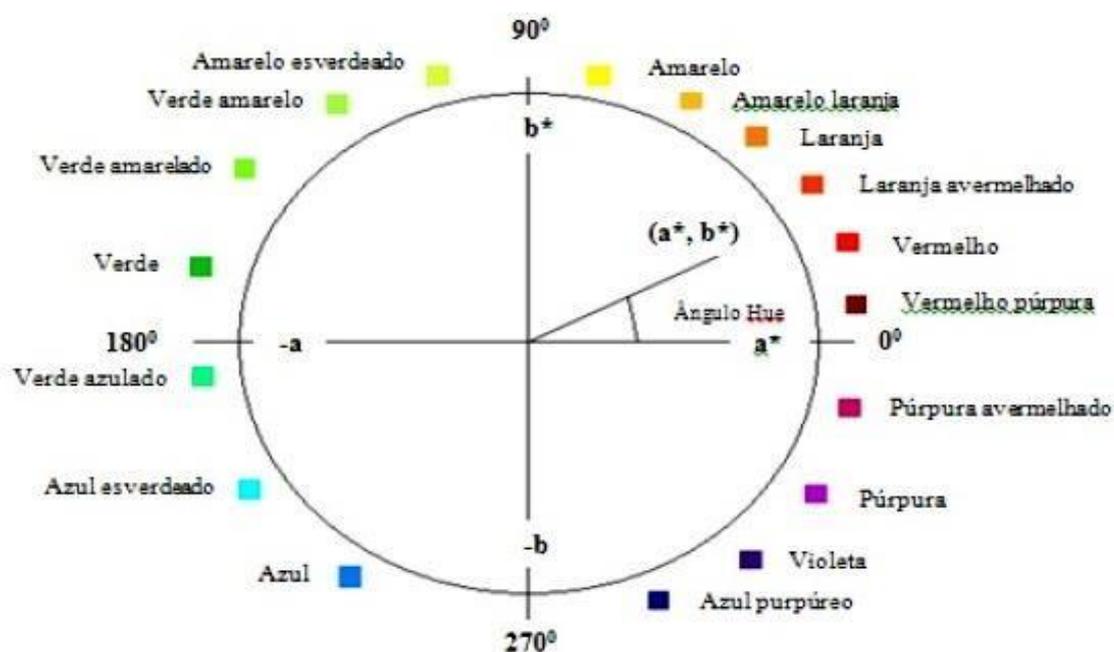
O parâmetro de cor L\* representa a luminosidade das amostras, medindo a quantidade de luz que foi refletida, sendo que 0 indica ausência de luz (cor preta) e 100 indica presença de luz branca (cor branca). Todos os tratamentos apresentaram tendência para a coloração branca com valores entre 81 a 85, exibindo uma intensidade alta e mais clara. Para o tempo 0 a formulação C diferiu das formulações A e B, já no 30º dia de armazenagem a formulação C apresentou diferença apenas para a amostra A. No 90º dia de armazenagem todas as amostras diferiram nesse parâmetro entre si, e nos dias 120 e 180 de armazenagem, o tratamento controle apresentou diferenças significativas em relação aos tratamentos contendo a nanoemulsão. Esses resultados indicam que houve variação na intensidade da cor de todas as amostras durante o período de estocagem para o parâmetro L\*.

Quanto ao parâmetro de cor b\* que, quando positivo, indica a coloração em direção ao amarelo, enquanto que o valor negativo indica percepção do azul, os resultados alcançados para os tratamentos de sorvetes apresentaram resultados positivos entre 44 a 57,

indicando tendência a cor amarelo. Logo após a preparação, todos os sorvetes exibiram diferenças significativas entre si; porém, a partir do 30º dia de armazenagem, os sorvetes contendo nanoemulsão mostraram diferenças significativas quando comparadas à amostra controle. Podemos, entretanto, verificar a estabilidade do parâmetro  $b^*$ , que está relacionado diretamente luteína nanoencapsulada, até o 180º dia de armazenamento.

O parâmetro croma - que é a relação entre os valores de  $a^*$  e  $b^*$ , indicando a tonalidade e manutenção da intensidade da cor das amostras - também apresentou no logo após a produção diferenças significativas entre todas as formulações. Entretanto, após o 30º dia de armazenamento as formulações com a nanoemulsão mostraram diferenças significativas em relação a formulação controle.

**Figura 15:** Diagrama Cielab contendo a sequência de nuances cores e orientação do ângulo Hue.



Fonte: ADRIANO, E.; LEONEL, S.; EVANGELISTA, R. M. Qualidade de fruto de aceroleira Cv. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, p. 544, 2011.

Os valores para o ângulo Hue indicam a tonalidade de cor das amostras, que está ligada à percepção real de cor pelo observador. Quando tal ângulo está na faixa entre 80 e 90º, maior é a percepção de amarelo pelos consumidores. Os sorvetes com a adição da nanoemulsão de luteína mostraram valores mais próximos dessa faixa de amarelo, com ângulos entre 77 e 78º, diferindo significativamente do sorvete controle que manteve o valor

do ângulo Hue em torno de 75° ao longo do período de armazenamento. Tais dados confirmam o êxito do presente trabalho quanto à substituição do mix comercial de corante artificial e aroma visto que os valores de ângulo de Hue dos sorvetes B e C, com apenas 0,2 g nanoemulsão/100 g sorvete nanoemulsão, foram superiores ao tratamento controle para a coloração amarelada.

Em relação aos resultados de ângulo Hue quanto aos tempos de armazenagem, observamos que as formulações mantiveram estáveis até o dia 90, apresentando diferença significativa entre os dias 120 e 180. O sorvete B se manteve estável até o dia 90 de armazenagem, mas nos dias 120 e 180 demonstrou diferenças estatísticas, esses resultados de tempo podem ser devido ao fato da luteína ter perdido uma pequena quantidade ao final da estocagem em comparação aos sorvetes recém-produzidos, como apresentado no item 5.2.1. Portanto, essa degradação pode ter influenciado na tonalidade do sorvete B para a cor instrumental.

### **5.2.7 Análise instrumental de textura**

Um dos principais testes para verificar o comportamento mecânico de alimentos é a *texture profile analysis (TPA)*, ou análise do perfil de textura (FARESIN, 2019; SOUZA, 2011). De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, a textura é *definida como todas as propriedades reológicas e estruturais (geométricas e de superfície) de um alimento, perceptíveis pelos receptores mecânicos, táteis e eventualmente pelos receptores visuais e auditivos (ABNT, 1993).*

Os ensaios de TPA para sorvetes permitem a obtenção de parâmetros mecânicos que são classificados como primários (dureza, elasticidade, coesividade e adesividade) e secundários (gomosidade e mastigabilidade). Os resultados referentes ao comportamento dos sorvetes em cada parâmetro nas análises do perfil de textura ao longo dos 180 dias de armazenamento podem ser visualizados na Tabela 10.

**Tabela 10:** Determinação do perfil de textura dos sorvetes de maracujá produzidos, ao longo do tempo de armazenagem.

	Tratamento	Tempo (Dias)				
		0	30	90	120	180
Dureza (N)	A	787,87 ± 149,55 <sup>b,A</sup>	856,45 ± 39,66 <sup>b,A</sup>	907,48 ± 5,58 <sup>b,A</sup>	918,54 ± 6,72 <sup>b,A</sup>	922,39 ± 7,33 <sup>b,A</sup>
	B	2742,23 ± 98,82 <sup>a,A</sup>	2703,18 ± 86,08 <sup>a,A</sup>	2664,30 ± 33,31 <sup>a,A</sup>	2674,28 ± 33,94 <sup>a,A</sup>	2679,35 ± 36,35 <sup>a,A</sup>
	C	2642,14 ± 44,67 <sup>a,A</sup>	2756,60 ± 95,08 <sup>a,A</sup>	2812,92 ± 100,83 <sup>a,A</sup>	2815,81 ± 93,96 <sup>a,A</sup>	2820,25 ± 94,37 <sup>a,A</sup>
Elasticidade (mm)	A	0,726 ± 0,08 <sup>a,A</sup>	0,830 ± 0,03 <sup>a,A</sup>	0,860 ± 0,10 <sup>a,A</sup>	0,860 ± 0,03 <sup>a,A</sup>	0,870 ± 0,01 <sup>a,A</sup>
	B	0,642 ± 0,06 <sup>a,A</sup>	0,754 ± 0,13 <sup>a,A</sup>	0,802 ± 0,02 <sup>a,A</sup>	0,802 ± 0,01 <sup>ab,A</sup>	0,807 ± 0,01 <sup>b,A</sup>
	C	0,631 ± 0,07 <sup>a,B</sup>	0,695 ± 0,05 <sup>a,AB</sup>	0,779 ± 0,04 <sup>a,A</sup>	0,779 ± 0,04 <sup>b,A</sup>	0,786 ± 0,03 <sup>b,A</sup>
Gomosidade (N)	A	615,20 ± 87,60 <sup>a,A</sup>	563,28 ± 20,82 <sup>a,A</sup>	547,65 ± 37,48 <sup>a,A</sup>	544,30 ± 27,56 <sup>a,A</sup>	532,12 ± 25,18 <sup>ab,A</sup>
	B	472,23 ± 26,85 <sup>b,A</sup>	511,15 ± 44,84 <sup>ab,AB</sup>	535,70 ± 24,90 <sup>a,AB</sup>	538,43 ± 15,49 <sup>a,AB</sup>	550,09 ± 14,74 <sup>a,B</sup>
	C	426,36 ± 36,53 <sup>b,A</sup>	443,98 ± 31,52 <sup>b,A</sup>	465,93 ± 51,78 <sup>a,A</sup>	474,76 ± 28,19 <sup>b,A</sup>	479,94 ± 22,29 <sup>b,A</sup>
Adesividade (J)	A	-4,14 ± 1,20 <sup>b,A</sup>	-3,59 ± 1,01 <sup>a,A</sup>	-3,15 ± 0,65 <sup>a,A</sup>	-3,05 ± 0,64 <sup>a,A</sup>	-3,03 ± 0,63 <sup>a,A</sup>
	B	-1,15 ± 0,14 <sup>a,A</sup>	-2,88 ± 0,32 <sup>a,B</sup>	-3,06 ± 0,27 <sup>a,B</sup>	-3,18 ± 0,16 <sup>a,B</sup>	-3,19 ± 0,16 <sup>a,B</sup>
	C	-1,18 ± 0,11 <sup>a,A</sup>	-2,87 ± 0,89 <sup>a,B</sup>	-3,05 ± 0,33 <sup>a,B</sup>	-3,14 ± 0,08 <sup>a,B</sup>	-3,16 ± 0,07 <sup>a,B</sup>
Coesividade (adimensional)	A	0,07 ± 0,01 <sup>b,A</sup>	0,06 ± 0,01 <sup>b,AB</sup>	0,06 ± 0,01 <sup>b,AB</sup>	0,05 ± 0,01 <sup>b,B</sup>	0,05 ± 0,01 <sup>b,B</sup>
	B	0,11 ± 0,03 <sup>ab,A</sup>	0,10 ± 0,03 <sup>ab,A</sup>	0,09 ± 0,03 <sup>ab,A</sup>	0,09 ± 0,02 <sup>a,A</sup>	0,08 ± 0,02 <sup>a,A</sup>
	C	0,13 ± 0,02 <sup>a,A</sup>	0,12 ± 0,02 <sup>a,A</sup>	0,11 ± 0,01 <sup>a,A</sup>	0,11 ± 0,01 <sup>a,A</sup>	0,10 ± 0,01 <sup>a,A</sup>
Mastigabilidade (J)	A	359,83 ± 55,10 <sup>a,A</sup>	388,78 ± 23,21 <sup>a,A</sup>	406,84 ± 16,02 <sup>a,A</sup>	415,86 ± 15,03 <sup>a,A</sup>	424,21 ± 12,10 <sup>a,A</sup>
	B	222,41 ± 78,91 <sup>a,A</sup>	227,53 ± 35,09 <sup>b,A</sup>	239,98 ± 15,05 <sup>b,A</sup>	188,69 ± 10,39 <sup>b,A</sup>	183,89 ± 9,38 <sup>b,A</sup>
	C	219,20 ± 29,45 <sup>a,A</sup>	219,30 ± 9,79 <sup>b,A</sup>	201,50 ± 41,89 <sup>b,A</sup>	249,64 ± 40,62 <sup>b,A</sup>	254,29 ± 40,61 <sup>c,A</sup>

\*A = Sorvete com mix comercial de maracujá; B = Sorvete com 100% de substituição do mix comercial de maracujá por nanoemulsão contendo 0,2% de luteína encapsulada e com 50% de redução de açúcar; C = Sorvete com 100% de substituição do mix comercial de maracujá por nanoemulsão contendo 0,2% de luteína encapsulada, com 50% de redução de açúcar e com ácido cítrico anidro. Letras minúsculas diferentes nas colunas indicam diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos, de acordo com o teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Letras maiúsculas diferentes nas linhas indicam diferenças estatísticas significativas entre os tempos, de acordo com o teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

(Fonte: Própria autoria)

O parâmetro dureza representa a força necessária para provocar uma determinada deformação, e por meio da interferência da probe na integridade do sorvete os valores para esse parâmetro são obtidos (SOFJAN; HARTEL, 2004). Os dados de dureza obtidos para os sorvetes de maracujá mostraram que o tratamento controle diferiu significativamente dos tratamentos com a nanoemulsão e redução de 50% de açúcar. Os tratamentos B e C apresentaram valores superiores de dureza, o que pode ser devido à menor quantidade de açúcar, já que esse fornece a maioria dos sólidos do sorvete, bem como o corpo e a textura. Conforme dito anteriormente nessa dissertação, o açúcar controla a formação de cristais de gelo e a cristalização da lactose, que deixam o sorvete mais duro. De acordo Muse e Hartel (2004), o tamanho dos cristais de gelo também tem relação direta com a dureza. Quanto ao

valor dos parâmetros ao longo do tempo de armazenagem, nenhum dos sorvetes exibiu diferenças significativas estatisticamente entre si, apesar de observamos um certo aumento nos valores ao longo do tempo de armazenagem, que tem relação com o processo de congelamento, que aumenta progressivamente o surgimento de cristais de gelo.

Outro aspecto que pode ter influência na dureza é a quantidade de ar incorporada no sorvete. Segundo Boyanova et al. (2022), a dureza é inversamente proporcional ao *overrun*, ou seja, sorvetes com baixas porcentagens de ar incorporado tem maior dureza, o que está coerente com os dados expostos no presente trabalho.

Por sua vez, a elasticidade é um parâmetro que indica o quanto um material deformado volta à condição não-deformada, depois que a força de deformação é removida. Os resultados obtidos para elasticidade mostraram que não houve diferenças significativas entre as amostras de sorvete até o dia 90 de armazenagem, apresentando diferença entre a formulação A e C no dia 120, e no dia 180 o controle diferiu das formulações B e C. Com relação aos tempos de armazenamento, ocorreu uma variação apenas no primeiro dia para o tratamento C, a partir do dia 30 não houve mais diferenças estatísticas entre os tempos para os três tratamentos. Esses valores podem ser considerados baixos para esse parâmetro, típico de sorvetes. Valores de elasticidade baixos referem-se a produtos não elásticos, como é o caso dos sorvetes (PONS; FISZMAN, 1996).

Quanto à gomosidade, esse parâmetro representa a energia necessária para desintegrar uma porção de sorvete até que esteja pronta para a deglutição. Os dados desse parâmetro revelaram diferença significativa entre a formulação controle e os sorvetes B e C. Logo após a produção, o controle teve valores maiores, devido a maior concentração de açúcar que deixa os sorvetes com menor dureza e mais gomoso (BOYANOVA et al., 2022), porém depois do 90º dia de armazenagem, em que o processo de congelamento dos sorvetes está mais avançado, os tratamentos não mostraram diferenças significativas entre si.

Por sua vez, o parâmetro adesividade é definido como a energia requerida para remover as forças atrativas entre a superfície do alimento com as quais este entra em contato, ou seja, é a energia que a amostra exerce sobre a probe “impedindo” que ela volte à posição original (FRIEDMAN et al., 1963; SZCZESNIAK, et al., 1963). Os resultados mostraram diferenças significativas para o controle em comparação aos demais tratamentos para amostras recém-produzidas. No entanto, após o dia 30, não houve diferença estatísticas entre os tratamentos, mantendo uma estabilidade para adesividade até o final do armazenamento.

Outro parâmetro que é obtido pelos ensaios de análise de perfil de textura é a coesividade, que é a extensão a que um material pode ser deformado antes da ruptura, mostrando a tendência da estrutura do sorvete em manter-se coesa. (FRIEDMAN et al., 1963; SZCZESNIAK, et al., 1963). Os dados para esse parâmetro mostraram diferenças entre os sorvetes A e C entre os dias 1 ao 90; entre os dias 120 e 180 de armazenamento, o sorvete A diferiu dos sorvetes B e C com a nanoemulsão e sem redução de açúcar. Quanto ao tempo de armazenamento, apenas a amostra controle apresentou diferença em relação aos tempos, com diferença significativa entre o tempo 0 e 120. Glicerina et al. (2016) destacam que resultados menores de coesividade realçam a presença de uma estrutura com interações mais fracas entre as partículas. De acordo com o estudo dos autores, os valores de coesividade do presente trabalho, podem ser considerados baixos para todos os tratamentos, mostrando que não houve uma grande extensão do sorvete para ser deformado antes da ruptura.

O último parâmetro obtido a partir dos ensaios de TPA é a mastigabilidade, que é a representação da energia necessária para mastigar um alimento sólido até a deglutição. O sorvete apresenta baixa energia necessária empregada na mastigação para sua deglutição (RAMOS, 2016). Assim como na literatura, os tratamentos exibiram baixos valores em todos os tempos, no primeiro dia de análise não apresentaram diferenças significativas entre si, porém do dia 30 ao 120, os sorvetes B e C diferiram do sorvete controle, e no último dia de armazenamento todos os tratamentos diferiram entre si para a mastigabilidade. Os dados mostraram que não houve variações estatísticas significativas entre os tempos.

### **5.3 Determinação da capacidade antioxidante dos sorvetes**

Os resultados do conteúdo de fenólicos totais dos sorvetes, os quais foram acompanhados durante 180 dias de armazenamento estão apresentados na Tabela 11. Mostrando também a porcentagem de compostos fenólicos preservados nos sorvetes durante os tempos.

### 5.3.1 Determinação do conteúdo de fenólicos totais

**Tabela 11:** Determinação do conteúdo de fenólicos totais nos sorvetes de maracujá produzidos, ao longo do tempo de armazenagem em concentração de EAG mg/100g da amostra.

Tratamentos	Tempo (Dias)				
	0	30	90	120	180
Branco	14,21 ± 0,40 <sup>b,A</sup>	13,04 ± 0,27 <sup>b,B</sup>	11,34 ± 0,28 <sup>b,C</sup>	11,20 ± 0,51 <sup>b,C</sup>	10,93 ± 0,30 <sup>b,C</sup>
B	17,58 ± 0,67 <sup>a,A</sup>	17,18 ± 0,94 <sup>a,A</sup>	16,78 ± 1,01 <sup>a,A</sup>	16,77 ± 1,16 <sup>a,A</sup>	16,61 ± 1,14 <sup>a,A</sup>
C	17,20 ± 0,46 <sup>a,A</sup>	17,04 ± 0,77 <sup>a,A</sup>	16,83 ± 0,56 <sup>a,A</sup>	16,67 ± 0,66 <sup>a,A</sup>	16,57 ± 0,65 <sup>a,A</sup>
Fenólicos preservados Branco (%)	-	91,7	79,8	78,8	76,9
Fenólicos preservados B (%)	-	97,7	95,4	95,3	94,5
Fenólicos preservados C (%)	-	99,1	97,8	96,9	96,3

\*Branco = Sorvete “branco”, contendo somente suco de maracujá; B = Sorvete com 100% de substituição do mix comercial de maracujá por nanoemulsão contendo 0,2% de luteína encapsulada e com 50% de redução de açúcar; C = Sorvete com 100% de substituição do mix comercial de maracujá por nanoemulsão contendo 0,2% de luteína encapsulada, com 50% de redução de açúcar e com ácido cítrico anidro. Letras minúsculas diferentes nas colunas indicam diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos, de acordo com o teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Letras maiúsculas diferentes nas linhas indicam diferenças estatísticas significativas entre os tempos, de acordo com o teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

(Fonte: Própria autoria)

Na análise de fenólicos totais, a curva padrão é feita com um fenólico conhecido, normalmente o ácido gálico. Por esta razão, o resultado é expresso em ácido gálico equivalente (EAG) (SILVA et al., 2016). Os resultados da Tabela 11 mostram que os sorvetes B e C apresentaram valores maiores de EAG mg/100g da amostra, diferindo significativamente do tratamento branco. É importante notar que no caso dessa análise o sorvete considerado “branco” foi produzido sem o mix comercial, mas com suco de maracujá, que é a fonte dos compostos fenólicos nos sorvetes produzidos. Pode-se observar pelos resultados que a incorporação de luteína nanoencapsulada contribuiu para a preservação dos fenólicos totais nos sorvetes.

Tal fato pode ser comprovado ao se notar que os sorvetes B e C não exibiram diferenças estatísticas entre os tempos de armazenagem. As amostras recém-produzidas continham 17,20 e 17,48 EAG mg/100g da amostra e no último dia de armazenamento 16,61 e 16,57 EAG mg/100g da amostra, respectivamente. Já o sorvete branco apresentou diferenças significativas entre os tempos, iniciando no tempo 0 com 14,21 EAG mg/100g da amostra e terminando no tempo 180 com 10,93 EAG mg/100g da amostra, com variações até o tempo 90, estabilizando em relação aos fenólicos somente no tempo 120. Tais dados

revelam que a luteína presente na nanoemulsão provavelmente contribuiu com a proteção dos fenólicos durante os 180 dias de armazenamento.

Akca e Akpinar (2021) produziram 3 sorvetes, um com óleo da semente de uva, um com óleo da semente de gergelim e um com óleo da semente de romã, encontraram valores superiores aos sorvetes do presente experimento para fenólicos nas 3 formulações, mas vale ressaltar que os pesquisadores utilizaram 1% de cada óleo em cada sorvete, e utilizamos 0,2% da nanoemulsão de luteína em cada tratamento, os valores encontrados, também podem ser devido ao fato que a luteína não apresenta altas quantidades de compostos fenólicos e os valores presentes podem ser atribuídos ao suco de maracujá.

### 5.3.2 Determinação da capacidade redutora do ferro (FRAP)

Os dados da determinação de FRAP, que é a capacidade redutora do ferro, foi verificada ao longo de 180 dias de armazenamento dos sorvetes e podem ser visualizados na Tabela 12. Apresentando também a porcentagem de atividade antioxidante preservada nos sorvetes durante os períodos de tempos, pelo método FRAP.

**Tabela 12:** Determinação da capacidade redutora do ferro (FRAP) nos sorvetes de maracujá produzidos, ao longo do tempo de armazenagem em  $\mu\text{Mol Trolox Equivalente/g}$  de amostra.

Tratamentos	Tempo (Dias)				
	0	30	90	120	180
Branco	0,1154 $\pm$ 0,004 <sup>b,A</sup>	0,1099 $\pm$ 0,004 <sup>b,A</sup>	0,1002 $\pm$ 0,006 <sup>b,B</sup>	0,0964 $\pm$ 0,005 <sup>b,BC</sup>	0,0931 $\pm$ 0,005 <sup>b,C</sup>
B	0,1926 $\pm$ 0,015 <sup>a,A</sup>	0,1924 $\pm$ 0,016 <sup>a,A</sup>	0,1837 $\pm$ 0,013 <sup>a,A</sup>	0,1812 $\pm$ 0,013 <sup>a,A</sup>	0,1786 $\pm$ 0,010 <sup>a,A</sup>
C	0,2004 $\pm$ 0,010 <sup>a,A</sup>	0,1938 $\pm$ 0,014 <sup>a,AB</sup>	0,1832 $\pm$ 0,011 <sup>a,BC</sup>	0,1792 $\pm$ 0,012 <sup>a,BC</sup>	0,1783 $\pm$ 0,010 <sup>a,C</sup>
% Preservada					
Branco	-	95,2	86,8	83,53	80,6
% Preservada B	-	99,8	95,4	94,1	92,7
% Preservada C	-	96,7	91,5	89,4	88,9

\*Branco = Sorvete sem mix comercial de maracujá e sem a nanoemulsão contendo luteína encapsulada; B = Sorvete com 100% de substituição do mix comercial de maracujá por nanoemulsão contendo 0,2% de luteína encapsulada e com 50% de redução de açúcar; C = Sorvete com 100% de substituição do mix comercial de maracujá por nanoemulsão contendo 0,2% de luteína encapsulada, com 50% de redução de açúcar e com ácido cítrico anidro. Letras minúsculas diferentes nas colunas indicam diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos, de acordo com o teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Letras maiúsculas diferentes nas linhas indicam diferenças estatísticas significativas entre os tempos, de acordo com o teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

(Fonte: Própria autoria)

O método FRAP (*Ferric Reducing Antioxidant Power*) baseia-se na medida direta da capacidade dos agentes antioxidantes em reduzirem os íons de ferro férrico de Fe<sup>3+</sup> em Fe<sup>2+</sup>. Essa capacidade é monitorada pela formação do complexo Fe<sup>2+</sup>/tripiridiltriazina (TPTZ) (JIN et al., 2018).

Conforme pode ser observado a partir da Tabela 12, os sorvetes com 0,2% da nanoemulsão contendo luteína encapsulada apresentaram diferenças estatísticas em relação ao sorvete branco durante todos os tempos de estocagem, constatando um ligeiro aumento na capacidade antioxidante pela presença da nanoemulsão nos sorvetes. Além disso, pode-se verificar que os tratamentos com a nanoemulsão alcançaram porcentagens maiores de preservação da atividade antioxidante no último tempo de armazenamento, 92,7% e 88,9% respectivamente, quando comparados com o sorvete branco que apresentou 80,6% de preservação no tempo 180. Os tempos das formulações A e C mostram variações na capacidade de redução dos íons de ferro férrico a partir do tempo 90 de armazenagem, a qual foi reduzida progressivamente até o último tempo de avaliação, e o tratamento B ao decorrer do tempo de estocagem não apresentou alterações estatísticas significativas.

Na literatura, Rizk et al., (2014) desenvolveram sorvetes enriquecidos com carotenoides extraídos das cascas de tomates. Os autores utilizaram concentrações entre 1 a 5% de carotenoides, e mostram valores de FRAP superiores aos do presente trabalho. Porém, estudos mencionam que a presença de antioxidantes depende de fatores como a composição química da matéria-prima, tecnologias de processamento e pelos aditivos utilizados no processo de produção (AKALIN; BAYRAM; ANLI, 2017; KAHOUN; ŘEZKOVÁ; KRÁLOVSKÝ, 2017).

### **5.3.3 Determinação da capacidade de sequestro do radical ABTS**

A Tabela 13 apresenta os resultados do comportamento da capacidade de sequestro do radical ABTS nos sorvetes, ao longo de 180 dias de armazenamento. Mostrando também a porcentagem de atividade antioxidante preservada nos sorvetes durante os tempos, pelo método ABTS.

**Tabela 13:** Determinação da capacidade de sequestro do radical ABTS nos sorvetes de maracujá produzidos, ao longo do tempo de armazenagem em  $\mu\text{Mol Trolox Equivalente/g}$  de amostra.

Tratamentos	Tempo (Dias)				
	0	30	90	120	180
Branco	6,20 $\pm$ 0,21 <sup>b,A</sup>	5,93 $\pm$ 0,37 <sup>b,AB</sup>	5,56 $\pm$ 0,59 <sup>b,BC</sup>	5,32 $\pm$ 0,56 <sup>b,C</sup>	5,04 $\pm$ 0,63 <sup>b,C</sup>
B	9,33 $\pm$ 0,27 <sup>a,A</sup>	9,12 $\pm$ 0,33 <sup>a,AB</sup>	8,81 $\pm$ 0,27 <sup>a,BC</sup>	8,64 $\pm$ 0,29 <sup>a,C</sup>	8,50 $\pm$ 0,27 <sup>a,C</sup>
C	9,47 $\pm$ 0,26 <sup>a,A</sup>	9,01 $\pm$ 0,41 <sup>a,AB</sup>	8,61 $\pm$ 0,37 <sup>a,BC</sup>	8,51 $\pm$ 0,37 <sup>a,C</sup>	8,40 $\pm$ 0,39 <sup>a,C</sup>
% Preservada Branco	-	95,6	89,7	85,8	81,2
% Preservada B	-	97,7	94,4	92,6	91,1
% Preservada C	-	95,1	91,1	89,9	88,7

\*Branco = Sorvete sem mix comercial de maracujá e sem a nanoemulsão contendo luteína encapsulada; B = Sorvete com 100% de substituição do mix comercial de maracujá por nanoemulsão contendo 0,2% de luteína encapsulada e com 50% de redução de açúcar; C = Sorvete com 100% de substituição do mix comercial de maracujá por nanoemulsão contendo 0,2% de luteína encapsulada, com 50% de redução de açúcar e com ácido cítrico anidro. Letras minúsculas diferentes nas colunas indicam diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos, de acordo com o teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Letras maiúsculas diferentes nas linhas indicam diferenças estatísticas significativas entre os tempos, de acordo com o teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

(Fonte: Própria autoria)

O método de sequestro do radical ABTS+ (2,2'-azinobis-3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico), consiste em monitorar o decaimento do cátion-radical ABTS produzido pela oxidação do radical ABTS $\bullet$ + por meio da perda de um elétron pelo átomo de nitrogênio, sendo capturado tanto por antioxidantes de caráter hidrofílico quanto lipofílico (RUFINO et al., 2007).

Conseguimos observar na Tabela 13 que as formulações contendo a nanoemulsão apresentaram diferenças significativas sobre a formulação branco em todos os dias de armazenagem. Os dados mostram que a adição de luteína foi responsável pelo aumento da capacidade antioxidante em relação ao radical ABTS+.

O método ABTS forneceu valores de atividade antioxidante superiores aos encontrados por Amarante et al. (2020), que avaliaram a estabilidade da atividade antioxidante de sorvetes adicionados de C-ficocianina após a digestão *in vitro*. Os tratamentos com a luteína nanoencapsulada tiveram resultados mais altos, quando comparados com o tratamento com adição C-ficocianina antes da digestão *in vitro*, que exibiu 2,01  $\mu\text{Mol TE/g}$  do sorvete.

Vários fatores podem influenciar a capacidade antioxidante dos alimentos, Rockenbach et al. (2008) relataram que a estabilidade durante o processamento dos

alimentos, propriedades coloidais dos substratos, localização dos antioxidantes, desenvolvimento dos radicais e sua duração, estão relacionados com a capacidade antioxidante. Dito isso, os resultados pelo sequestro do radical ABTS mostrados, indicam que a nanoemulsão de luteína pode ser utilizada como um ingrediente em alimentos com potencial funcional, para agregar aos mesmos compostos com ação antioxidante.

#### 5.4 Ensaios de digestão *in vitro* estática em condições adaptadas a consumidores seniores

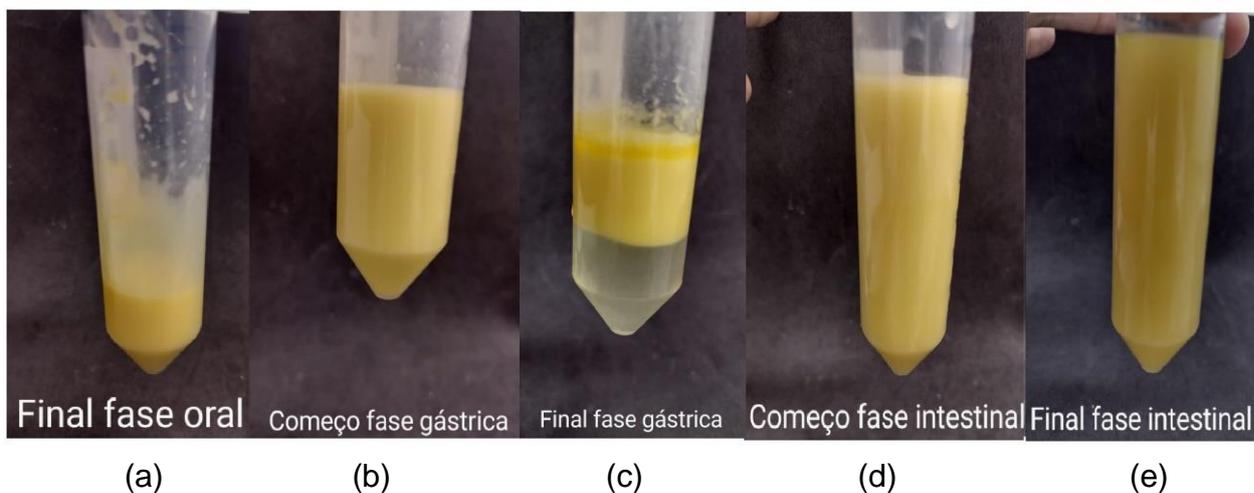
Nesse ensaio, a concentração de luteína foi avaliada nos sorvetes em três momentos: antes da digestão *in vitro*, ao final da fase gástrica (simulando a luteína que foi passa da fase gástrica e pode ser entregue ao intestino delgado), e no final da fase intestinal (simulando a luteína que estaria bioacessível para a absorção pelo organismo de consumidores seniores). A Tabela 14 apresenta os resultados da quantificação da luteína encapsulada no extrato dos sorvetes e nas frações digeridas, na fase gástrica e fase intestinal nos sorvetes B e C.

**Tabela 14:** Resultados da quantificação da luteína encapsulada nos extratos dos sorvetes e nas frações digeridas em concentração de mg de luteína/100g de sorvete.

Tratamentos	Concentração luteína (mg luteína/ 100 g sorvete)		
	Sorvete	Final da fase gástrica	Final da fase intestinal
B	1,83 ± 0,05 <sup>a,A</sup>	1,47 ± 0,10 <sup>a,B</sup>	0,86 ± 0,01 <sup>a,C</sup>
C	1,92 ± 0,09 <sup>a,A</sup>	1,51 ± 0,06 <sup>a,B</sup>	0,87 ± 0,03 <sup>a,C</sup>

\*B = Sorvete com 100% de substituição do mix comercial de maracujá por nanoemulsão contendo 0,2% de luteína encapsulada e com 50% de redução de açúcar; C = Sorvete com 100% de substituição do mix comercial de maracujá por nanoemulsão contendo 0,2% de luteína encapsulada, com 50% de redução de açúcar e com ácido cítrico anidro. Letras minúsculas diferentes nas colunas indicam diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos, de acordo com o teste de Tukey (p<0,05). Letras maiúsculas diferentes nas linhas indicam diferenças estatísticas significativas entre o extrato e as frações digeridas, de acordo com o teste de Tukey (p<0,05).

**Figura 12:** Aspecto visual da digesta do sorvete de maracujá incorporado com nanoemulsão de luteína encapsulada em diferentes etapas da digestão *in vitro*: (a) final da fase oral, (b) começo da fase gástrica, (c) final da fase gástrica, (d) começo da fase intestinal, e em (e) final da fase intestinal.



(Fonte: Própria autoria)

De acordo com os dados expostos, as formulações apresentaram maior concentração de luteína na fase gástrica do que na fase na intestinal. Tal fato está relacionado com as diferentes condições de pH e ação enzimática ao longo do trato gastrointestinal, que levam à degradação dessa xantofila, por ser sensível e susceptível à oxidação em pH baixos. De acordo com a literatura, os carotenoides sofrem a protonação, que é a adição de prótons nos átomos de carbono dos sistemas conjugados em ambientes ácidos, resultando em uma isomerização desses compostos e degradação acelerada (BOON et al., 2010; DAVIDOV-PARDO et al., 2016; MORTENSEN; SKIBSTED, 2000).

Entretanto, os resultados dos ensaios de digestão *in vitro* para os sorvetes enriquecidos com a nanoemulsão de luteína indicaram que uma quantidade significativa de luteína ainda estava presente ao final da fase gástrica e também da intestinal. Aproximadamente 80% de luteína no final da fase gástrica e 47% no final da fase intestinal para os dois tratamentos, valores próximos a formulação de bala macia com 20% de emulsão carregada de luteína de Pan et al. (2022), que encontraram 34% da concentração de luteína após o fim da etapa intestinal.

Toragall et al. (2021) relataram que a solubilidade aquosa da luteína encapsulada com nanoemulsão de ácido oleico e linoleico foi 72,6% maior do que a luteína livre. A nanoemulsão submetida à digestão *in vitro* levou a um aumento de 87,4% na bioacessibilidade do que a luteína não-encapsulada. A biodisponibilidade *in vivo* da luteína

também apresentou resultados melhores do que a luteína não-encapsulada e o padrão de distribuição tecidual da nanoemulsão de luteína mostrou maior acúmulo de luteína no fígado e no tecido ocular em comparação com luteína livre, dados que comprovam a eficiência da nanoemulsão. No presente experimento, quando comparado com a quantidade inicial de luteína nos sorvetes com a adição da nanoemulsão, os resultados mostram que há cerca de 47% de luteína na forma bioacessível para consumidores seniores ao final da fase intestinal, em ambos os sorvetes, resultados que podem ser considerados bastante satisfatórios.

## 5.5 Avaliação sensorial dos sorvetes

As médias das notas dos tratamentos de sorvetes, foram obtidas pela análise sensorial pelo teste de aceitação através da escala hedônica de 9 pontos, sendo a nota 0 “desgostei extremamente” e a nota 9 “gostei extremamente”. Os resultados da ANOVA ao nível de significância de 5% para aceitação dos sorvetes em relação aos atributos de cor, aroma, sabor, textura e impressão global podem ser visualizadas na Tabela 15. e Figura 13.

### 5.5.1 Teste de aceitação

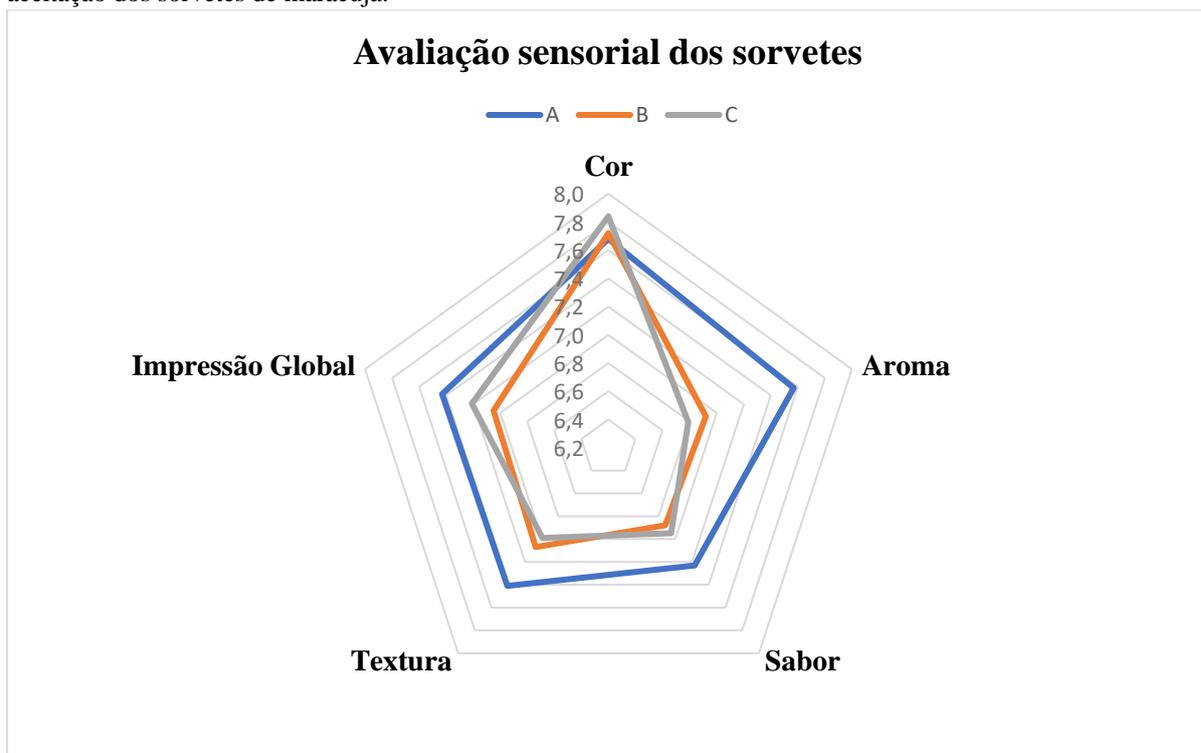
**Tabela 15:** Notas médias para os atributos avaliados pelos panelistas no teste de aceitação dos sorvetes de maracujá.

Tratamentos	Cor	Aroma	Sabor	Textura	Impressão Global
A	7,68 ± 1,34 <sup>a</sup>	7,57 ± 1,44 <sup>a</sup>	7,23 ± 1,74 <sup>a</sup>	7,41 ± 1,67 <sup>a</sup>	7,43 ± 1,44 <sup>a</sup>
B	7,72 ± 1,20 <sup>a</sup>	6,92 ± 1,31 <sup>b</sup>	6,88 ± 1,40 <sup>a</sup>	7,07 ± 1,32 <sup>a</sup>	7,05 ± 1,10 <sup>a</sup>
C	7,84 ± 1,15 <sup>a</sup>	6,79 ± 1,27 <sup>b</sup>	6,95 ± 1,49 <sup>a</sup>	6,99 ± 1,53 <sup>a</sup>	7,21 ± 1,18 <sup>a</sup>

\*A = Sorvete com mix comercial de maracujá; B = Sorvete nanoemulsão contendo 0,2% de luteína encapsulada e com 50% de redução de açúcar; C = Sorvete com nanoemulsão contendo 0,2% de luteína encapsulada, com 50% de redução de açúcar e com ácido cítrico anidro. Letras minúsculas diferentes nas colunas indicam diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos, de acordo com o teste de Tukey (p<0,05).

(Fonte: Própria autoria)

**Figura 13:** Gráfico de radar das notas médias para os atributos avaliados pelos panelistas no teste de aceitação dos sorvetes de maracujá.



(Fonte: Própria autoria)

De forma geral, não houve diferença estatística significativa nas notas médias dos atributos de cor, sabor e textura entre os sorvetes. Tais notas foram muito próximas ou superiores a 7, no intervalo de “gostei moderadamente” a “gostei muito”. É importante ressaltar que para o atributo de cor, que era crítico já que o corante artificial foi totalmente substituído pela luteína, mostrou que não houve diferenças significativas. Ou seja, ocorreu a mesma aceitação pelos provadores entre as três formulações, com as médias das notas superiores a 7, entre “gostei moderadamente” e “gostei muito”. Tais resultados reafirmam os dados que foram obtidos pela determinação de cor instrumental, que foi o êxito do presente trabalho quanto à substituição do corante artificial presente no mix comercial.

Por sua vez, o atributo aroma foi o mais sensível à reformulação do sorvete para o uso da luteína como corante. Para que isso fosse possível, foi escolhido o uso de suco concentrado de maracujá, com o objetivo de conferir ao aroma característico do fruto ao sorvete. No entanto, os sorvetes contendo luteína obtiveram notas médias inferiores a 7, diferindo significativamente do tratamento controle, que teve nota média superior a 7. Tal resultados indica que os panelistas entendem que o aroma presente no mix comercial conseguiu representar melhor o aroma característico de maracujá nos sorvetes. Tal fato pode

estar relacionado com a percepção que o consumo usual de produtos sabor maracujá, normalmente com aroma mais forte que a própria fruta, influenciou na avaliação dos panelistas.

É relevante também o resultado obtido no quesito sabor dos sorvetes. Não houve diferenças significativas estatísticas para os três tratamentos, ou seja, houve o mesmo grau de aceitação pelos provadores, mesmo com a redução de 50% na quantidade de açúcar. Os resultados de textura também não diferiram significativamente para os sorvetes, exibindo a mesma aceitação entre as três formulações, com as médias das notas próximas a 7, mostrando que os provadores “gostaram moderadamente”. Tais resultados mostram que os dados encontrados na análise do perfil de textura (TPA), evidenciaram diferenças significativas do tratamento controle em relação à dureza não foram decisivos para que a preferência dos panelistas fosse afetada.

Por fim, para o atributo de impressão global, observa-se o mesmo comportamento para as três formulações, não diferindo entre si ao nível de 5% de significância, com médias das notas entre 7 e 8 dentro da escala hedônica correspondendo de “gostei moderadamente” ao “gostei muito”. Tais resultados são bastante promissores, pois mostram real viabilidade e uma boa aceitação dos sorvetes contendo a nanoemulsão de luteína e redução de 50% de açúcar do ponto de vista sensorial.

### **5.5.2 Teste sensorial CATA (*Check-all-that-apply*)**

A frequência dos termos descritos pelos provadores de cada atributo dos sorvetes está apresentada na Tabela 16 e Figura 14. O método CATA é uma ferramenta que permite aos consumidores escolher todos os atributos potenciais de uma lista para descrever o produto, com propósito de reunir informações sobre as características dos sorvetes em relação à percepção das propriedades sensoriais (DOOLEY et al., 2010).

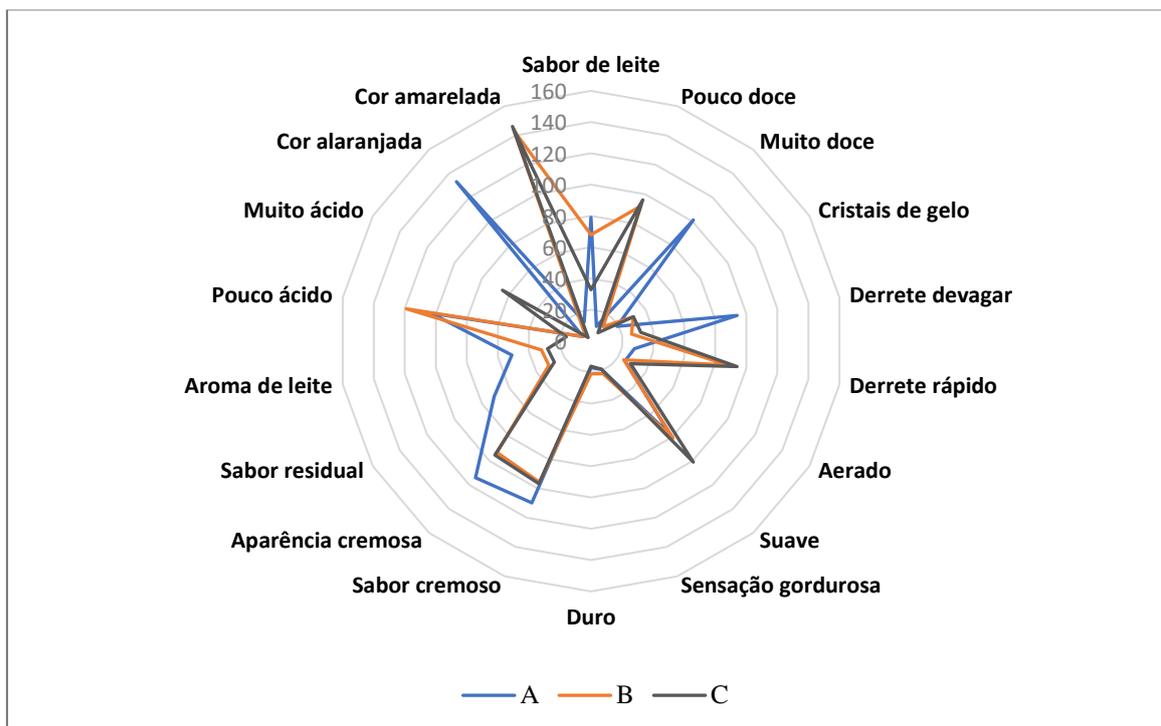
**Tabela 16:** Frequência dos termos descritivos no questionário CATA dos tratamentos de sorvete pelos provadores.

<b>Atributos</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
Sabor de leite	79	68	33
Pouco doce	10	92	96
Muito doce	101	12	7
Cristais de gelo	19	31	31
Derretimento lento	94	26	32
Derretimento rápido	28	88	94
Aerado	25	24	29
Suave	78	81	101
Sensação gordurosa	19	22	19
Duro	17	21	16
Sabor cremoso	110	96	97
Aparência cremosa	114	93	95
Sabor residual	71	31	27
Aroma de leite	51	32	28
Pouco ácido	103	119	16
Muito ácido	6	6	65
Cor alaranjada	133	6	3
Cor amarelada	13	143	146

\*A = Sorvete com mix comercial de maracujá; B = Sorvete com nanoemulsão contendo 0,2% de luteína encapsulada e com 50% de redução de açúcar; C = Sorvete nanoemulsão contendo 0,2% de luteína encapsulada, com 50% de redução de açúcar e com ácido cítrico anidro.

(Fonte: Própria autoria)

**Figura 14:** Gráfico de radar da distribuição da frequência dos termos descritivos no questionário CATA dos sorvetes de maracujá.



(Fonte: Própria autoria)

Conforme apresentado na Tabela 16 e Figura 14, os termos mais citados para o sorvete A pelos provadores em ordem decrescente foram: cor alaranjada, aparência cremosa, sabor cremoso, pouco ácido, muito doce, derrete devagar, sabor de leite, suave e sabor residual. Por sua vez, os atributos menos citados foram: muito ácido, pouco doce, cor amarelada, duro, cristais de gelo, sensação gordurosa, aerado e derrete rápido.

Por sua vez, os termos com maior frequência de citação para o tratamento B, em ordem decrescente, foram: cor amarelada, pouco ácido, sabor cremoso, aparência cremosa, pouco doce, derrete rápido, suave e sabor de leite. Os termos citados com menor frequência foram: cor alaranjada, muito ácido, muito doce, duro, sensação gordurosa e aerado.

Para o sorvete C, os termos mais citados, em ordem decrescente, foram: cor amarelada, suave, sabor cremoso, pouco doce, aparência cremosa, derrete rápido e muito ácido. Os atributos menos citados para essa formulação foram: cor alaranjada, muito doce, pouco ácido, duro, sensação gordurosa, sabor residual e aroma de leite.

Os resultados do teste CATA para os sorvetes B e C apresentaram como termo mais citado pelos provadores *cor amarelada*, enquanto que o sorvete controle teve menor citação

desse termo, com uma frequência maior para *cor alaranjada*. Tal fato confirma os dados obtidos pela colorimetria instrumental.

O sorvete controle apresentou entre os atributos mais citados o termo *derretimento lento*, já os sorvetes B e C obtiveram no grupo dos termos mais citados o *derretimento rápido*. Essa percepção está de acordo com os resultados obtidos para taxa de derretimento, que mostraram que o sorvete controle alcançou uma menor porcentagem de derretimento por minuto do que os tratamentos com a nanoemulsão e redução de açúcar.

Em relação ao termo *duro*, os três tratamentos exibiram para esse atributo entre os termos com menor frequência de citação. Assim como no teste de aceitação, os resultados diferem dos encontrados na análise instrumental do perfil de textura (TPA), que apresentaram maiores valores para o parâmetro de dureza. Esses dados mostram a importância de relacionar as propriedades mecânicas que são aquelas que os equipamentos conseguem detectar, com as propriedades sensoriais as quais os provadores conseguem analisar e julgar.

Pelo teste CATA ainda pode-se observar que os termos *sabor cremoso* e *aparência cremosa* estiveram no grupo dos termos mais citados para todos os tratamentos. Tais termos podem ser considerados como positivos, indicando novamente que os sorvetes de maracujá incorporando nanoemulsão de luteína e com 50% de redução de açúcar são produtos com alta aceitabilidade do ponto de vista do sabor e aparência pelos provadores.

## 6 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos no presente trabalho de Mestrado, foi possível desenvolver um sorvete de massa enriquecido com luteína nanoencapsulada. Os resultados foram altamente satisfatórios do ponto de vista tecnológico da viabilidade da incorporação da luteína nanoencapsulada no sorvete, comprovados pela caracterização físico-química. Do ponto de vista sensorial, o produto foi bem aceito pelos provadores nos atributos avaliados, tanto no teste de aceitação, sendo perceptível também pelos resultados dos termos do teste CATA para os tratamentos. Portanto, foi possível a formulação de um produto de alta aceitabilidade, formulado com 100% de substituição do *mix* comercial pela nanoemulsão de luteína, que se mostrou como uma opção aplicável, resultando em um sorvete com corante natural substituindo corantes artificiais. Além disso, os ensaios de digestão *in vitro* mostraram que é possível inferir que há uma quantidade de luteína ainda significativa na forma bioacessível para consumidores seniores após a digestão no trato gastrointestinal.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AALAEI, K., KHAKIMOV, B., DE GOBBA, C., AHRNÉ, L. Digestion patterns of proteins in pasteurized and ultra-high temperature milk using in vitro gastric models of adult and elderly. **Journal of Food Engineering**, v. 292, p. 110305, 2021.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Análise sensorial de alimentos e bebidas** – NBR 12806. Rio de Janeiro: ABNT, p. 8, 1993.

ADEMOSUN, A. O., OBOH, G., & AJEIGBE, O. F. Influence of Moringa (*Moringa oleifera*) enriched ice creams on rats' brain: Exploring the redox and cholinergic systems. **Current Research in Food Science**, v. 5, p. 366–373, 2022.

AKALIN, H., BAYRAM, M., ANLI, R. E. Determination of some individual phenolic compounds and antioxidant capacity of mead produced from different types of honey. **Journal of the Institute of Brewing**, v. 123, n. 1, p. 167-174, 2017.

AKCA, S; AKPINAR, A. The Effects of grape, pomegranate, sesame seed powder and their oils on probiotic ice cream: Total phenolic contents, antioxidant activity and probiotic viability. **Food Bioscience**, v. 42, p. 101203, 2021.

ARUNKUMAR, R., PRASHANTH, K. V. H., MANABE, Y., HIRATA, T., SUGAWARA, T., DHARMESH, S. M., & BASKARAN, V. Biodegradable poly (lactic-co-glycolic acid)-polyethylene glycol nanocapsules: An efficient carrier for improved solubility, bioavailability, and anticancer property of lutein. **Journal of pharmaceutical sciences**, v. 104, n. 6, p. 2085-2093, 2015.

ALMEIDA, M. E.; TEIXEIRA, H. F.; KOESTER, L. S. Preparação de Emulsões Submicrométricas: Aspectos Teóricos sobre os Métodos Empregados na Atualidade. **Latin American Journal of Pharmacy**, v. 27, n. 5, p. 780–788, 2008.

AMARANTE, M. C. A., BRAGA, A. R. C., SALA, L., KALIL, S. J. Colour stability and antioxidant activity of C-phycoyanin-added ice creams after in vitro digestion. **Food Research International**, v. 137, p. 109602, 2020.

ANARJAN, N., MIRHOSSEINI, H., BAHARIN, B. S., TAN, C. P. Effect of processing conditions on physicochemical properties of astaxanthin nanodispersions. **Food Chemistry**, v. 123, n. 2, p. 477-483, 2010.

ARES, G., BARREIRO, C., DELIZA, R., GIMÉNEZ, A. N. A., GÁMBARO, A. Application of a check-all-that-apply question to the development of chocolate milk desserts. **Journal of Sensory Studies**, v. 25, p. 67-86, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS E DO SETOR DE SORVETE. **Estatística da produção e do consumo de sorvetes no Brasil**. São Paulo: ABIS, 2020. Disponível em:

<[http://www.abis.com.br/estatistica\\_producaoconsumodesorvetesnobrasil.html](http://www.abis.com.br/estatistica_producaoconsumodesorvetesnobrasil.html)>.

Acesso em: 25 set. 2022.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC. **Official methods of analysis of AOAC international**. 16nd ed. Arlington: AOAC, 1995. v. 2.

ASSUNÇÃO, L. S. Estudo prospectivo sobre encapsulamento de compostos bioativos. **Revista Geintec - Gestão, Inovação E Tecnologias**, v. 4, p. 1382-1391, 2014.

BATISTA, A. P., RAYMUNDO, A., SOUSA, I., EMPIS, J., & FRANCO, J. M. Colored food emulsions - Implications of pigment addition on the rheological behavior and microstructure. **Food Biophysics**, v. 1, n. 4, p. 216-227, 2006.

BEATTY, S.; NOLAN J.; KAVANAGH H.; O'DONOVAN. Optical density of macular pigment and relationship with serum and dietary levels of lutein and zeaxanthin. **Arch Biochem Biophys**, v. 430, p. 70–76, 2004.

BENZIE, I. F. F.; STRAIN, J. J. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of antioxidant power: The FRAP assay. **Analytical Biochemistry**, v. 239, p. 70–76, 1996.

BERMUDEZ-PIRELA, V.; BERMUDEZ-ARIAS, F.; LEAL-GONZALEZ, E.; MENGUAL-MORENO, E.; LEMUS-ANTEPAZ, M.; ACOSTA, A.G.; ANDARA, C.V.; ANGULO, V.C.; ARRAIZ, N.; RAMÍREZ, I. Quimioprevenção del cáncer de mama: fronteras y horizontes. **Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica**, v.24, n.1, p.32-41, 2005.

BERNSTEIN, B. LI, PP VACHALI, A. GORUSUPUDI, R. SHYAM, BS HENRIKSEN, JM NOLN. Lutein, zeaxanthin and meso-zeaxanthin: the basic and clinical science behind carotenoid-based nutritional interventions against eye disease. **Progress in Retinal and Eye Research**, v. 50, p. 34 – 66, 2016.

BEZERRA, R. R. A.; ONIAS, E. A.; SILVA, A. L.; COSTA, F. B.; CHINELATE, G. C. B. Sorvete de Creme e Chocolate com Adição de Farinha de Maracujá: Caracterização Físico-química. **I Semana Acadêmica da Engenharia de Alimentos de Pombal**. Universidade Federal de Campina Grande, v.1, n.1, 2011.

BHAWANA, et al. Curcumin nanoparticles: preparation, characterization, and antimicrobial study. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, p. 2056–61, 2011.

BOON, C. S.; MCCLEMENTS, D. J.; WEISS, J.; DECKER E. A. Factors that influence the chemical stability of carotenoids in food. **Food Science and Nutrition**, v.50, p. 515 – 532, 2010.

BORRIN, T. R. et al. Curcumin- loaded nanoemulsions produced by emulsion inversion point (EIP) method: process parameters, physico-chemical stability and incorporation in ice cream. **International Journal of Dairy Technology**, v. 71, n. 2, p. 491-500, 2018.

BOUYER, E. Proteins, polysaccharides, and their complexes used as stabilizers for emulsions: alternatives to synthetic surfactants in the pharmaceutical. **International Journal of Pharmaceutics**, v.436, n.1-2, p.359-378, 2012.

BOYANOVA, P., GRADINARSKA, D., DOBREVA, V., PANAYOTOV, P., MOMCHILOVA, M., & ZSIVANOVITS, G. Effect of *Spirulina platensis* on the quality and antioxidants characteristics of ice cream. In **BIO Web of Conferences** (Vol. 45). EDP Sciences, 2022.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT – Food Science and Technology**, v. 28, n.1, p. 25-31, 1995.

BRASIL, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Portaria n ° 379, de 26 de abril de 1999. **Regulamento técnico referente a gelados comestíveis, preparados, pós preparo e bases para gelados comestíveis**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 1999.

BRASIL. Resolução de Diretoria Colegiada n. 266, de 22 de setembro de 2005. **Regulamento técnico para gelados comestíveis e preparados para gelados comestíveis**. Diário Oficial da União, Brasília, 2005.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Métodos analíticos físico-químicos para controle de leite e produtos lácteos**. Instrução Normativa 68. Brasília: MAPA, 2006.

BRITO-OLIVEIRA, T.C. Curcumina encapsulada em micropartículas lipídicas incorporadas em géis carregados: um estudo comparativo com géis proteicos e géis biopoliméricos mistos obtidos a frio. 2017. Universidade de São Paulo, 2017.

BRODKORB, A., EGGER, L., ALMINGER, M., ALVITO, P., ASSUNÇÃO, R., BALLANCE, S., RECIO, I. INFOGEST static in vitro simulation of gastrointestinal food digestion. **Nature Protocols**, v.14, n. 4, p. 991-1014, 2019.

BROTTO, G. F.; LOPES, M. J. R.; VIANA, M. S.; GOMES, M. C. S.; SOUZA, T. D. C.; NESPOLES, Z. E. M.; SILVA, A. R. Avaliação Sensorial e Atividade Antioxidante de Sorvetes Elaborados com Polpa e Farinha de Casca de Uva da Variedade Niágara

Rosada. **2ª Jornada Científica da UEMS/Naviraí**. Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Unidade de Naviraí, 2012.

BUSCEMI, S.; CORLEO, D.; PACE, F.D.; PETRONI, M.L.; SATRIANO, A.; MARCHESINI, G. The effect of lutein on eye and extra-eye health. **Nutrients**, v. 1, p. 1321-1345, 2018.

CANOVAS, R. CYPEL, M. FARAH, M. E. BELFORT, R. J. Pigmentos maculares. Arquivos Brasileiros de Oftalmologia. **Conselho Brasileiro de Oftalmologia**, v. 72, n. 6, p. 839-844, 2009.

CARLOS, S. A. V.; DO AMARAL, L. A.; SANTOS, M. M. R.; SANTEE, C. M.; ZAMPIERI, D. F.; SOARES, W. R. G.; NOVELLO, D.; SANTOS, E. F. DOS. Elaboração de sorvete de cupuaçu utilizando fibra de casca de maracujá como substituto de gordura. **Evidência**, v. 19, n. 1, p. 23-44, 2019.

CARVALHO, J. A. M. D., GARCIA, R. A. O envelhecimento da população brasileira: um enfoque demográfico. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 19, p. 725-733, 2003.

CARVALHO, VANIA SILVA; ASQUIERI, EDUARDO RAMIREZ; DAMIANI, CLARISSA. Produção de sorvete utilizando a polpa de sapota (*Quararibea cordata Vischer*). **Agrarian**, Dourados, v. 11, n. 40, p. 198-195, 2018.

CECCHI, H. M. **Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos**. 2. ed. Campinas: Editora da Unicamp, 2003.

CHANG, MA, D; CHANG, Y.; MA, G.; CAO, J.; WANG, X.; ZHANG, J.; W. WANG. Improved oral bioavailability for lutein by nanocrystalline technology: development of presentation, in vitro and in vivo evaluation. **Artificial Cells, Nanomedicine, and Biotechnology**, v. 46, n. 5, p. 1018–1024, 2018.

CHEN, L.; REMONDETTO, G. E.; SUBIRADE, M. Food protein-based materials as nutraceutical delivery systems. **Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 17, p. 272–283, 2006.

CHERNOFF, R. Nutrition and health promotion in older adults. **The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences**, v. 56, n. suppl\_2, p. 47-53, 2001.

COOK, M. T.; TZORTZIS, G.; CHARALAMPOPOULOS, D.; KHUTORYANSKIY, V. V. Microencapsulation of probiotics for gastrointestinal delivery. **Journal Of Controlled Release**, v. 162, n. 1, p. 56-67, 2012.

CORREIA, R. T. P.; MAGALHÃES, M. M. A.; PEDRINI, M. R. S.; CRUZ, V. F.; CLEMENTINO, I. Sorvetes elaborados com leite caprino e bovino: composição química e propriedades de derretimento. **Revista Ciências Agronômicas**, Fortaleza, v. 39, n. 2, p. 251-256, 2008.

CORTÉS-ROJAS, D. F., SOUZA, C. R., & OLIVEIRA, W. P. Encapsulation of eugenol rich clove extract in solid lipid carriers. **Journal of Food Engineering**, v. 127, p. 34-42, 2014.

DAMODARAN, S. Food proteins: An overview. In: DAMODARAN, S.; PARAF, A. (Ed). **Food proteins and their applications**. New York: Marcel Dekker, Inc. 1997. Cap. 1, p.1-24.

DAVIES, B.H. Carotenoid. In: GOODWIN, T. W. (ed.), **Chemistry and biochemistry of plant pigments**. New York: Academic Press, p. 38-165, 1976.

DAVIDOV-PARDO, G.; GUMUS, C. E.; MCCLEMENTS, D. J. Administration systems based on emulsion enriched with lutein: Influence of pH and temperature on physical and chemical stability. **Food Chemistry**, v. 196, p. 821-827, 2016.

DERBYSHIRE, E., D.B. Wright, and D. Boulter. Legumin and vicilin, storage proteins of legume seed. **Phytochemistry**. v. 15 p. 3-24, 1976.

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

DICKINSON, E. Food emulsions and foams: Stabilization by particles. **Current Opinion in Colloid & Interface Science**, v. 15, n. 1-2, p. 40-49, 2010.

DOOLEY, L., LEE, YS., MEULLENET, JF. The application of check-all-that-apply (CATA) consumer profiling to preference mapping of vanilla ice cream and its comparison to classical external preference mapping. **Food Quality and Preference**, v. 21, n. 4, p. 394-401, 2010.

FARESIN, Larissa da Silva. **Desenvolvimento de sorvete funcional com redução de açúcar e gordura**. 189 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS, 2019

FRANZOL, A.; REZENDE, M. C. Estabilidade de emulsões: um estudo de caso envolvendo emulsificantes aniônico, catiônico e não-iônico. **Polimeros**, v. 25, p. 1-9, 2015.

FREDE, K.; HENZE, A.; KHALIL, M.; BALDERMANN, S.; SCHWEIGERT, F. J.; RAWEL, H. Cell stability and absorption of lutein-loaded emulsions. **Journal of Functional Foods**, v. 8, p. 118 – 127, 2014.

FRIEDMAN, H. H.; WHITNEY, J. E.; SZCZESNIAK, A. S. The texturometer—a new instrument for objective texture measurement. **Journal of Food Science**, v. 28, n. 4, p. 390-396, 1963.

FOEGEDING, E.A.; DAVIS, J.P. Food protein functionality: A comprehensive approach. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 25, n. 8, p. 1853 - 1864., 2011.

FONSECA, R. P., SALLES, J. F., PARENTE, M. A. M. Processamento de inferências: estudo comparativo entre adultos e jovens, de idade intermediária, idosos e longevos. **Organon**, v. 21, n. 43, 2007.

FUKUSHIMA, D. Soy proteins. In: YADA, R.Y. **Proteins in food processing**. New York, CRC Press. Cap.6, p. 123-145. 2004.

GIROUX, H. J.; BRITTEN, M. Encapsulation of hydrophobic aroma in whey protein nanoparticles. **Journal of Microencapsulation**, Abingdon, v. 28, p. 337–343, 2011.

GOFF, H. D. Structure of the ice-cream. **Food Science**, Ontario, 2002. Disponível em: <<http://www.foodsci.uoguelph.ca/dairyedu/icstructure.html>>. Acesso em: 12 set. 2022.

GOFF, H. D.; HARTELL, R. W. Ice cream. 7. ed. New York, **Springer**, p. 462, 2013.

GOFF, H. D. Ice cream. In: **Lipid Technologies and Applications**. **Routledge**, p. 329-354, 2018.

GOUIN, S. Microencapsulation: industrial appraisal of existing technologies and trends. **Food Science and Technology**, v.15, 330-347, 2004.

GRANGER, C., SCHÖPPE, A., LEGER, A., BAREY, P. AND CANSELL, M. **Influence of formulation on the thermal behavior of ice cream mix and ice cream**. **Journal Amer Oil Chem**, v.82, pp. 427-431, 2005.

GRIEP, M. I.; METS, T. F.; MASSART, D. L. Effects of flavour amplification of Quorn and yoghurt on food preference and consumption in relation to age, BMI and odour perception. **British Journal of Nutrition**, v. 83, n. 2, p. 105-113, 2000.

GÜVEN, M., KARACA, O. B. The effects of varying sugar content and fruit concentration on the physical properties of vanilla and fruit ice-cream-type frozen yogurts. **International Journal of Dairy Technology**, v. 55, n. 1, p. 27-31, 2002.

GÜLÇİN, İ., OKTAY, M., KIREÇCI, E., & KÜFREVİOĞLU, Ö. İ. Screening of antioxidant and antimicrobial activities of anise (*Pimpinella anisum* L.) seed extracts. **Food chemistry**, v. 83, n. 3, p. 371-382, 2003.

GULÇIN, Í., TEL, A. Z., KIRECCI, E. Antioxidant, antimicrobial, antifungal, and antiradical activities of *Cyclotrichium niveum* (Boiss.) Manden and Scheng. **International Journal of Food Properties**, v. 11, n. 2, p. 450-471, 2008.

HAJISHAFIEE, M., BITARAFAN, V., FEINLE-BISSET, C. Gastrointestinal sensing of meal-related signals in humans, and dysregulations in eating-related disorders. **Nutrients**, v. 11, n. 6, p. 1298, 2019.

HERNÁNDEZ-OLIVAS, E., MUÑOZ-PINA, S., ANDRÉS, A., HEREDIA, A. Impact of elderly gastrointestinal alterations on in vitro digestion of salmon, sardine, sea bass and hake: Proteolysis, lipolysis and bioaccessibility of calcium and vitamins. **Food chemistry**, v. 326, p. 127024, 2020.

HÖRTER, D.; DRESSMAN, J. B. Influence of physicochemical properties on dissolution of drugs in the gastrointestinal tract. **Advanced drug delivery reviews**, v. 46, n. 1-3, p. 75-87, 2001.

HU, D., LIN, C., LIU, L., LI, S., ZHAO, Y. Preparation, characterization, and in vitro release investigation of lutein/zein nanoparticles via solution enhanced dispersion by supercritical fluids. **Journal of food engineering**, v. 109, n. 3, p. 545-552, 2012.

IKEDO, D. T., DE OLIVEIRA, A. P. C., PONTIN, J. C. B., DE CARVALHO GALIANO, J., OKAZAKI, J. E. F., DE FIGUEIREDO BERSANI, A. L., SANTOS, F. C. Reconhecimento da síndrome locomotora e de suas implicações e prevenção numa amostra de idosos na cidade de São Paulo. **Revista Kairós-Gerontologia**, v. 24 n. 1, p. 513-529, 2021.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ - (IAL). **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. 4. ed. Brasília: Ministério da Saúde, p. 1018, 2005.

IVEY, K. L., LEWIS, J. R., HODGSON, J. M., ZHU, K., DHALIWAL, S. S., THOMPSON, P. L., PRINCE, R. L. Association between yogurt, milk, and cheese consumption and common carotid artery intima-media thickness and cardiovascular disease risk factors in elderly women. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 94, n. 1, p. 234-239, 2011.

JIN, J. E.; AHN, C. B.; JE, J. Y. Purification and characterization of antioxidant peptides

from enzymatically hydrolyzed ark shell (*Scapharca subcrenata*). **ProcessBiochemistry**, v. 72, p. 170-176, set. 2018.

KAHOUN, D., ŘEZKOVÁ, S., KRÁLOVSKÝ, J. Effect of heat treatment and storage conditions on mead composition. **Food chemistry**, v. 219, p. 357-363, 2017.

KARKI, B., LAMSAL, B. P., GREWELL, D., POMETTO, A. L., VAN LEEUWEN, J., KHANAL. Functional Properties of Soy Protein Isolates Produced from Ultrasonicated Defatted Soy Flakes. **Journal of the American Oil Chemists Society**. v. 86, n. 10, p. 1021–1028, 2009.

KENTISH, S.; FENG, H. Applications of Power Ultrasound in Food Processing. **The Annual Review of Food Science and Technology**. v.5, p. 263-284. 2014.

KOH, H.; MURRAY, I.; NOLAN, D.; CARDEN, D.; FEATHER, J.; BEATTY, S. Plasma and macular responses to lutein supplementation in individuals with and without age-related maculopathy: a pilot study. **Exp Eye Res**, v. 79, p. 21 de – 27, 2004.

KOTHA, R. R.; LUTHRIA, D. L. Curcumin: Biological, Pharmaceutical, Nutraceutical, and Analytical Aspects. **Molecules**, Basel, v. 24, n.16 p. 29-30. 2019.

KUMARI, A.; YADAV, S. K.; SC YADAV, S. C. Drug delivery systems based on biodegradable polymeric nanoparticles. **Colloids and Surfaces B**, Biointerfaces, v. 75, p. 1–18, 2010.

KUMPEL, D. A. SODRÉ, A. D. C. POMATTI, D. M. SCORTEGAGNA, H. D. M. FILIPPI, J. PORTELLA, M. R. SCARIOT, M. Obesidade em idosos acompanhados pela estratégia de saúde da família. **Texto & Contexto-Enfermagem**, v. 20, p. 471-477, 2011.

LACATUSU, I., MITREA, E., BADEA, N., STAN, R., OPREA, O., MEGHEA, A. Lipid nanoparticles based on omega-3 fatty acids as effective carriers for lutein delivery. Preparation and in vitro characterization studies. **Journal of Functional Foods**, v. 5, n. 3, p. 1260-1269, 2013.

LANDRUM, J. T.; BONE, R. A. Lutein, zeaxanthin and the macular pigment. **Archives Biochemistry and Biophysics**, v. 385, p. 28–40, 2001.

LEGAY, M. **Enhancement of Heat Transfer by Ultrasound: Review and Recent Advances**. International Journal of Chemical Engineering, 2011.

LEVI, C. S., LESMES, U. Bi-compartmental elderly or adult dynamic digestion models applied to interrogate protein digestibility. **Food & function**, v. 5, n. 10, p. 2402-2409, 2014.

LEVI, C. S., ALVITO, P., ANDRÉS, A., ASSUNÇÃO, R., BARBERÁ, R., BLANQUET-DIOT, S., LESMES, U. Extending in vitro digestion models to specific human populations: Perspectives, practical tools and bio-relevant information. **Trends in Food Science & Technology**, v. 60, p. 52-63, 2017.

LI, S. et al. Chemical Composition and Product Quality Control of Turmeric (*Curcuma longa* L.). **Pharmaceutical Crops**, v. 2, p. 28–54, 2011.

LIMA, J. G. DE; BRITO-OLIVEIRA, T. C.; PINHO, S. C. DE. Characterization and evaluation of sensory acceptability of ice creams incorporated with beta-carotene encapsulated in solid lipid microparticles. p. 1–8, 2016.

LIU, K. **Soybeans: Chemistry, Technology and Utilization**. New York: Chapman and Hall, p. 532, 1997.

LÓPEZ-MARTÍNEZ, M. I., MORENO-FERNÁNDEZ, S., & MIGUEL, M. Development of functional ice cream with egg white hydrolysates. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, v. 25, 2021.

LUCAS-GONZÁLEZ, R., VIUDA-MARTOS, M., PÉREZ-ALVAREZ, J. A., & FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J. In vitro digestion models suitable for foods: Opportunities for new fields of application and challenges. **Food Research International**, v. 107, p. 423-436, 2018.

LUQUE-GARCÍA, J. L.; LUQUE DE CASTRO, M. D. Ultrasound: A powerful tool for leaching. **TrAC - Trends in Analytical Chemistry**, v. 22, n. 1, p. 41–47, 2003.

MA, L.; DOU, H. L.; WU, Y. Q.; HUANG, Y. M.; HUANG, Y. B.; XU, X. R. Lutein and zeaxanthin intake and the risk of age-related macular degeneration: a systematic review and meta-analysis. **British Journal of Nutrition**, v. 1, p. 350-359, 2012.

MALIK, M. A.; SHARMA, H. K.; SAINI, C. S. High intensity ultrasound treatment of protein isolate extracted from dephenolized sunflower meal: effect on physicochemical and functional properties. **Ultrasonics Sonochemistry**. v. 39, p. 511–519, 2017.

MARSHALL, R. T., GOFF, H. D., HARTEL, R. W. Ice cream. **Springer Science & Business Media**, 2003.

MARTÍN, J. M.; LARA-VILLOSLADA, F.; RUIZ, A. M.; MORALES, E. M. Microencapsulation of Bacteria: A Review of Different Technologies and Their Impact

on the Probiotic Effects. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, v. 27, p. 15-25, 2015.

MASON, T., RIERA, E., VERCET, A., & LOPEZ-BUESA, P. Application of ultrasound. **Emerging technologies for food processing**, p. 323-350, 2005.

MASON, T. G. et al. Nanoemulsions: formation, structure, and physical properties. **Journal of Physics Condensed Matter**, v. 18, p. 635–666, 2006.

MATIOLI, G.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Microencapsulação do licopeno com ciclodextrinas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 23, 102-105, 2003.

MAYER, S.; WEISS, J.; MCCLEMENTS, D. Vitamin-E enriched nanoemulsions formed by emulsion phase inversion: factors influencing droplet size and stability. **Journal of Colloid and Interface Science**, Maryland Heights, v. 402, p. 122-130, 2013.

MUSE, M. R.; HARTEL, R. W. Ice cream structural elements that affect melting rate and hardness. **Journal of dairy science**, v. 87, n. 1, p. 1-10, 2004.

McCLEMENTS, D. J.; KEOGH, M. K. Physical properties of cold-setting gels formed from heat-desaturated whey protein isolate. **Journal of the Science and Food Agriculture**, London, v. 69, p. 7-14, 1995.

McCLEMENTS, D. J. **Food emulsions: principles, practices and techniques**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2005.

McCLEMENTS, D. J.; WEISS, J. **Lipid emulsions: Bailey's industrial oil and fat products**. 3. ed. New York: John Wiley & Sons, 2005.

McCLEMENTS, D. J.; RAO, J. Food grade nanoemulsions: formulation, fabrication, properties, performance, biological fate and potential toxicity. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, New York, v. 51, n. 4, p. 285-330, 2011.

McCLEMENTS, D. J. Nanoemulsions versus microemulsions: terminology, differences and similarities. *Soft Matter*, Cambridge, v. 8, p. 1719-1729, 2012.

MCCLEMENTS, David., PENG, S. Current status in our understanding of physicochemical basis of bioaccessibility. **Current Opinion in Food Science**, v. 31, p. 57-62, 2020.

MEDEIROS, Dandara Martins Costa. **Prospecção tecnológica no setor de tensoativos da indústria de cosméticos**. 69 f TCC (Graduação) Curso de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

MEILGAARD, Morten C.; CARR, B. Thomas; CIVILLE, Gail Vance. **Sensory evaluation techniques**. CRC press, 1999.

MEYNERS, M., CASTURA, J. C. Randomization of CATA attributes: Should attribute lists be allocated to assessors or to samples? **Food Quality and Preference**, v. 48, p. 210-215, 2016.

MORLEY, J. E. Assessment of malnutrition in older persons: a focus on the Mini Nutritional Assessment. **The journal of nutrition, health & aging**, v. 15, n. 2, p. 87-90, 2011.

MORTENSEN, A. SKIBSTED, L.H. Kinetics and mechanism of the primary steps of degradation of carotenoids by acid in homogeneous solution. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48 (2), pp. 279-286, 2000.

MOUTINHO, I. L. D. BERTGES, L. C. ASSIS, R. V. C. As Prolonged use of the food dye tartrazine (FD&C yellow no 5) and its effects on the gastric mucosa of Wistar rats. **Brazilian Journal of Biology**, Feb, 67(1), pp. 141-5, 2007.

MOZAFFARIEH, M.; SACU, S.; WEDRICH, A. The role of carotenoids, lutein and zeaxanthin in protecting against age-related macular degeneration: a review based on controversial evidence. **Nutrition Journal**, v. 2, p. 20–27, 2003.

MULET-CABERO, A., EGGER, L., PORTMANN, R., MÉNARD, O., MARZE, S., MINEKUS, M., MACKIE, A. A standardised semi-dynamic in vitro digestion method suitable for food—an international consensus. **Food & function**, v. 11 n. 2, p. 1702-1720, 2020.

NAGAO, A. Bioavailability of dietary carotenoids: intestinal absorption and metabolism. **Japan Agricultural Research Quarterly**, v.48, p. 385–392, 2014.

NAGATA, S., ASAHARA, T., OHTA, T., YAMADA, T., KONDO, S., BIAN, L., NOMOTO, K. Effect of the continuous intake of probiotic-fermented milk containing *Lactobacillus casei* strain Shirota on fever in a mass outbreak of norovirus gastroenteritis and the faecal microflora in a health service facility for the aged. **British Journal of Nutrition**, v. 106, n. 4, p. 549-556, 2011.

NARALA, V. R., ORLOVS, I., JUGBARDE, M. A., & MASIN, M. Inulin as a fat replacer in pea protein vegan ice cream and its influence on textural properties and sensory attributes. **Applied Food Research**, v. 2, n. 1, p. 100-106, 2022.

NACHTIGALL, A. M., STRIGHETA, P. C., FIDÉLIS, P. C., NACHTIGALL, F. M. Determination of quantity of Lutein in vegetables. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 25, n. 2, 2007.

PAL, R. Influence of interfacial rheology on the viscosity of concentrated emulsions. **Journal of Colloid and Interface Science**, Maryland Heights, v. 365, n. 1, p. 118-122, 2011.

PAN, L. H., WU, C. L., LUO, S. Z., LUO, J. P., ZHENG, Z., JIANG, S. T., ZHONG, X. Y. Preparation and characteristics of sucrose-resistant emulsions and their application in soft candies with low sugar and high lutein contents and strong antioxidant activity. **Food Hydrocolloids**, v. 129, p. 107619, 2022.

PERRECHIL, F. A.; VILELA, J. A. P. Development of Na-CN —  $\kappa$  -carrageenan Microbeads for the Encapsulation of Lipophilic Compounds. p. 264–275, 2012.

PETRUCELLI, S.; AÑÓN, M. C. pH induced modifications in the thermal stability of soybeans protein isolates. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 44, n. 10, p. 3005-3009, 1996.

PILOSOFF, A.; M.; R. BARTHOLOMAI, G.; B. Caracterización funcional y estructural de proteínas. Buenos Aires, Argentina: **Eudeba CYTED**, cap. 1, p. 17-28, 2000.

POLYAKOV, N.E. et al. Carotenoids as scavengers of free radicals in a fenton reaction: antioxidants or pro-oxidants. **Free Radical Biol. Med.**, v. 31, n. 3, p. 398-404, 2001.

PONS, M.; FISZMAN, S. M. Instrumental texture profile analysis with particular reference to gelled systems. **Journal of Texture Studies**, v. 27, n. 6, p. 597-624, 1996.

PORTER, C. J., TREVASKIS, N. L., CHARMAN, W. N. Lipids and lipid-based formulations: optimizing the oral delivery of lipophilic drugs. **Nature reviews Drug discovery**, v. 6, n. 3, p. 231-248, 2007.

PUPPO, M. C.; SORGENTINI, D.A.; AÑÓN, M.C. Rheological Properties of Emulsions Containing Modified Soy Protein Isolates. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, Champaign, v. 80, n. 6, p. 605-611, 2003.

RANGANATHAN, A.; HINDUPUR, R.; VALLIKANNAN, B. Biocompatible lutein polymer lipid nanocapsules: Acute and subacute toxicity and bioavailability in mice. **Materials Science and Engineering**, v. 69, p. 1318–1327, 2016.

RAMIREZ-TOSTOSA, M.C. et al. Oral administration of a turmeric extract inhibits LDL oxidation and has hypocholesterolemic effects in rabbits with experimental atherosclerosis. **Artherosclerosis**, v. 147, n. 2, p. 371–378, 1999.

RAO, S. BALA, V. PRESTIDGE, C. A. BOYD, B. J. Prodrug and nanomedicine approaches for the delivery of the camptothecin analogue SN38. **Journal of controlled release**, v. 172, p. 48-61, 2013.

RAMOS, Aurelia Faria. **Avaliação de aspectos físico-químicos, sensoriais e reológicos de sorvete gourmet elaborado com teor reduzido de lactose**. 67 f. Dissertação (Mestrado), Curso de Ciência e Tecnologia do Leite e Derivados, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2016.

RE, R., Pellegrini, N., Proeggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free radical biology and medicine**, v. 26, n. 9-10, p. 1231-1237, 1999.

RÉMOND, D., SHAHAR, D. R., GILLE, D. PINTO, P. KACHAL, J. PEYRON, M. A. VERGÈRES, G. Understanding the gastrointestinal tract of the elderly to develop dietary solutions that prevent malnutrition. **Oncotarget**, v. 6, n. 16, p. 13858, 2015.

RENKEMA, J.M.S. et al. The effect of pH on heat denaturation and gel forming properties of soy proteins. **Journal of Biotechnology**, Washington, v. 79, n. 3, p. 223-230, 2000.

RIZK, E. M.; EL-KADY, A. T.; EL-BIALY, A. R. Characterization of carotenoids (lyco-red) extracted from tomato peels and its uses as natural colorants and antioxidants of ice cream. **Annals of Agricultural Sciences**, v. 59, n. 1, p. 53-61, 2014.

ROCKENBACH, I.; SILVA, G.L; RODRIGUES, E.; KUSKOSKI, E.M.; FETT, R. Influência do solvente no conteúdo total de polifenóis, antocianinas e atividade antioxidante de extratos de bagaço de uva (*Vitis vinifera*) variedades Tannat e Ancelota. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.28 (Supl.), p. 238-244, 2008.

Salager, J. L. Microemulsões, em Handbook of Detergents, Parte A: **Propriedades, Ciência do Surfactante** Série 82, ed. G. Broze, p. 253 - 302, 1999.

SATALKAR, P., ELGER, B. S., SHAW, D. M. Defining nano, nanotechnology and nanomedicine: why should it matter? **Science and engineering ethics**, v. 22, n. 5, p. 1255-1276, 2016.

SECOLIN, V.A. **Microencapsulação de compostos bioativos de *Camellia sinensis* em sistemas lipídicos por spray-drying**. 113 f. Dissertação (Mestrado), Faculdade de

Ciências Farmacêuticas de Ribeirão Preto – Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2014.

SCHULLER, R.; ROMANOWSKY, P. Understanding emulsions. **Cosmetic and Toiletries**, v. 113, n. 09, p. 39-44, 1998.

SGARBIERI, V.C. **Proteínas em Alimentos Protéicos: Propriedades, degradações, modificações**. São Paulo: Livraria Varela, v. 1, p. 85-109, 1996.

SHAHIDI, F.; HAN, X.Q. Encapsulation of food ingredients. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 33(6), 501-547, 1993.

SHANG, Y. F., MIAO, J. H., ZENG, J., ZHANG, T. H., ZHANG, R. M., ZHANG, B. Y., WEI, Z. J. Evaluation of digestibility differences for apple polyphenolics using in vitro elderly and adult digestion models. **Food Chemistry**, v. 390, p. 133154, 2022.

SHAO, Y.; TANG, C. Characteristics and oxidative stability of soy protein-stabilized oil-in-water emulsions: Influence of ionic strength and heat pretreatment. **Food Hydrocolloids**, p.149-158, 2014.

SILVA, P. T. da S.; FRIES, L. L. M.; MENEZES, C. R. de; HOLKEM, A. T.; SCHWAN, C. L.; WIGMANN, E. F. Microencapsulation: Concepts, Mechanisms, Methods and Some Applications in Food Technology. **Ciência rural**, v. 44, n. 7, p. 1304–11, 2014.

SILVA, J. B., COSTA, K. M., COELHO, W. A., PAIVA, K. A., COSTA, G. A., SALATINO, A., BATISTA, J. S. Quantificação de fenóis, flavonoides totais e atividades farmacológicas de geoprópolis de Plebeia aff. Flavocincta do Rio Grande do Norte. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, 36, 874-880, 2016.

SILVA, Juliane Martins da. **Sorvete potencialmente prebiótico de extrato hidrossolúvel de quirera de arroz**. Dissertação de Mestrado; Programa de PósGraduação em Engenharia de Alimentos; Universidade Estadual de Maringá; Av. Colombo, 5790, BL 13 – 07; CEP: 87020-900 – Maringá – PR, Brasil, 2020.

SOFJAN, R. P.; HARTEL, R. W. Effects of overrun on structural and physical characteristics of ice cream. **International Dairy Journal**, v. 14, n. 3, p. 255-262, 2004.

SOHAIL, A.; TURNER, M. S.; COOMBES, A.; BOSTROM, T.; BHANDARI, B. Survivability of Probiotics Encapsulated in Alginate Gel Microbeads Using a Novel Impinging Aerosols Method. **International Journal of Food Microbiology**, v. 145, n. 1, p. 162-68, 2011.

SORIA, A. C.; VILLAMIEL, M. Effect of ultrasound on the technological properties and bioactivity of food: A review. **Trends in Food Science and Technology**, v. 21, n. 7, p. 323–331, 2010.

SOUTHON, S.; FAULKES, R. Carotenoids in food: bioavailability and functional benefits. **Phytochemical functional foods**. Chicago: Woodhead CRC LLC, cap. 7, 2003.

SOUZA, F. A.; REZENDE, M. C. Estabilidade de emulsões: um estudo de caso envolvendo emulsionantes aniônico, catiônico e não-iônico. **Polimeros**, v. 25, p. 1–9, 2015.

SOUZA, V. R., PEREIRA, P. A. P., GOMES, U. J., CARNEIRO, J. D. D. S. Avaliação e definição do perfil de textura ideal de queijo Petit Suisse. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 66, n. 382, p. 48-53, 2011.

SRINU, D., BASKARAN, D.; DORAI, R. P. Physico-chemical and Texture Analysis of Ice Cream Prepared by Incorporating Various Spices. **Asian Journal of Dairy and Food Research**, v. 41, n. 1, p. 28-32, 2022.

SUNG, K. K.; GOFF, H. D. Effect of solid fat content on structure in ice creams containing palm kernel oil and high-oleic sunflower oil. **Journal of Food Science**, v. 75, n. 3, p. 274-279, 2010.

SZCZESNIAK, A. S.; BRANDT, M. A.; FRIEDMAN, H. H. Development of standard rating scales for mechanical parameters of texture and correlation between the objective and the sensory methods of texture evaluation. **Journal of Food Science**, v. 28, n. 4, p. 397-403, 1963.

TANG, C. et al. Formation of soluble aggregates from insoluble commercial soy protein isolate by means of ultrasonic treatment and their gelling properties. **Journal of Food Engineering**, v. 92, n. 4, p. 432–437, 2009.

TORAGALL, V., JAYAPALA, N., MUTHUKUMAR, S. P., VALLIKANAN, B. Biodegradable chitosan-sodium alginate-oleic acid nanocarrier promotes bioavailability and target delivery of lutein in rat model with no toxicity. **Food chemistry**, v. 330, p. 127195, 2020.

TORAGALL, V., SRIRANGAM, P., JAYAPALA, N., & BASKARAN, V. Lutein encapsulated oleic-linoleic acid nanoemulsion boosts oral bioavailability of the eye protective carotenoid lutein in rat model. **Materials Today Communications**, v. 28, p. 102522, 2021.

TORREZAN, R. CRISTIANINI, M. Revisão: efeito do tratamento de alta pressão sobre as propriedades funcionais da proteína de soja e interação proteína-polissacarídeos. **B. Ceppa**, Curitiba, v. 23, n.2, p. 201-220, 2005.

VALDUGA, E. TATSCH, P. O. TIGGEMANN, L. TREICHEL, H. TONIAZZO, G. ZENI, J. LUCCIO M.D. Produção de carotenoides: microrganismos como fonte de pigmentos naturais. **Química Nova**, v. 32, No. 9, p. 2429-2436, 2009.

VANISKI, R.; CORTI, D.; DRUNKLER, D. A. Técnicas e Materiais Empregados na Microencapsulação de Probióticos. **Brazilian Journal of Food Research**, v. 8, n. 1, p. 156, 2017.

VERAS, R. Envelhecimento populacional contemporâneo: demandas, desafios e inovações. **Revista de saúde pública**, v. 43, p. 548-554, 2009.

WEIGEL, J.; WEISS, E.A.; DECKER, D. MCCLEMENTS, J. Administration systems based on emulsion enriched with lutein: influence of emulsifiers and antioxidants on physical and chemical stability. **Food Chemistry**, v.242, p. 395-403, 2018.

WONG, S. F. et al. Crude oil emulsion: A review on formation, classification and stability of water-in-oil. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, v. 135, p. 498-504, 2015.

YAKLICH, R.  $\beta$ -conglycinin and High-protein soybean seeds. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, p. 729-735, 2001.

YEN, F.-L. et al. Curcumin nanoparticles improve the physicochemical properties of curcumin and effectively enhance its antioxidant and antihepatoma activities. **Journal Of Agricultural And Food Chemistry**, v. 58, p. 7376–7382, 23 jun. 2010.

XINYU, E. PEI, Z. J. SCHIMIT, K. A. Ice cream: foam formation and stabilization – a review. **Food Reviews International**, v.26, p. 122-137, 2010

ZUANON, L. A. C. **Microencapsulação de oleoresina de cúrcuma (*Curcuma longa* L.) em matrizes de gelatina, goma arábica e colágeno hidrolisado**. 2012. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos). Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, São José do Rio Preto, 2012.

## APÊNDICE A - Ficha da avaliação sensorial dos sorvetes

Nome: \_\_\_\_\_ Data: \_\_/\_\_/\_\_

Você está recebendo 5 amostras de **sorvetes sabor maracujá**. Por favor, avalie o produto e

Atributos	Amostra	Amostra	Amostra	Amostra	Amostra
	Nº:	Nº:	Nº:	Nº:	Nº:
Sabor de leite					
Pouco doce					
Muito doce					
Cristais de gelo					
Derrete devagar					
Derrete rápido					
Aerado					
Suave					
Sensação gordurosa					
Duro					
Sabor cremoso					
Aparência cremosa					
Sabor residual					
Aroma de leite					
Pouco ácido					
Muito ácido					
Cor alaranjada					
Cor amarelada					

marque com (X) todos atributos que descrevem apropriadamente sua experiência com cada amostra avaliada.

Avalie cada uma das amostras e use a escala para indicar o quanto você gostou ou desgostou das seguintes características:

<b>Escala:</b>	<b>Amostra</b>	<b>Cor</b>	<b>Aroma</b>	<b>Sabor</b>	<b>Textura</b>	<b>Impressão global</b>
<b>1 – Desgostei extremamente</b>	<b>Nº:</b>					
<b>2 – Desgostei muito</b>	<b>Nº:</b>					
<b>3 – Desgostei moderadamente</b>	<b>Nº:</b>					
<b>4 – Desgostei ligeiramente</b>	<b>Nº:</b>					
<b>5 – Nem gostei/nem desgostei</b>	<b>Nº:</b>					
<b>6 – Gostei ligeiramente</b>	<b>Nº:</b>					
<b>7 – Gostei moderadamente</b>	<b>Nº:</b>					
<b>8 – Gostei muito</b>	<b>Nº:</b>					
<b>9 – Gostei extremamente</b>	<b>Nº:</b>					

Comentários: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_