

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA DE ALIMENTOS  
MESTRADO EM TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

MÔNICA ARAUJO SUZIN

**MICROENCAPSULAÇÃO DE ÓLEO DE MACADÂMIA PARA  
APLICAÇÃO EM MISTURAS PARA BOLO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

CAMPO MOURÃO

2020

MÔNICA ARAUJO SUZIN

## **MICROENCAPSULAÇÃO DE ÓLEO DE MACADÂMIA PARA APLICAÇÃO EM MISTURAS PARA BOLO**

### **Microencapsulation of Macadamia oil for application in cake mixes**

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Tecnologia de Alimentos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Dr. Odinei Hess Gonçalves

Coorientadora: Dr<sup>a</sup>. Ailey Aparecida Coelho Tanamati

CAMPO MOURÃO

2020



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite que outros remixem, adaptem e criem a partir do seu trabalho para fins não comerciais, desde que atribuam o devido crédito e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



**Ministério da Educação**

**Universidade Tecnológica  
Federal do Paraná Câmpus  
Medianeira**



---

MONICA ARAUJO SUZIN

## **MICROENCAPSULAÇÃO DE ÓLEO DE MACADÂMIA PARA APLICAÇÃO EM MISTURAS PARA BOLO**

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestra Em Tecnologia De Alimentos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Tecnologia De Alimentos.

Data de aprovação:

15 de Dezembro de 2020

Prof. Odinei Hess Goncalves, - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.a Rosana Aparecida Da Silva Buzanello, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do

Paraná Prof.a Thaisa Carvalho Volpe Balbinoti, Doutorado - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (Ufms)

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 16/12/2020.

[https://sistemas2.utfpr.edu.br/dpls/sistema/aluno04/mpCADEDocsAssinar.pcTelaAssinaturaDoc?p\\_pesscodnr=171006&p\\_cadedocpescodnr=3553&p...](https://sistemas2.utfpr.edu.br/dpls/sistema/aluno04/mpCADEDocsAssinar.pcTelaAssinaturaDoc?p_pesscodnr=171006&p_cadedocpescodnr=3553&p...)

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pelas oportunidades a mim confiadas e por estar sempre presente de modo sublime em minha caminhada.

Agradeço aos meus pais, Neide e Claudécir, que não mediram esforços para me ajudar em todos os momentos e sempre me incentivaram a trilhar e buscar caminhos melhores para alcançar meus objetivos.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Odinei Hess Gonçalves, por toda paciência, incentivo e contribuição no decorrer destes anos de estudo. Sou extremamente grata pela oportunidade, pela orientação e apoio durante a minha caminhada.

À minha co-orientadora, Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Ailey Aparecida Coelho Tanamati, pela sua paciência e suas contribuições essenciais para o desenvolvimento deste trabalho. Foi um grande prazer contar com sua amizade e apoio.

Aos professores Ângela Maria Gozzo, Fernanda Vitória Leimann, Evandro Bona, pelas contribuições e auxílios na realização e interpretação das análises realizadas.

À colega que me acompanhou durante as aulas, Luma Borges, e Mariana Biel de Lima pela disposição e contribuição em análises, agradeço o carinho de vocês.

À universidade e todos os servidores envolvidos no Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos – PPGTA, aos técnicos do laboratório C004 e a todos que, de algum modo, estiveram envolvidos para o desenvolvimento desse trabalho.

## RESUMO

SUZIN, Mônica Araujo. **Microencapsulação de óleo de macadâmia para aplicação em misturas para bolo.** 2020. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2020.

A crescente procura por alimentos que contenham compostos bioativos ou que apresentem uma formulação enriquecida com compostos funcionais faz com que as indústrias do ramo alimentício busquem o desenvolvimento de novos produtos que satisfaçam esse novo público consumidor. A formulação de produtos enriquecidos com óleos, que são fonte de ácidos graxos essenciais, pode ser adicionada a essa busca. A técnica de microencapsulação permite a proteção desses óleos contra a degradação, garantindo assim a sua estabilidade oxidativa e manutenção de compostos essenciais. O presente trabalho teve como objetivo microencapsular o óleo de macadâmia pelo método de homogeneização a quente para aplicação em produtos alimentícios, como misturas para bolo. A caracterização das micropartículas, realizada por meio de análises como DSC, FTIR, DRX e eficiência de encapsulação, comprovou que o óleo foi corretamente encapsulado e que houve aumento da estabilidade oxidativa do óleo de macadâmia, por meio da análise de Rancimat. O óleo de macadâmia foi avaliado quanto a sua composição em ácidos graxos, em que os majoritários foram o ácido oléico (57,51%), palmitoléico (15,33%), palmítico (9,44%) e linoléico (5,12%). Foram calculados os índices de qualidade nutricional do óleo *in natura*, para avaliar a qualidade do óleo de macadâmia com relação aos índices de aterogenicidade e trombogenicidade. As análises de caracterização para as misturas de bolo de baunilha contendo 1 e 3% de partículas, a partir de análises instrumentais de cor, comportamento reológico e textura, apresentaram resultados positivos para incorporação nessas matrizes. As análises de caracterização do bolo formulado com adição de óleo de macadâmia são parâmetros importantes e decisivos para avaliar uma possível aceitação do consumidor, já que influenciam na sua decisão de compra e, portanto, uma avaliação positiva do produto final.

Palavras-chave: Misturas para bolo. Estabilidade oxidativa. Formulação.

## ABSTRACT

SUZIN, Mônica Araujo. **Microencapsulation of macadamia oil for application in cake mixes**. 2020. Master's dissertation in Food Technology. Post-graduation Program of Food Technology, Federal University of Technology - Parana, Campo Mourão, 2020.

The growing demand for foods that contain bioactive compounds or that present a formulation enriched with functional compounds makes food industries seek the development of new products that satisfy this new consumer audience. The formulation of products enriched with oils, which are a source of essential fatty acids, can be added to this search. The microencapsulation technique allows the protection of these oils against degradation, thus guaranteeing their oxidative stability and maintaining essential compounds. The present work aimed to microencapsulate macadamia oil by the method of hot homogenization for application in food products, such as cake mixes. The characterization of microparticles, carried out by means of analyzes such as DSC, FTIR, DRX and encapsulation efficiency, proved that the oil was correctly encapsulated and that there was an increase in the oxidative stability of macadamia oil, by means of Rancimat analysis. Macadamia oil was evaluated for its composition in fatty acids, in which the majority were oleic acid (57.51%), palmitoleic (15.33%), palmitic (9.44%) and linoleic (5.12 %). Nutritional quality indexes for fresh oil were calculated to assess the quality of macadamia oil in relation to atherogenicity and thrombogenicity indexes. Characterization analyzes for vanilla cake mixes containing 1 and 3% particles, based on instrumental analyzes of color, rheological behavior and texture, showed positive results for incorporation in these matrices. The characterization analyzes of the cake formulated with the addition of macadamia oil are important and decisive parameters for assessing possible consumer acceptance, since they influence their purchase decision and, therefore, a positive evaluation of the final product.

Keywords: Cake mixes. Oxidative stability. Formulation.

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Noz de macadâmia. ....  | 13 |
| Figura 2. Estrutura do ácido siríngico. ....  | 16 |
| Figura 3. Espectros de FTIR das micropartículas branco, micropartículas contendo óleo e óleo com adição de antioxidante. .... | 31 |
| Figura 4. Difratoogramas de Raios-X das micropartículas branco e adicionadas dos óleos puro e com antioxidante.....           | 32 |
| Figura 5. Imagem da amostra de bolo controle da parte (a) interna e (b) externa.....  | 34 |
| Figura 6. Imagem da amostra de bolo adicionada de 1% de partículas da parte (a) interna e (b) externa.....                    | 34 |
| Figura 7. Imagem da amostra de bolo adicionada de 3% de partículas da parte (a) interna e (b) externa.....                    | 35 |
| Figura 8. Curva de escoamento contendo curva ascendente.....  | 38 |
| Figura 9. Curva de viscosidade.....   | 38 |
| Figura 10. Curva de escoamento contendo ciclo ascendente-descendente.....   | 39 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1. Composição percentual de ácidos graxos do óleo de macadâmia. ....  | 13 |
| Tabela 2. Estabilidade oxidativa do óleo de macadâmia puro e adicionado de diferentes concentrações de ácido siríngico. .... | 26 |
| Tabela 3. Composição dos ácidos graxos e índices de qualidade nutricional do óleo de macadâmia <i>in natura</i> . ....       | 27 |
| Tabela 4. Temperaturas e entalpias de fusão para as micropartículas branco e contendo o óleo e ácido siríngico. ....         | 30 |
| Tabela 5. Parâmetros de cor para as amostras controle e adicionadas de partículas a 1 e 3%. ....                             | 34 |
| Tabela 6. Análise do Perfil de Textura (TPA). ....   | 36 |
| Tabela 7. Parâmetros reológicos encontrados a partir do modelo matemático de Herschel-Bulkley. ....                          | 39 |



## SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO</b> .....  | <b>9</b>  |
| <b>2 OBJETIVOS</b> .....   | <b>11</b> |
| 2.1 Objetivo Geral.....  | 11        |
| 2.2 Objetivos Específicos .....  | 11        |
| <b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....   | <b>12</b> |
| 3.1 Óleo de Macadâmia .....  | 12        |
| 3.2 Composição e os Efeitos Sobre a Saúde.....                                       | 13        |
| 3.3 Antioxidantes Naturais.....  | 14        |
| 3.4 Ácido Siríngico (SA) .....   | 15        |
| 3.5 Técnica de Microencapsulação .....   | 16        |
| 3.6 Liofilização .....   | 18        |
| <b>4 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....  | <b>19</b> |
| 4.1 Material .....   | 19        |
| 4.2 Estabilidade Oxidativa do Ácido Siríngico por Rancimat.....                      | 19        |
| 4.3 Obtenção das Micropartículas .....   | 20        |
| 4.4 Caracterização do Óleo <i>In Natura</i> e das Micropartículas Contendo Óleo..... | 20        |
| 4.4.1 Preparação e Separação dos Ésteres Metílicos de Ácidos Graxos .....            | 20        |
| 4.4.2 Índices de Qualidade Nutricional do Óleo <i>In Natura</i> .....                | 21        |
| 4.4.3 Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC).....                               | 22        |
| 4.4.4 Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR).....        | 22        |
| 4.4.5 Difração de Raios-X (DRX) .....  | 22        |
| 4.4.6 Eficiência de encapsulação .....   | 22        |
| 4.5 Elaboração dos Alimentos Nutricionalmente Enriquecidos .....                     | 23        |
| 4.6 Caracterização do Alimento Formulado .....                                       | 23        |
| <b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....   | <b>26</b> |
| 5.1 Estabilidade Oxidativa do Óleo de Macadâmia por Rancimat.....                    | 26        |
| 5.2 Composição e Quantificação de Ácidos Graxos no Óleo de Macadâmia .....           | 26        |
| 5.3 Qualidade Nutricional do Óleo.....   | 28        |
| 5.4 Caracterização das Micropartículas .....   | 29        |
| 5.4.1 Eficiência de Encapsulação .....   | 29        |
| 5.4.2 Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC).....                               | 30        |
| 5.4.3 Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR).....        | 31        |
| 5.4.4 Difração de Raios-X .....  | 32        |
| 5.5 Caracterização do Alimento Contendo as Micropartículas .....                     | 33        |
| 5.5.1 Medida Instrumental de Cor .....   | 33        |
| 5.5.2 Textura.....   | 36        |
| 5.5.3 Reologia.....  | 37        |
| <b>6 CONCLUSÕES</b> .....  | <b>42</b> |
| <b>REFERÊNCIAS</b> .....   | <b>43</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

A preocupação com a saúde vem se tornando cada vez maior e produtos que são enriquecidos nutricionalmente e apresentam benefícios ao organismo tem sido amplamente procurados. Produtos que contenham ácidos graxos essenciais em suas formulações são considerados alimentos funcionais, fornecendo inúmeros benefícios nutricionais e, conseqüentemente, para a saúde (ALCÂNTARA et al., 2019; MUÑOZ-TÉBAR et al., 2019). Óleos provindos da semente da macadâmia são ricos em ácidos graxos monoinsaturados (LARA et al., 2017).

O núcleo do grão da macadâmia é rico em óleo, contendo 75-80% em peso de lipídios totais para *Macadâmia integrifolia* e um pouco menos para *Macadâmia tetraphylla*. Consideravelmente é um dos óleos com maior quantidade de monoinsaturados disponíveis. O ácido oleico é o ácido graxo predominante (60%), com menores quantidades de ácidos palmítoleico (22%), palmítico (9%), esteárico (2%) e linoleico (2%). Devido à sua composição nutricional, esse óleo é frequentemente associado a benefícios à saúde, tais como diminuição do risco de doença cardiovascular e fatores de risco associados como estresse oxidativo e inflamação, níveis elevados de colesterol e diabetes. O óleo de macadâmia também apresenta uma quantidade significativa de fitoquímicos, como fenólicos, flavonóides, tocoferol e fitosteróis (BAHADORAN et al., 2013).

Como o óleo de macadâmia tem um alto teor de ácidos graxos monoinsaturados, estudos têm sido realizados para avaliar o efeito do consumo de nozes na saúde, mostrando que o consumo de nozes de macadâmia leva à redução da lipoproteína de baixa densidade (LDL) e do colesterol sérico (NAVARRO; RODRIGUES, 2016). Algumas espécies possuem alto teor de ácido oleico e baixos níveis de ácidos graxos saturados e poli-insaturados. O baixo teor de ácidos graxos poli-insaturados leva a uma maior estabilidade e menor susceptibilidade à oxidação do óleo de macadâmia, já que os ácidos graxos poli-insaturados são mais suscetíveis à degradação oxidativa (MOODLEY; KINDNESS; JONNALAGADDA, 2007).

Embora ácidos graxos essenciais apresentem um perfil nutricional benéfico à saúde, o alto grau de insaturação presente nestes óleos os tornam muito suscetíveis à oxidação. Esta degradação leva à formação de sabores e odores desagradáveis, reduzindo a vida útil do produto e promovendo a geração de radicais livres, que podem ter efeitos negativos sobre o organismo. Proteger o óleo torna-se um desafio tecnológico, sendo necessário o uso de ferramentas que retardem o seu processo oxidativo e que mantenham a estabilidade e as propriedades nutricionais destes óleos. A técnica de encapsulação de compostos vem sendo utilizada

frequentemente, considerada uma alternativa eficiente que mantêm a estabilidade oxidativa e nutricional de produtos alimentícios, já que engloba em uma matriz lipídica o composto funcional que se deseja estabilizar, com o objetivo de controlar suas condições de liberação na matriz alimentar.

O objetivo do presente trabalho foi encapsular óleo de macadâmia com adição de ácido siríngico na função de contribuir para o aumento da estabilidade oxidativa do óleo no seu uso como antioxidante, e incorporar as micropartículas resultantes em um alimento formulado, sendo este misturas para bolo.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Obter misturas para bolo contendo óleo de macadâmia microencapsulado.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Obter micropartículas de ácido behênico contendo óleo de macadâmia a partir do método de homogeneização a quente;
- Adicionar ácido siríngico para melhoria da estabilidade oxidativa do óleo;
- Caracterizar as micropartículas em relação ao perfil cromatográfico, eficiência de encapsulação, Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC), Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) e Difração de Raios-X (DRX);
- Adicionar as micropartículas em misturas para bolo;
- Caracterizar o alimento formulado com relação ao perfil de textura, cor e reologia.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Óleo de Macadâmia

Um assunto importante e que vem sendo vastamente discutido é a saúde relacionada com a dieta e a busca por produtos que contenham compostos essenciais em sua composição. A maioria dos compostos que beneficiam a saúde são derivados de plantas, sendo fontes de antioxidantes, ácidos graxos ômega-insaturados, vitaminas, minerais, compostos fenólicos e pigmentos. Além da nutrição básica, os óleos vegetais são consumidos por suas várias propriedades funcionais, incluindo uso gastronômico, nutricional, sensorial, antioxidante, anti-inflamatório, antimicrobiano, anti-hipertensão, antienvhecimento, anticâncer, antidiabético, antidepressivo, entre outras funções desejáveis (BAKRY et al., 2016).

As nozes da macadâmia (Figura 1) são altamente nutritivas, pois contêm nutrientes essenciais, incluindo vitaminas (especialmente B6), minerais (manganês, ferro, magnésio), carboidratos e fibras alimentares (LARA et al., 2017; MERELES et al., 2017). Quatro tipos de espécies de macadâmia são conhecidos, sendo estas *Macadamia integrifolia*, *Macadamia janseni*, *Macadamia ternifolia* e *Macadamia tetraphylla* (MAST et al., 2008). Tais espécies fazem parte da família Proteaceae e apenas duas são consideradas de importância comercial devido suas nozes (*M. integrifolia* e *M. tetraphylla*), enquanto as outras duas espécies produzem nozes com compostos tóxicos, não sendo adequado para o consumo humano (CARRILLO et al., 2017). Em comparação com outras nozes comestíveis nutritivas, como as amêndoas, as nozes de macadâmia contêm uma grande quantidade de gorduras (75%), particularmente as gorduras monoinsaturadas, que representam 59% do seu teor total de gordura (LARA et al., 2017; MERELES et al., 2017).

O tipo mais abundante de ácido graxo presente no óleo de macadâmia são os ácidos graxos monoinsaturados, sendo o ácido oleico predominante (60%), com quantidades menores de ácidos palmitoléico (22%), palmítico (9%), esteárico (2%) e linoléico (2%) (WALLACE; WALTON, 2011). Quantidades menores de ácidos graxos saturados (15%) e poli-insaturados (10%) também estão em sua composição (HU et al., 2019). A composição de ácidos graxos do óleo de macadâmia foi resumida na Tabela 1.

O baixo conteúdo de ácidos graxos poli-insaturados leva a uma maior estabilidade e menor suscetibilidade à oxidação do óleo de macadâmia, pois os ácidos graxos poli-insaturados

são mais suscetíveis à degradação oxidativa (MOODLEY; KINDNESS; JONNALAGADDA, 2007).

**Tabela 1.** Composição percentual de ácidos graxos do óleo de macadâmia

| Ácido graxo                   | Área percentual (%) |
|-------------------------------|---------------------|
| 12:0 ácido Laurico            | Menor que 0,5       |
| 14:0 ácido Mirístico          | 0,5-2,0             |
| 16:0 ácido Palmítico          | 6,0-9,5             |
| 16:1 (n-7) ácido Palmitoléico | 15,0-22,0           |
| 18:0 ácido Esteárico          | 2,0-5,5             |
| 18:1 (n-9) ácido Oleico       | 55,0-67,0           |
| 18:1 (n-7) ácido Vacênico     | 3,0                 |
| 18:2 (n-6) ácido Linoléico    | 1,0-5,5             |
| 18:3 (n-3) ácido Linolênico   | 0,1-3,0             |
| 20:0 (n-9) ácido Araquidônico | 1,5-3,5             |
| 20:1 ácido Eicosanoico        | 1,5-3,8             |
| 22:0 ácido Behênico           | 0,1-1,5             |

Fonte: Hu et al., 2019.

**Figura 1.** Noz de macadâmia.



Fonte: Leite (2019).

### 3.2 Composição e os Efeitos Sobre a Saúde

O aumento da ocorrência de doenças crônicas como obesidade e doenças cardiovasculares vêm sendo uma grande preocupação à saúde humana. A ingestão excessiva de

macronutrientes está associada com o aumento de tais doenças, relacionando-se com uma dieta não-saudável. A ingestão de gordura foi considerada um ponto crítico, pois dependendo do tipo de gordura consumida pode ser prejudicial à saúde (HU et al., 2019).

Estudos recentes apontam que a substituição de gorduras saturadas por gorduras insaturadas pode ser uma prevenção eficaz para doenças crônicas (CLIFTON; KEOGH, 2017). O consumo regular de gorduras monoinsaturadas está associado ao menor colesterol LDL no sangue e há evidências para mostrar que o consumo regular de macadâmia pode reduzir o colesterol e ajudar a reduzir o risco de doença arterial coronariana. Mesmo o consumo a curto prazo pode melhorar os biomarcadores de estresse oxidativo, trombose e inflamação e diminuir o colesterol LDL (GARG et al., 2007).

A noz de macadâmia apresenta-se como uma boa fonte de proteína, já que contém quantidades relativas de todos os aminoácidos essenciais relacionados às necessidades nutricionais de crianças e adultos (FREITAS; NAVES, 2010). Alguns autores determinaram o teor de proteína e chegaram a resultados variando de 8 a 20%, sendo dependente da cultivar (MARO et al., 2012).

A fibra também é um composto importante que está presente em quantidade significativa no núcleo da macadâmia. O consumo de fibra apresenta benefícios na manutenção da saúde e prevenção de doenças. Munro e Garg (2008) encontraram valores variando de 5 a 10% de fibras, enquanto outros autores, como Griel et al. (2007) e Maro et al. (2012) encontraram valores próximos a 9 e a 6%, respectivamente.

Com relação ao conteúdo mineral, a macadâmia também apresenta valores altos para cálcio, magnésio, zinco (MOODLEY; KINDNESS; JONNALAGADDA, 2007) e potássio (ROS, 2010). Tais minerais encontrados na sua composição favorece o seu consumo, sendo que estes minerais consumidos em uma alimentação combinada com uma baixa ingestão de sódio, auxiliam na prevenção de doenças como as cardiovasculares, hipertensão, desmineralização óssea e resistência à insulina (ROS, 2010).

### **3.3 Antioxidantes Naturais**

A utilização de antioxidantes na indústria alimentícia apresenta uma proposta atenciosa com relação ao seu uso como conservante, pois evita a deterioração de alimentos por oxidação, além de reduzir a perda de valor nutricional, garantindo um alimento em suas condições naturais para o consumo por um tempo prolongado (BALLESTEROS et al., 2017).

Além disso, estudos nas áreas da saúde também relataram que uma dieta contendo compostos antioxidantes naturais apresenta inúmeros benefícios à saúde, relacionado como um auxílio no tratamento de doenças causadas pelo acúmulo de produtos derivados de reações que levam à produção de radicais livres no organismo como o câncer, doenças cardiovasculares, doenças neurodegenerativas (Alzheimer e Parkinson) e diabetes (YASHIN et al., 2013).

A ingestão de alimentos que contenham compostos antioxidantes naturais é uma alternativa para reduzir o estresse oxidativo, já que tais compostos tem a capacidade de retardar ou finalizar a reação em cadeia causada pelos radicais livres (OROIAN; ESCRICHE, 2015). Alimentos como vegetais, frutas, grãos, entre outros apresentam em sua composição antioxidantes naturais, sendo assim, a ingestão destes pode evitar o aparecimento de várias doenças. Porém, somente o consumo desses alimentos não é o suficiente para a quantidade de ingestão necessária de antioxidantes. A partir deste ponto, surge uma alternativa para auxiliar na questão mencionada acima, sendo, portanto, o consumo de alimentos funcionais enriquecidos com antioxidantes (YASHIN et al., 2013).

Porém, a utilização de antioxidantes naturais na indústria de alimentos é limitada, pois estes são facilmente oxidados e apresentam sensibilidade à luz e ao calor (LOZANO-VAZQUEZ et al., 2015). Há ainda compostos que apresentam sabor desagradável, baixa disponibilidade e limitações quanto as condições de processamento e armazenamento (LEVI et al., 2011). Pensando na possibilidade de reverter esses problemas, uma técnica confiável é a microencapsulação, sendo capaz de melhorar o tempo de retenção do nutriente nos alimentos, permitir a liberação controlada e direcionada, garantir a estabilidade de compostos bioativos durante seu processamento e armazenamento, diminuir a velocidade do processo de degradação oxidativa, aumentar a biodisponibilidade, mascarar o gosto ou odor, mantendo assim a funcionalidade do composto bioativo (AGNIHOTRI et al., 2012).

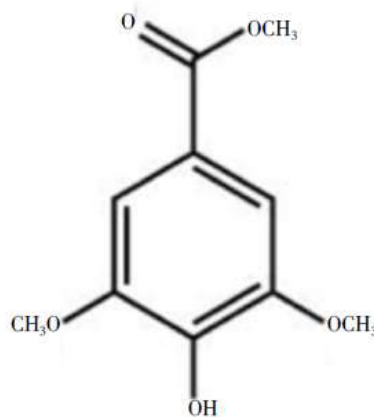
### **3.4 Ácido Siríngico (SA)**

Os ácidos fenólicos são antioxidantes capazes de retardar os efeitos prejudiciais do estresse oxidativo, atuando como sequestradores de radicais livres ou agentes quelantes de metais. Suas propriedades antioxidantes são resultados da presença de um anel aromático, um grupo carboxila e um ou mais grupos hidroxila e/ou metoxila na molécula (AGATONOVIC-KUSTRIN; KUSTRIN; MORTON, 2018). São excelentes antioxidantes e são mais eficazes que as vitaminas C, E e os carotenoides (DAI; MUMPER, 2010).



O ácido siríngico (SA) (ácido 4-hidroxi-3,5-dimetoxibenzóico) (Figura 2) é representado pelo grupo dos compostos fenólicos e é um fitoquímico natural isolado de *Isatis indigotica* e *Radix isatidis*. As raízes de *I. indigotica* são usadas na medicina chinesa para tratar a bronquite (RAMACHANDRAN; SARAVANAN; RAJA, 2012). Além disso, o SA apresenta propriedades multifarmacológicas, como forte antioxidante, antiproliferativo (KAMPA et al., 2004), antiendotóxico e efeitos anticâncer (GUIMARÃES et al., 2007).

**Figura 2.** Estrutura do ácido siríngico



Fonte: Muthukumaran et al. (2013).

### 3.5 Técnica de Microencapsulação

A técnica de microencapsulação vêm sendo amplamente utilizada em estudos, por ser um método de estabilização que protege compostos bioativos do calor, luz e oxigênio, garantindo estabilidade, biodisponibilidade, liberação controlada, mantendo as propriedades funcionais e aumentando a facilidade de manuseio de determinados materiais e alimentos (FANG; BHANDARI, 2012). Vitaminas, pigmentos, compostos voláteis e óleos essenciais são exemplos de compostos bioativos funcionais e naturais comumente microencapsulados (HOYOS-LEYVA et al., 2019).

A microencapsulação de óleos é uma das maneiras mais eficazes de proteger seu conteúdo nutricional e suas propriedades sensoriais. A técnica aumenta a estabilidade oxidativa dos óleos, pois eles podem ser deteriorados devido à degeneração oxidativa que pode causar sabor indesejado e formação de radicais livres (BAKRY et al., 2016). É uma técnica promissora e pode ser uma alternativa válida para a prevenção da oxidação de óleos, melhorando sua estabilidade nos sistemas alimentares.

Basicamente, esta técnica resulta em uma partícula sólida, líquida ou gasosa (conhecido como núcleo) que é envolvida e protegida por um material de parede, criando uma micropartícula, objetivando a proteção destes contra reações adversas, perda volátil ou deterioração nutricional e sensorial. No caso de óleos, a encapsulação é uma alternativa que modifica para a forma de pó, facilitando sua manipulação e aplicação em outros produtos (DUBEY; SHAMI; RAO, 2009). Resumidamente, a microencapsulação pode ser definida como um processo de construção de uma barreira funcional entre o núcleo e o material da parede para evitar reações químicas e físicas e manter as propriedades biológicas, funcionais e físico-químicas dos materiais do núcleo (BAKRY et al., 2016).

Um dos pontos críticos relacionado à técnica é a escolha do material de parede, ou agente encapsulante, pois é variável para cada produto. O caráter anfifílico e as propriedades de emulsificação das proteínas, como o caseinato de sódio (NaCas) apresentam características físicas e funcionais com boa atividade para encapsular os materiais do núcleo lipídico. No entanto, a seleção de um material de revestimento adequado para ácidos graxos essenciais depende de sua capacidade de estabilizar e proteger o óleo da degradação durante as condições de processamento e armazenamento, e também deve ser aprovado para uso alimentar (QUISPE-CONDORI; SALDAÑA; TEMELLI, 2011).

Alguns trabalhos realizados com o objetivo de microencapsular óleos com alto teor de ácidos graxos monoinsaturados apresentam resultados satisfatórios. O óleo de girassol é rico em ácido graxo monoinsaturado de cadeia longa (45%) e ácidos graxos essenciais. A microencapsulação por secagem com spray de óleo de girassol aumentou a estabilidade oxidativa, com alto teor de óleo de girassol retido em micropartículas com maltodextrina e hidroxipropilmetilcelulose usada como material de parede (ROCCIA et al., 2014). O óleo de girassol também foi usado para dissolver a astaxantina, um tipo de carotenóide encontrado em animais marinhos, e encapsulado com misturas de proteínas e fibras do leite por secagem em spray, a fim de melhorar a estabilidade e a aplicação do carotenóide nos sistemas alimentares (SHEN; QUEK, 2014).

O azeite é de importância dietética, que apresenta um perfil lipídico de aproximadamente 56% a 87% de ácidos graxos monoinsaturados, 8% a 25% de ácidos graxos saturados e 8% a 22% de ácidos graxos poli-insaturados (KOUTSOPOULOS; KOUTSIMANIS; BLOUKAS, 2008), também vitaminas e polifenóis essenciais que contribuem para a estabilidade do óleo (LOCKYER; ROWLAND, 2014). Verificou-se que a microencapsulação de azeite de oliva a vida útil do óleo sem alterar o perfil de ácidos graxos (CALVO et al., 2012).

O óleo de abacate contém uma alta concentração (70%) de ácido oleico, vitaminas, minerais e fitosteróis, sendo um óleo amplamente utilizado em produtos alimentícios, farmacêuticos e cosméticos. Bae e Lee (2008) descobriram que a microencapsulação de óleo de abacate melhorou sua estabilidade oxidativa.

### **3.6 Liofilização**

O processo de liofilização é uma técnica muito utilizada para microencapsulação. No ramo alimentício, sua aplicação consiste na transformação de líquido em sólido, com o objetivo de facilitar a manipulação, o transporte e a adição de formulações, realizar a liberação controlada do material ativo encapsulado, mascarar sabor e odor, aumentar a vida útil e proteger compostos de luz, umidade e calor (BARRETT et al., 2011).

A liofilização é um processo simples, utilizado para a desidratação de quase todos os materiais sensíveis ao calor e aromas como óleos. Os materiais liofilizados retêm uma maior quantidade de compostos voláteis em comparação com a secagem por pulverização. Essa técnica apresenta uma boa eficiência de encapsulação para alguns óleos, como peixe, linhaça, nozes e azeite de oliva (CALVO et al., 2012; KARACA; NICKERSON; LOW, 2013).

A sua utilização depende de algumas etapas, sendo congelamento, sublimação (primeira secagem), dessorção (segunda secagem) e armazenamento (LAOKULDILOK; KANHA, 2015). Consiste em um processo simples e conta com algumas vantagens como, baixa temperatura de operação, processo com ausência de ar, que garante produtos de qualidade prolongada e a prevenção de deteriorações causadas por oxidação ou modificação química (HARYANI; KUNZ, 2011). A liofilização é a técnica mais adequada para a desidratação de quase todas as substâncias sensíveis ao calor, como óleos naturais, cores, aromas, medicamentos e componentes solúveis em água (DESAI; PARK, 2005).

Além de proteger os materiais do núcleo sensíveis ao calor, a liofilização é simples e fácil de operar. Amostras liofilizadas apresentam-se mais resistentes à oxidação. As principais desvantagens incluem alto uso de energia, longo tempo de processamento e altos custos de produção em comparação com outros métodos de secagem. No entanto, as estruturas porosas dos produtos bioativos liofilizados oferecem maior liberação de medicamentos (SINHA et al., 2007).

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Material

Foi utilizado o óleo de semente de macadâmia adquirido da empresa Veris Óleos Ltda. Compritol 888 ATO (Gattefossé, composto por glicerídeos de ácido behênico) e caseinato de sódio (Sigma-Aldrich) foram utilizados como encapsulante e estabilizante na obtenção das micropartículas, respectivamente. Ácido siríngico foi adquirido da Sigma-Aldrich. Tricosanoato de metila (23:0 Me, padrão cromatográfico, Sigma-Aldrich), isoctano (grau cromatográfico, Êxodo Científica), reagente esterificante (preparado pela dissolução de 2,0 g de cloreto de amônio (99,7%, Neon), 60,0 mL de metanol (99,8%, Vetec) e 3,0 mL de ácido sulfúrico (98%, Neon), solução metanólica de hidróxido de sódio (Chemco) 0,5 mol.L<sup>-1</sup>, solução saturada de cloreto de sódio (Êxodo Científica) foram utilizados para realização das análises de cromatografia gasosa. Padrão FAME Mix C14-C24 (Sigma-Aldrich) foi utilizado na identificação dos ácidos graxos. Ar sintético (21% oxigênio e 79% nitrogênio, White Martins); nitrogênio (White Martins) e hidrogênio (White Martins) foram utilizados para as análises térmicas e cromatográficas. Utilizou-se brometo de potássio (KBr, Sigma-Aldrich, grau espectroscópico) na preparação das pastilhas para a Espectroscopia de Infravermelho. Misturas para bolo sabor baunilha foram adquiridas de comércio local para elaboração do alimento enriquecido com micropartículas de óleo de macadâmia.

### 4.2 Estabilidade Oxidativa do Ácido Siríngico por Rancimat

Para a escolha da concentração utilizada de ácido siríngico a partir da sua estabilidade oxidativa por Rancimat (892 Professional Rancimat, Metrohm), foram acondicionados 3 g de amostra de óleo contendo concentrações de 75, 150, 300 e 500 ppm em suporte para análise. A temperatura do equipamento ficou constante em 131 °C e os resultados obtidos foram equivalentes a horas com auxílio do software StabNet, avaliando o tempo resultante para a degradação dos óleos a uma temperatura constante.

### 4.3 Obtenção das Micropartículas

As micropartículas contendo os óleos foram preparadas segundo método proposto por Rojas et al. (2019). A fase aquosa foi constituída da dissolução de caseinato de sódio (0,660 g) em água destilada (600,0 mL) aquecida até 85 °C mantendo agitação branda. Posteriormente, um frasco de borossilicato encamisado foi conectado a um banho termostático a 85 °C e, em seguida, Compritol (40,2 g) foi adicionado para ser fundido. Logo após, adicionou-se óleo de macadâmia (19,8 g) ao frasco sob agitação branda durante 1 minuto. No caso da adição do antioxidante, o ácido siríngico (0,0055 g) foi adicionado nessa etapa e misturado por mais 1 minuto. Em seguida, a fase aquosa sob agitação (8.600 rpm, 5 minutos) foi adicionada utilizando um dispersor de alta eficiência (Ultraturrax IKA, modelo T25, ponteira S25N10G). Ao término desta etapa, a dispersão obtida foi vertida em um recipiente em banho de gelo para resfriamento rápido e solidificação das partículas. Por fim, as micropartículas dispersas foram liofilizadas (Liotop L101) e armazenadas a 10 °C ao abrigo da luz até utilização. Seguiu-se este procedimento tanto para a obtenção das partículas do óleo de macadâmia e das partículas de óleo contendo o ácido siríngico quanto para a obtenção das partículas sem adição de óleo (micropartículas branco).

### 4.4 Caracterização do Óleo *In Natura* e das Micropartículas Contendo Óleo

As análises realizadas para a caracterização das micropartículas contendo o óleo de macadâmia foram realizadas com a finalidade de comparar o óleo *in natura* com o óleo microencapsulado, para avaliação da efetividade da técnica relacionado com a estabilidade do óleo.

#### 4.4.1 Preparação e Separação dos Ésteres Metílicos de Ácidos Graxos

A preparação de ésteres metílicos de ácidos graxos (EMAG) foi realizada seguindo o método descrito por Hartman & Lago (1973), com algumas adaptações. O padrão interno utilizado foi o tricosenoato de metila (23:0), sendo realizadas três repetições.

Em um tubo com tampa rosqueável foram adicionados 500 µL de solução de padrão interno em isoctano (grau cromatográfico) na concentração de 1,0 mg.mL<sup>-1</sup>. Após evaporação do solvente sob fluxo de nitrogênio gasoso, a amostra (20 a 30 mg) foi pesada no mesmo tubo.

Em seguida, adicionou-se 4 mL de solução metanólica de NaOH 0,5 mol.L<sup>-1</sup> e agitou-se por 30 segundos. Após, o tubo foi aquecido em banho a 100 °C durante 5 minutos e resfriado em água corrente até atingir a temperatura ambiente. Em seguida, adicionou-se 5 mL do reagente esterificante, agitando novamente por 30 segundos, aquecendo por 5 minutos e resfriando em água corrente. Foi adicionado 0,5 mL de solução saturada de NaCl e 2 mL de isoctano, sendo agitado por 30 segundos entre as adições. A amostra esterificada foi deixada em repouso a 10 °C para uma melhor separação das fases. Após o repouso de aproximadamente 24 horas, recolheu-se o sobrenadante contendo os ésteres metílicos de ácidos graxos (EMAGs), sendo acondicionado em um vial e mantido a -20 °C até o momento das análises no cromatógrafo a gás.

Os ésteres metílicos dos ácidos graxos (EMAG) do óleo de macadâmia foram separados em um cromatógrafo a gás (Shimadzu, GC-2010 Plus AF) equipado com auto injetor capilar Split/Splitless, utilizando a razão 1:40 na temperatura de 230 °C, detector de ionização por chama (FID) na temperatura de 240 °C, controlador de fluxo e pressão automáticos e coluna capilar com fase 70% cianopropil polisilfenileno, modelo BPX70 (60 m x 0,25 mm x 0,25 µm). O fluxo de gases (White Martins) foi de 1,2 mL.min<sup>-1</sup> para o gás de arraste (H<sub>2</sub>) e 30 mL.min<sup>-1</sup> para o gás auxiliar (N<sub>2</sub>). Foram utilizadas vazões para os gases de chama de 40 mL.min<sup>-1</sup> para o hidrogênio e 400 mL.min<sup>-1</sup> para o ar sintético. A temperatura da coluna foi de 180 °C por 15 minutos, sendo elevada até 225 °C a uma taxa de 10 °C.min<sup>-1</sup>, permanecendo nesta temperatura por 10 minutos. As injeções foram realizadas em triplicata com volume de injeção de 1 µL. As áreas dos picos foram integradas utilizando software GCsolution versão 2.41 (Shimadzu). A identificação dos ácidos graxos foi realizada por comparação do tempo de retenção e adição de padrões (Sigma-Aldrich, F.A.M.E. Mix C14-C24). Os resultados estão apresentados como porcentagem de ácidos graxos.

#### 4.4.2 Índices de Qualidade Nutricional do Óleo *In Natura*

A qualidade nutricional do óleo de macadâmia *in natura* foi avaliada pelas razões dos somatórios PUFA/SFA, ácidos graxos n-6/ ácidos graxos n-3 (n-6/n-3), pelos índices de aterogenicidade (IA, Equação 1), trombogenicidade (IT, Equação 2) (Ulbricht e Southgate,1991); e razão entre ácidos graxos hipocolesterolêmicos e hipercolesterolêmicos (Equação 2) (SANTOS-SILVA; BESSA; SANTOS-SILVA, 2002).

$$(IA) = [(C12:0 + (4 \times C14:0) + C16:0)]/(\Sigma AGMI + \Sigma n6 + \Sigma n3); \quad (1)$$

$$(IT) = (C14:0 + C16:0 + C18:0) / [(0,5 \times \Sigma AGMI) + (0,5 \times \Sigma n6 + (3 \times \Sigma n3) + (\Sigma n3 / \Sigma n6))] \quad (2)$$

$$(HH) = (C18:1n9 + C18:2n6 + C20:4n6 + C18:3n6 + C20:5n3 + C22:5n3 + C22:6n3) / (C14:0 + C16:0). \quad (3)$$

#### 4.4.3 Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC)

Para a determinação da temperatura e entalpia de fusão do material encapsulante, foi utilizado Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC, Perkin Elmer 4000) com fluxo de nitrogênio gasoso de 50 mL.min<sup>-1</sup> em uma taxa de aquecimento de 20 °C.min<sup>-1</sup> para a faixa de temperatura de 25 °C a 300 °C. Aproximadamente 10 mg de amostra foram acondicionadas em porta-amostras de alumínio fechadas.

#### 4.4.4 Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

A análise de FTIR (Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier) foi realizada a partir da preparação de pastilhas de KBr seco (aproximadamente 100 mg) e amostra (aproximadamente 10 mg), analisada em equipamento Shimadzu (IR Affinity-1), com resolução de 2 cm<sup>-1</sup> de 4000 a 400 cm<sup>-1</sup> e 32 varreduras acumuladas.

#### 4.4.5 Difração de Raios-X (DRX)

Para a análise de Difração de Raios-X (DRX) foi utilizado um difratômetro (Bruker, D8 Advance), realizada com radiação de Cu-K $\alpha$  gerada a 40 KV e 35 mA, variando de 10 ° a 60 ° (2 $\theta$ ) a uma taxa de 5,9 °.min<sup>-1</sup>.

#### 4.4.6 Eficiência de encapsulação

As micropartículas contendo óleo de macadâmia foram lavadas com etanol. Aproximadamente 2 g de micropartículas contendo óleo foram suspensas em 10 mL de etanol. A mistura foi levemente agitada, filtrada com papel de filtro qualitativo (3 micrômetros de porosidade) sob vácuo. O resíduo sólido foi enxaguado com etanol por 3 vezes.

Na sequência, aproximadamente 20 mg de micropartículas liofilizadas foram submetidas a reação de transesterificação pelo método de Hartman & Lago (1973), descrito no

item 4.4.1. Preparação e separação dos ésteres metílicos de ácidos graxos. Os ésteres metílicos de ácidos graxos foram analisados e quantificados sob as mesmas condições descritas no mesmo item.

Para o cálculo da eficiência de encapsulação, foi utilizado como referência o ácido graxo oleico (18:1n-9), o mais abundante no óleo de macadâmia. Para determinar a eficiência da encapsulação (EE%), foi utilizada a relação entre a concentração total ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ) do ácido graxo presente no óleo de macadâmia ( $[\text{AG}]_{\text{total}}$ ) e a concentração do ácido graxo nas partículas lavadas ( $[\text{AG}]_{\text{encapsulado}}$ ), conforme a Equação 4.

$$EE (\%) = \frac{[\text{AG}]_{\text{encapsulado}}}{[\text{AG}]_{\text{total}}} \cdot 100 \quad (4)$$

#### 4.5 Elaboração dos Alimentos Nutricionalmente Enriquecidos

Para a elaboração do alimento enriquecido nutricionalmente, foram adicionadas as micropartículas contendo o óleo em mistura comercial para bolo. As proporções analisadas foram de 0%, 1,0% e 3,0% em massa. A preparação do bolo para avaliação seguiu as instruções do fabricante, com a adição das micropartículas de óleos e o assamento se deu por pré-aquecimento do forno por 15 minutos à temperatura média de 180 °C e o tempo de cozimento foi adequado para o tamanho da forma utilizada, sendo de 40 a 45 minutos a 180 °C em forma retangular de 22x33 cm.

#### 4.6 Caracterização do Alimento Formulado

Com o auxílio de um colorímetro (Konica Minolta CR-400), foi realizada a análise colorimétrica para o bolo de baunilha assado definido como controle (sem adição de partículas) e para o bolo contendo as partículas a 1 e 3%. Os parâmetros obtidos foram  $L^*$  (luminosidade),  $a^*$  (- tende a verde; + tende a vermelho) e  $b^*$  (- tende a azul; + tende a amarelo) (ALTUNKAYA et al., 2013), os quais foram utilizados para calcular o ângulo de tonalidade (ângulo Hue,  $h^\circ$ ) e a saturação (Chroma,  $C^*$ ) de acordo com as Equações 5 e 6, respectivamente (LANCASTER et al., 1997; LEMES et al., 2017). As análises foram feitas em duplicata, com três leituras de cada replicata.



$$h^{\circ} = \tan^{-1} \left( \frac{b^*}{a^*} \right) \quad (5)$$

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (6)$$

O estudo do comportamento reológico foi realizado na mistura pronta, com velocidade de rotação do *spindle* partindo do zero até o máximo de 150 rpm, dependendo da amostra. As propriedades reológicas foram determinadas utilizando-se o reômetro Brookfield DV-III Ultra em duplicata, utilizando-se para cada repetição uma nova amostra igual a anterior, para evitar possíveis efeitos do tempo e de cisalhamento da amostra. Os dados coletados pelo reômetro em fase estacionária foram tensão de cisalhamento, taxa de deformação e viscosidade aparente. Foi avaliado os parâmetros do modelo de Herschel-Bulkley, representado na Equação 7. O modelo escolhido para realizar os ajustes é o mais utilizado e que melhor representa sistemas coloidais (CHIVERO et al., 2016).

$$\sigma = \sigma_0 + k \cdot \dot{\gamma}^n \quad (7)$$

Onde:

$\sigma$ – Tensão de cisalhamento (Pa);

$\sigma_0$ – Tensão inicial (Pa);

$k$  – Índice de consistência (Pa.s<sup>n</sup>);

$\dot{\gamma}$ – Taxa de deformação (s<sup>-1</sup>);

$n$  – Índice de comportamento de fluxo (adimensional).

As curvas de escoamento foram formadas por uma subida (da menor para a maior tensão de cisalhamento) e uma descida (sentido contrário), com o objetivo de obter na descida dados de tensão e taxa de deformação isentos de efeitos de estruturas dependentes do tempo. A partir destes dados realizou-se os ajustes dos modelos. Além disso, através da área formada, a curva de escoamento indica a presença ou ausência de histerese.

As propriedades mecânicas do bolo formulado com adição das micropartículas nas concentrações pré-definidas foram avaliadas em texturômetro (TA.XT Express, Stable Micro Systems), com probe de compressão em forma de disco de 35 mm de diâmetro e uma célula de carga 10 kg, utilizando velocidade de retorno de 5 mm.s<sup>-1</sup>, distância de penetração de 20 mm e

força de contato de 0,1961 N. Foram analisadas 12 amostras para cada formulação e os parâmetros avaliados são dureza (N), elasticidade (mm), mastigabilidade (N.mm), gomosidade (N), coesividade (-) e resiliência (-).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Estabilidade Oxidativa do Óleo de Macadâmia por Rancimat

Na Tabela 2 estão apresentados os resultados obtidos por Rancimat, estabelecidos em horas resultantes da degradação do óleo de macadâmia contendo o óleo puro (sem adição de ácido siríngico) e óleo adicionado de concentrações de 75, 150, 300 e 500 ppm de ácido siríngico.

**Tabela 2.** Estabilidade oxidativa do óleo de macadâmia puro e adicionado de diferentes concentrações de ácido siríngico

| Concentração (ppm)                | Resultado (minutos) |
|-----------------------------------|---------------------|
| 0 (sem adição de ácido siríngico) | 0,71 ± 0,01         |
| 75                                | 0,87 ± 0,04         |
| 150                               | 0,94 ± 0,08         |
| 300                               | 0,97 ± 0,00         |
| 500                               | 1,37 ± 0,03         |

Ppm: partes por milhão.  
Fonte: Autoria Própria.

Esta análise teve como objetivo a escolha da concentração utilizada de ácido siríngico a ser adicionada ao óleo de macadâmia na elaboração das micropartículas, em comparação com o resultado obtido para o óleo puro, ou seja, sem adição de ácido siríngico. Portanto, a concentração escolhida foi de 500 ppm, apresentando resultado de  $1,37 \pm 0,03$  minutos, referindo-se a sua estabilidade oxidativa, ou seja, tempo estimado para a degradação do óleo referente a concentração utilizada.

### 5.2 Composição e Quantificação de Ácidos Graxos no Óleo de Macadâmia

A composição percentual e somatórios dos ácidos graxos presentes no óleo de macadâmia estão apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3.** Composição dos ácidos graxos e índices de qualidade nutricional do óleo de macadâmia *in natura*

| Ácidos graxos | Concentração de ácido graxo (%) |
|---------------|---------------------------------|
| 14:0          | 0,79 ± 0,08                     |
| 16:0          | 9,44 ± 0,81                     |
| 16:1          | 15,33 ± 0,22                    |
| 18:0          | 3,36 ± 0,39                     |
| 18:1n9c       | 57,51 ± 0,93                    |
| 18:1n7c       | 3,32 ± 0,16                     |
| 18:2n6c       | 5,12 ± 0,03                     |
| 18:3n3        | 1,19 ± 0,19                     |
| 20:0          | 1,94 ± 0,12                     |
| 20:1n9        | 1,99 ± 0,05                     |
| ΣSFA          | 15,53 ± 0,91                    |
| ΣMUFA         | 78,16 ± 0,97                    |
| ΣPUFA         | 6,31 ± 0,20                     |
| n-3           | 1,19±0,20                       |
| n-6           | 5,12±0,03                       |
| n-9           | 59,51±0,76                      |
| ΣPUFA/ΣSFA    | 0,41±0,03                       |
| n-6/n-3       | 4,30±0,71                       |
| IA            | 0,15                            |
| IT            | 0,28                            |
| HH            | 6,12                            |

SFA: do inglês *Saturated Fatty Acids* (Ácidos Graxos Saturados); MUFA: do inglês *Monounsaturated Fatty Acids* (Ácidos Graxos Monoinsaturados); PUFA: do inglês *Polyunsaturated Fatty Acids* (Ácidos Graxos Poli-insaturados). IA: índice de aterogenicidade; IT: índice de trobogenicidade; HH: razão dos ácidos graxos hipocolesterolêmicos e hipercolesterolêmicos.

Fonte: Autoria Própria.

Foram identificados majoritariamente 10 ácidos graxos no óleo de macadâmia. Os maiores percentuais, dentre as classes, foram para os SFA o ácido palmítico (9,44%), para os MUFA os ácidos oleico (57,51%) seguido do palmitoléico (15,33%) e para os PUFA o ácido linoleico (5,12%).

A macadâmia é um alimento rico em ácidos graxos monoinsaturados (MUFAs), sendo encontrado um somatório de 78,16 ± 0,97%, representado principalmente pelas grandes quantidades de ômega-9 presente em sua estrutura (59,51%). O ácido oleico é considerado um excelente inibidor da síntese de colesterol e triglicerídeos, minimizando o risco de doenças cardíacas (SINANOGLOU et al., 2014).

A macadâmia é a noz mais rica em óleo, com cerca de 75% de conteúdo de óleo que é altamente utilizado pela indústria alimentícia, principalmente em produtos de confeitaria (BOROMPICHAICHARTKUL ET AL., 2009), pela indústria farmacêutica e de cosméticos (NAVARRO; RODRIGUES, 2016). Além disso, o seu conteúdo de óleo é obtido como um importante indicador da qualidade do núcleo, uma vez que é rica em ácidos graxos insaturados (> 80%) (RENGEL et al., 2015). Em comparação com outras nozes e oleaginosas comestíveis (geralmente abaixo de 6%), as nozes de macadâmia apresentam altas concentrações de ácido palmitoléico (15-22%) (AQUINO-BOLANOS, 2016). Comparando com os valores apresentados por Hu et al. (2019), todos os valores se encontram dentro da faixa de concentração para cada ácido graxo presente na macadâmia, confirmando o seu elevado teor de ácidos graxos monoinsaturados.

### 5.3 Qualidade Nutricional do Óleo

O perfil dos ácidos graxos foi utilizado para avaliar parâmetros nutricionais, como as razões PUFA/SFA, n-6/n-3 e os índices IA, IT e HH do óleo de macadâmia, os quais encontram-se na Tabela 3. O valor encontrado para a razão entre PUFA/SFA foi 0,41, enquanto que para n-6/n-3 foi 4,30. Esses resultados encontram-se próximos aos recomendados para os lipídios utilizados na alimentação humana, sendo mínimo de 0,45 para a razão PUFA/SFA e máximo de 4,0 entre n-6/n-3 (FAO, 2010). O consumo de fontes lipídicas que apresentem razões de ácidos graxos diferente das recomendadas podem estar associadas a doenças cardiovasculares. Dietas baseadas em alimentos ricos em ácidos graxos saturados pode levar a um aumento do nível de colesterol total de HDL, enquanto que MUFA e PUFA levam a uma redução (BO et al., 2019).

Os índices de aterogenicidade e trombogenicidade estão relacionados à agregação de plaquetas, com isso, baixos índices representam maior o potencial de prevenção ao aparecimento de doenças coronárias. Os resultados obtidos para IA (0,15) e IT (0,28) encontram-se abaixo do indicado por Fehily et al. (1992), que indicam valores de no máximo 0,72 e 1,27, respectivamente, sugerindo assim características mais saudáveis ao óleo de macadâmia.

A razão entre a quantidade de ácidos graxos hipocolesterolêmicos e hipercolesterolêmico (HH) está relacionada a funcionalidade dos ácidos graxos no metabolismo do colesterol (WOŁOSZYN et al., 2020). Em termos nutricionais as razões mais

altas são mais desejáveis, indicando maior composição em ácidos graxos hipocolesterolêmicos, os quais atuam na redução de doenças cardiovasculares. O valor encontrado no óleo de macadâmia foi de 6,12, estando de acordo com os valores desejáveis para óleos e gorduras saudáveis, sendo melhores valores acima de 1,0 (KOUŘIMSKÁ et al., 2018; MAPIYE et al., 2011).

As necessidades sociais, econômicas, ambientais e de saúde motivam o estudo das propriedades físico-químicas e biológicas dos óleos e gorduras de espécies oleaginosas, em questão as cultivadas na região norte do Brasil. Com isso, o conhecimento dos índices de aterogenicidade e trombogenicidade pode indicar o uso mais seguro de óleos e gorduras na alimentação humana. Pereira et al. (2019) estudaram a fração lipídica de algumas dessas oleaginosas, onde encontraram grandes variações nos valores dos índices IA e IT, sendo os menores no óleo de patauá (*Oenocarpus bataua*) 0,10 e 0,18 e os maiores na gordura de Murumuru (*Astrocaryum murumuru*) 14,60 e 6,69, respectivamente. O que comprova a necessidade do conhecimento das características da fração lipídica para um uso mais seguro na alimentação humana e ou industrial.

## 5.4 Caracterização das Micropartículas

### 5.4.1 Eficiência de Encapsulação

O valor obtido para eficiência de encapsulação para o ômega-9 foi de 67,88%. Comparado com outros encapsulantes utilizados, este valor é considerado relativamente baixo. Rojas et al. (2019), utilizando ácido esteárico e caseinato de sódio, como encapsulante e estabilizante, respectivamente, obteve valor de 96,24% para EE, demonstrando boa afinidade entre ambos.

Em um estudo realizado por Espinosa-Olivares et al. (2020), com quatro formulações, testando dois tipos de lipídios sólidos como encapsulantes (Compritol 888 ATO e Precirol ATO 5) e dois tipos de estabilizantes (poloxamer 407 e Tween 80), o valor mínimo obtido para a encapsulação com Compritol e Tween 80 foi de 79,70%, enquanto o maior valor foi de 96,89%, utilizando Precirol e poloxamer.

Behenato de glicerila (Compritol) é um lipídio aprovado pelo GRAS (do inglês, *Generally Recognized as Safe*) para uso como aditivo alimentar e também para administração oral na Europa (CHAWLA; SARAF, 2011). De acordo com estudos anteriores, o tamanho de

partícula e a estabilidade de armazenamento das formulações de sistemas compostos de Precirol como lipídio sólido foram muito boas em comparação com aquelas compostas de Compritol como lipídio sólido (MOHAMMADI; ASSADPOUR; JAFARI, 2019). O valor do equilíbrio hidrofílico-lipofílico (HLB) do lipídio, bem como do surfactante, desempenha um papel importante no controle do aprisionamento do composto. Por ser um lipídio com baixo valor de HLB, devido à rápida solidificação da matriz lipídica, uma proporção do fármaco pode ser expelida para fora do núcleo lipídico e ficar localizada na camada externa criada na interface do lipídio e do surfactante (ABBAS; KAMEL; EL-SAYED, 2018).

#### 5.4.2 Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC)

Na Tabela 4 estão apresentadas as temperaturas e entalpias de fusão para as micropartículas contendo o branco (sem adição de óleo), somente o óleo e o óleo com adição de antioxidante.

**Tabela 4.** Temperaturas e entalpias de fusão para as micropartículas branco e contendo o óleo e ácido siríngico

| Micropartículas  | Temperatura de fusão (°C) | Entalpia de fusão ( $\Delta H$ -J/g) |
|--|---------------------------|--------------------------------------|
| Sem adição de óleo e ácido siríngico (partículas branco) | 82,58±0,45                | 114,80±13,27                         |
| Contendo óleo de macadâmia                               | 75,79±0,02                | 90,87±5,85                           |
| Contendo óleo de macadâmia com ácido siríngico (500ppm)  | 75,81±0,32                | 81,48 ±3,36                          |

Fonte: Autoria Própria.

A temperatura de fusão das micropartículas sem adição de óleo de macadâmia (partículas branco) foi superior ao encontrado pelas micropartículas contendo o óleo de macadâmia e óleo com adição de antioxidante, com resultados de  $75,79 \pm 0,02$  °C e  $75,81 \pm 0,32$  °C, respectivamente. A entalpia de fusão das partículas branco também se mostrou acima do que a encontrada para as micropartículas contendo o óleo. Isso indica que houve uma desorganização na estrutura cristalina do lipídio, diminuindo a sua cristalinidade, indicando uma eficiente encapsulação dos óleos (GUIMARÃES-INÁCIO et al., 2018; ÖZDEMIR; GÖKMEN, 2015; ROJAS et al., 2019; SOUZA et al., 2017).

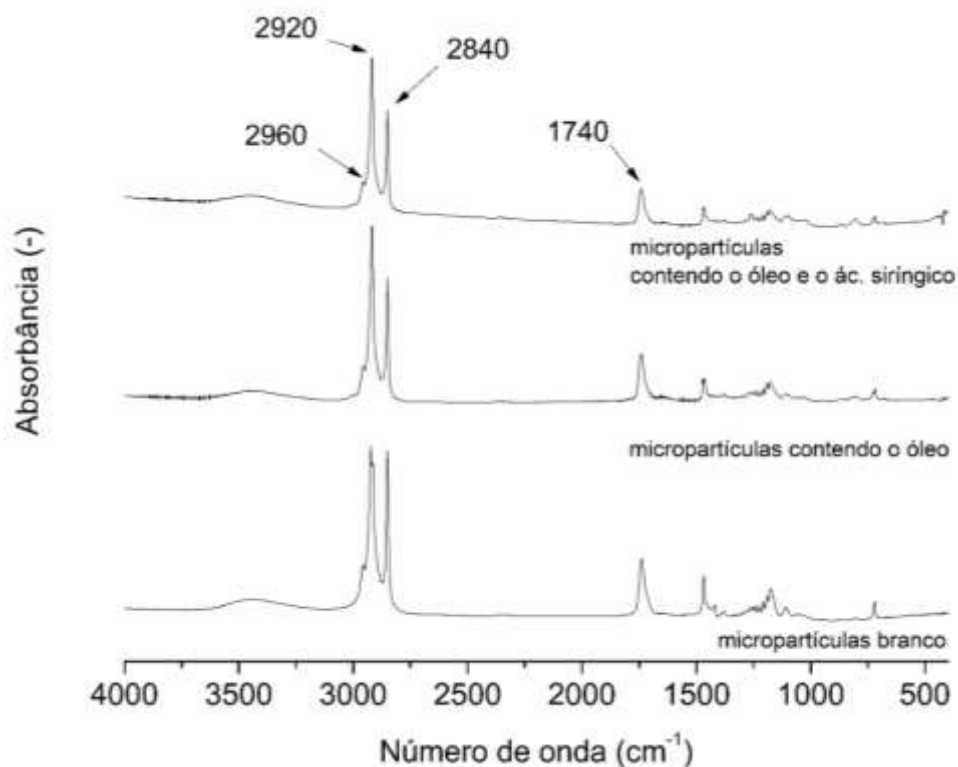
A análise de DSC é um método eficaz para confirmar o encapsulamento e a cobertura bem sucedida de um composto alimentar em materiais de parede. O deslocamento ou

desaparecimento de perfis térmicos dos materiais do núcleo ou da parede, a detecção de tendência térmica igual ao material da parede e a presença de diferentes eventos percebidos nos termogramas das partículas sugerem encapsulamento (GHARANJIG et al., 2020).

#### 5.4.3 Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

Na Figura 3 estão apresentados os espectros de FTIR das micropartículas contendo o óleo de macadâmia e o ácido siríngico, contendo o óleo de macadâmia apenas e micropartículas sem adição de óleo e ácido siríngico (micropartículas branco).

**Figura 3.** Espectros de FTIR das micropartículas branco, micropartículas contendo o óleo e o óleo com adição de antioxidante



Fonte: Autoria Própria.

Os espectros característicos das micropartículas contendo óleo e das micropartículas contendo óleo com adição de antioxidante apresentaram banda larga de absorção em 2840 a 2920  $\text{cm}^{-1}$ , característica de ligações hidroxilas (O-H) e banda intensa a 1740  $\text{cm}^{-1}$ , característico de ligações carbonilas (C=O). A vibração referente à ligação C=C foi detectada em 2960  $\text{cm}^{-1}$ . A vibração de alongamento de C=O aparece na região 1750 e 1650  $\text{cm}^{-1}$  (KANIMOZHI; ARJUNAN; MOHAN, 2020) e é conhecido por estar relacionado à vibração



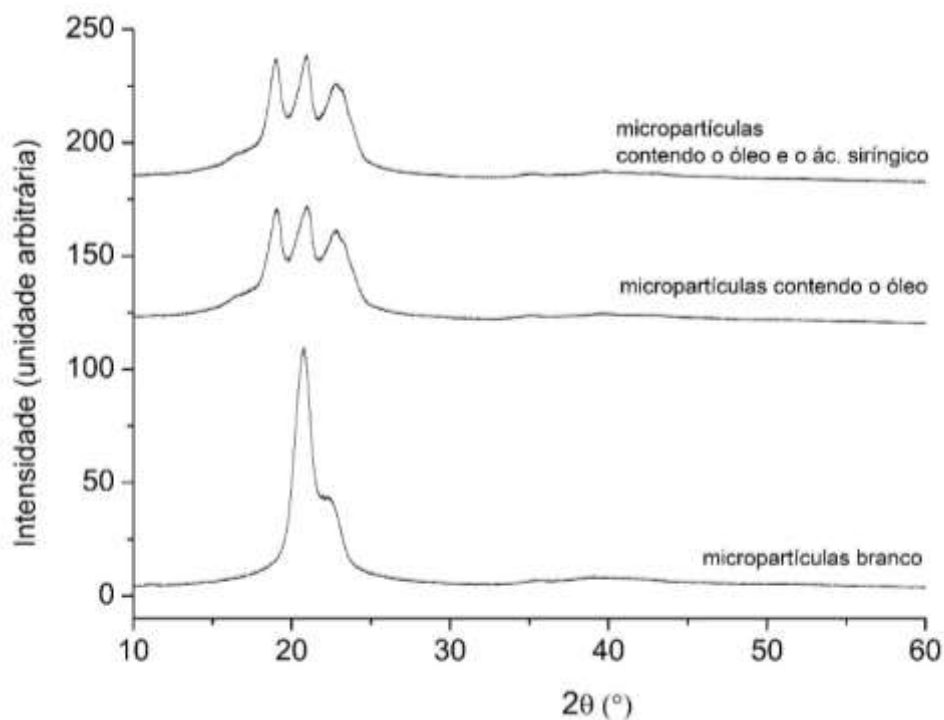
do grupo carbonil na ligação éster entre ácido graxo e glicerol (SQUEO et al., 2019). As vibrações de alongamento de C-H dão origem a bandas de absorção acima de  $3000\text{ cm}^{-1}$  (TAMER et al., 2018) e, normalmente, a vibração do alongamento de C=O pertencente às ligações éster de triacilglicerol ocorre também nessa faixa (SQUEO et al., 2019).

Observa-se que as bandas de absorção apontadas são menos intensos para as micropartículas contendo óleo e as contendo óleo com adição de antioxidante quando comparadas às micropartículas contendo somente o branco. Essa observação indica a eficiência de encapsulação do ácido behênico, em que o óleo se encontra no interior das partículas (GUIMARÃES-INÁCIO et al., 2018).

#### 5.4.4 Difração de Raios-X

Na Figura 4 estão apresentados os difratogramas obtidos por Raios-X para as micropartículas branco (sem adição de óleo) e as micropartículas contendo o óleo (puro e com adição de antioxidante).

**Figura 4.** Difratogramas de raios-X das micropartículas branco, contendo o óleo e contendo o óleo e ácido siríngico



Fonte: Autoria Própria.

O pico a 20,5 ° refere-se ao encapsulante, que é composto por triglicerídeos do ácido behênico (22:0), um ácido graxo de cadeia curta e de natureza cristalina. A diminuição da intensidade dos picos nas micropartículas contendo óleo puro e óleo com adição de antioxidante indica a diminuição da cristalinidade em comparação com as micropartículas controle (branco), o que pode ser devido a incorporação dos óleos na matriz lipídica. Essa diminuição está diretamente relacionada com a diminuição do comportamento cristalino do lipídio (AKBARI et al., 2014).

Outro ponto a ser analisado comparando as micropartículas branco com ambas contendo óleo é encontrado entre 15 a 20 °, onde há um alargamento nessa região, sugerindo a redução da cristalinidade para um aumento do comportamento amorfo do primeiro material (SAGIRI et al., 2015).

A análise de difração de raios-x auxilia no entendimento do polimorfismo de cristal e a fração do conteúdo cristalino e amorfo do material das micropartículas (PUROHIT et al., 2019). O polimorfismo de partículas lipídicas sólidas é uma propriedade importante que diz respeito à eficiência de encapsulação. Os ácidos graxos de cadeia longa podem revelar três formas polimórficas, conhecidas como  $\alpha$ ,  $\beta'$  e  $\beta$  (FALSAFI; ROSTAMABADI; JAFARI, 2020), sendo  $\alpha$  a forma instável,  $\beta'$  a forma metaestável e  $\beta$  a forma mais estável. Isso significa que com a forma instável, a liberação ocorre de maneira mais rápida em comparação com a forma mais estável (CIFTCI; TEMELLI, 2016).

Portanto, a diminuição da cristalinidade está atribuída ao fato de o óleo apresentar boa afinidade com o material encapsulante, confirmando o encapsulamento bem-sucedido com a matriz lipídica.

## **5.5 Caracterização do Alimento Contendo as Micropartículas**

### **5.5.1 Medida Instrumental de Cor**

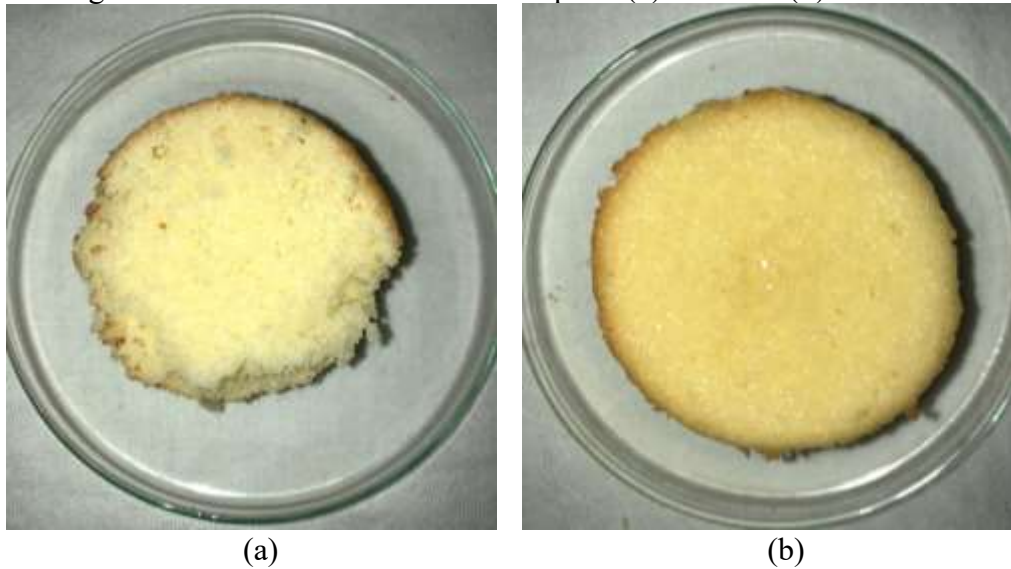
A medida instrumental de cor das amostras foi determinada em colorímetro para o controle (sem adição de partículas) e para as contendo adição de partículas a 1 e 3%. Os resultados para os parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$  e  $h^*$  foram obtidos pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) e tabulados (Tabela 5) e estão apresentadas nas Figuras 5 a 7.

**Tabela 5.** Parâmetros de cor para as amostras controle e adicionadas de partículas a 1 e 3%

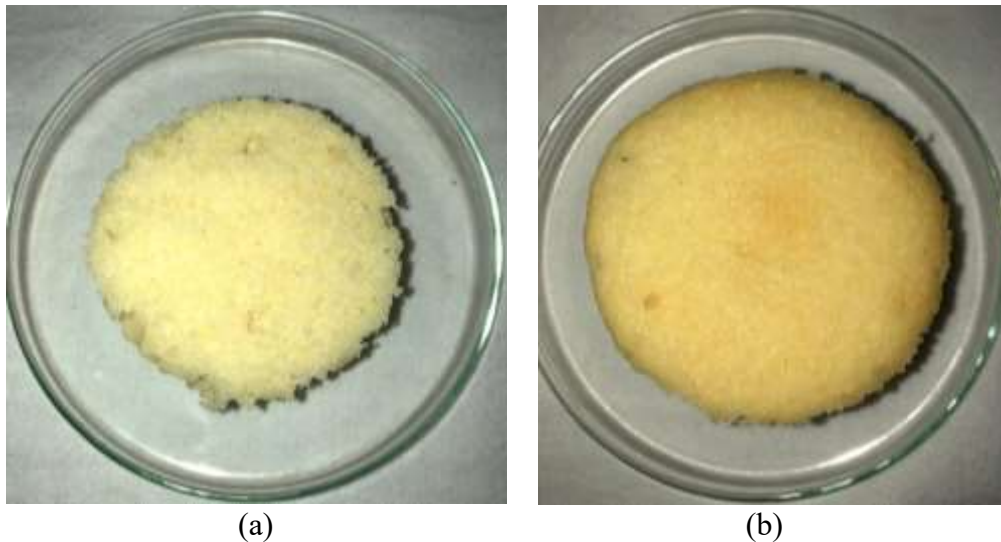
| Parâmetro | Formulação               |                          |                          |
|-----------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
|           | Controle                 | 1%                       | 3%                       |
| L*        | 72,80 <sup>a</sup> ±1,38 | 75,01 <sup>b</sup> ±1,20 | 76,11 <sup>b</sup> ±2,84 |
| a*        | -1,01 <sup>a</sup> ±0,56 | -0,86 <sup>a</sup> ±0,55 | -0,88 <sup>a</sup> ±0,70 |
| b*        | 28,63 <sup>a</sup> ±1,89 | 29,09 <sup>a</sup> ±1,81 | 29,66 <sup>a</sup> ±2,08 |
| C*        | 28,66 <sup>a</sup> ±1,88 | 29,11 <sup>a</sup> ±1,48 | 29,69 <sup>a</sup> ±2,08 |
| h*        | 92,06 <sup>a</sup> ±1,23 | 91,74 <sup>a</sup> ±1,07 | 91,71 <sup>a</sup> ±1,42 |

<sup>a,b</sup>Letras diferentes na mesma linha indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Autoria Própria.

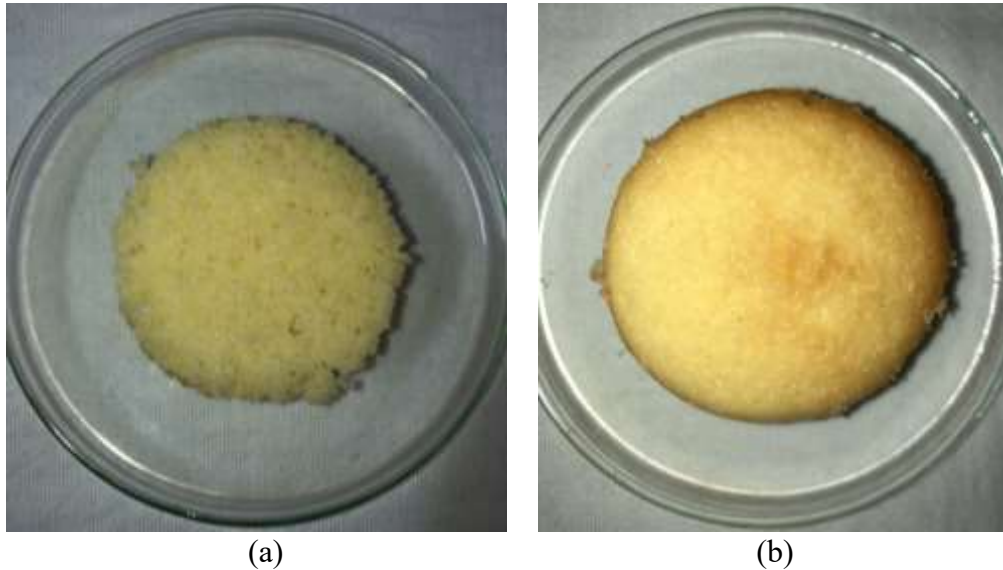
**Figura 5.** Imagem da amostra de bolo controle da parte (a) interna e (b) externa

Fonte: Autoria Própria.

**Figura 6.** Imagem da amostra de bolo adicionado de 1% de partículas da parte (a) interna e (b) externa

Fonte: Autoria Própria.

**Figura 7.** Imagem da amostra de bolo adicionado de 3% de partículas da parte (a) interna e (b) externa



Fonte: Autoria Própria.

Os valores obtidos para  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$  e  $h^*$  não diferiram estatisticamente tanto para as amostras controle quanto para as formulações contendo de 1 e 3% de partículas. O parâmetro de  $L^*$  apresentou valores maiores para a formulação de 1 e 3%, com média de 75,01 e 76,11, respectivamente, enquanto a média obtida para o controle foi de 72,80.

Apesar dessa diferença, todas as amostras apresentaram alta luminosidade, tendência ao verde (valores negativos de  $a^*$ ), alta tendência ao amarelo (valores positivos de  $b^*$ ), intensidade de cor ( $C^*$ ) com valores próximos aos de  $b^*$  e ângulo hue ( $h^\circ$ ) com resultados elevados, representando o amarelo, cor esperada para as amostras de bolo de baunilha. As figuras confirmam o resultados colorimétricos, sendo visualmente perceptível que não houve alterações comprometedoras para o produto.

Kavitake et al. (2020) obtiveram resultados semelhantes para os parâmetros  $C^*$  e  $b^*$  para muffins de baunilha melhorados com adição de composto bioativo, porém apresentou menor luminosidade para as amostras com composto comparada ao controle.

A cor é a característica da luz que pode ser medida como intensidade e comprimento de onda. A cor dos alimentos é um parâmetro muito importante para a sua aceitabilidade, pois é dependente da preferência do consumidor e pode exercer influência na escolha de produtos alimentícios (PATHARE; OPARA; AL-SAID, 2013), estimulando ou inibindo o seu apetite (PATRAS, 2019).

A luminosidade é medida por  $L^*$ , onde cada cor pode ser considerada como equivalente a um membro da escala variando entre 0 (preto) e 100 (branco) (DEVI; KAVITAKE; SHETTY, 2016). Os valores de  $a^*$  indicam nuances de cor vermelha para

resultados positivos e nuances de cor verde para os negativos. Os valores de  $b^*$  indicam nuances amarelas se positivo e azuladas para valores negativos. O valor de Croma ( $C^*$ ) define a cromática, sendo uma medida da intensidade ou saturação da cor e varia de 0 (completamente insaturado) a 100 ou mais (cor pura). O ângulo hue ( $h^*$ ) é usado para definir a diferença de uma determinada cor em relação à cor cinza com a mesma luminosidade (PATHARE; OPARA; AL-SAID, 2013). Um alto valor de leveza e baixo valor de Chroma são desejados para atender à preferência do consumidor por um produto.

### 5.5.2 Textura

Na Tabela 6 estão apresentados os resultados obtidos para a Análise do Perfil de Textura (TPA), que são baseados nos parâmetros de dureza, elasticidade, mastigabilidade, gomosidade, coesividade e resiliência. Em essência, o TPA foi projetado para simular os processos de morder e mastigar na boca (CAUVAIN, 2016). Essa análise, por sua vez, está amplamente ligada às propriedades mecânicas, que, em princípio, são derivadas diretamente da microestrutura interna dos alimentos (ROSELL; GARZON, 2017). O parâmetro de dureza é medido quando o probe penetra na amostra, indicando a força necessária para produzir uma determinada deformação. O “pico” ou força máxima é a medida de dureza e quanto maior o valor, mais firme é a amostra. A elasticidade é a taxa de recuperação de uma deformação após a remoção da força aplicada e quanto maior o valor, mais espessa é a consistência da amostra. A mastigabilidade é a energia necessária para romper um material sólido até que esteja pronto para ser engolido. A gomosidade é a energia necessária para desintegrar um alimento a um estado pronto para ser engolido, ou seja, um produto com baixo grau de dureza e alto grau de coesão. O parâmetro coesividade mostra o quanto o material pode ser deformado antes de romper e quanto mais negativo o valor, mais "aderente" ou "coesiva" é a amostra. E o parâmetro de resiliência é o esforço inicial de um produto para recuperar sua posição original (LIU; XU; GUO, 2007; MARCET et al., 2016).

**Tabela 6.** Análise do Perfil de Textura (TPA)

(continua)

| Parâmetro              | Controle                 | Formulação               |                           |
|------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|
|                        |                          | 1%                       | 3%                        |
| Dureza (N)             | 1,10 <sup>a</sup> ±0,10  | 1,12 <sup>a</sup> ±0,05  | 1,16 <sup>a</sup> ±0,11   |
| Elasticidade (mm)      | 0,96 <sup>a</sup> ±0,03  | 0,96 <sup>a</sup> ±0,03  | 0,96 <sup>a</sup> ±0,03   |
| Mastigabilidade (N.mm) | 89,98 <sup>a</sup> ±3,77 | 86,84 <sup>a</sup> ±8,47 | 93,35 <sup>a</sup> ±22,14 |

**Tabela 6.** Análise do Perfil de Textura (TPA)

| Parâmetro       | Formulação              |                         |                         |
|-----------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
|                 | Controle                | 1%                      | 3%                      |
| Coesividade (-) | 0,81 <sup>a</sup> ±0,01 | 0,81 <sup>a</sup> ±0,01 | 0,80 <sup>a</sup> ±0,01 |
| Resiliência (-) | 0,43 <sup>a</sup> ±0,01 | 0,49 <sup>b</sup> ±0,01 | 0,47 <sup>b</sup> ±0,02 |

<sup>a,b</sup>Letras diferentes na mesma linha indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Autoria Própria.

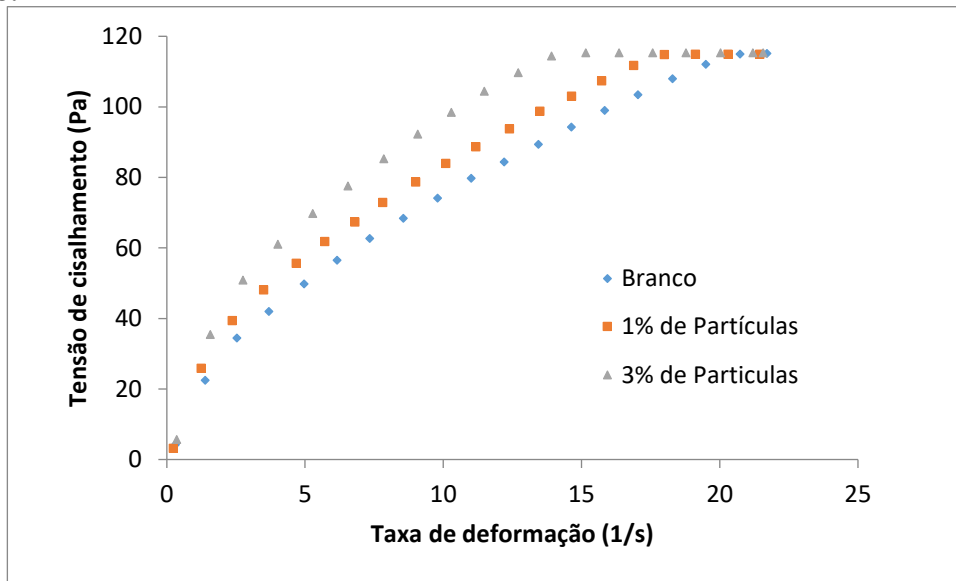
As formulações preparadas como o controle (sem adição de partículas) e as formulações contendo adição de 1 e 3% de partículas não diferiram significativamente para os parâmetros de dureza, elasticidade, mastigabilidade, gomosidade e coesividade, indicando que as amostras contendo adição de partículas se mantiveram com as mesmas características de textura comparadas às amostras controle. O parâmetro resiliência apresentou diferença significativa entre as amostras contendo partículas, tanto na formulação de 1% quanto para a de 3%, apresentando valores de 0,49 e 0,47, respectivamente, quando comparadas às amostras controle, com valor de 0,43. Isso indica que a adição de até 3% de partículas em misturas para bolos pode ser aplicada com modificação na textura mínima em produtos como o amostrado.

Estudo realizado por Kavitate et al. (2020) a partir da adição de compostos bioativos em muffins, o perfil de textura analisado revelou melhoria nas características texturais, apresentando melhor aceitabilidade em comparação com o controle, garantindo uma boa aplicabilidade no desenvolvimento de produtos alimentícios.

### 5.5.3 Reologia

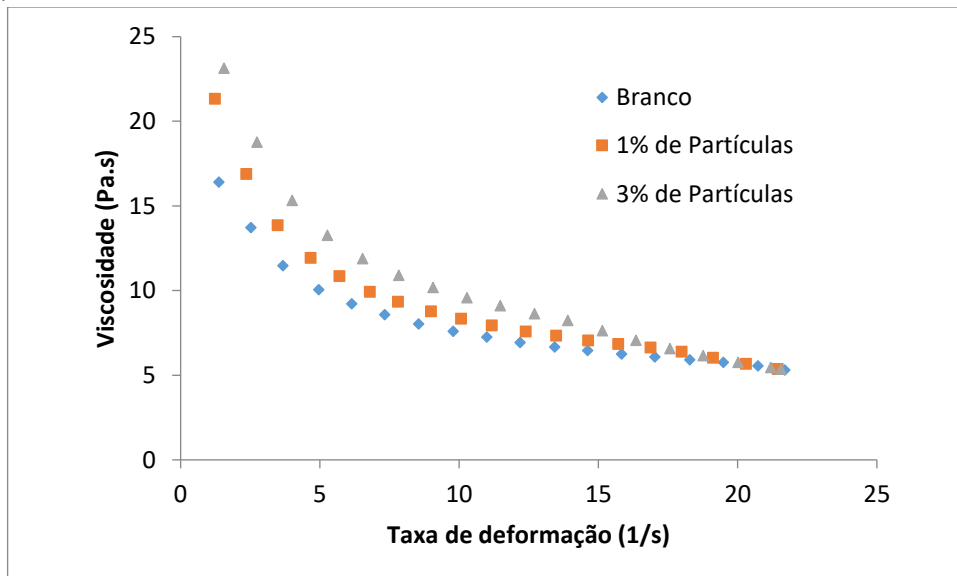
As curvas de escoamento e de viscosidade para a mistura de bolo controle e as misturas de bolo contendo micropartículas a 1 e 3% podem ser verificadas nas Figuras 8 a 10. Os parâmetros reológicos encontrados pelo modelo matemático de Hirschel-Bulkley estão indicados na Tabela 7.

**Figura 8.** Curva de escoamento contendo curva ascendente

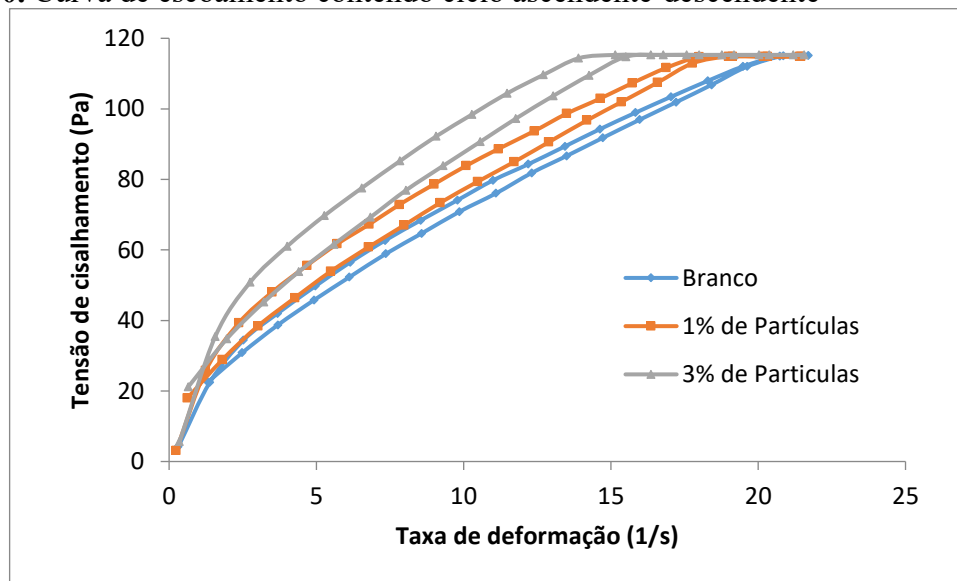


Fonte: Autoria Própria.

**Figura 9.** Curva de viscosidade



Fonte: Autoria Própria.

**Figura 10.** Curva de escoamento contendo ciclo ascendente-descendente

Fonte: Autoria Própria.

**Tabela 7.** Parâmetros reológicos encontrados a partir do modelo matemático de Herschel-Bulkley

| Amostra                        | R <sup>2</sup> | Constantes                                     |
|--------------------------------|----------------|--|
| Matriz sem partículas (branco) | 0,997          | $\tau_0 = 3,141$ $K_h = 20,177$ $n_h = 0,582$  |
| Matriz com 1% de partículas    | 0,989          | $\tau_0 = 10,174$ $K_h = 30,654$ $n_h = 0,471$ |
| Matriz com 3% de partículas    | 0,967          | $\tau_0 = 55,676$ $K_h = 79,750$ $n_h = 0,269$ |

R<sup>2</sup> = coeficiente de correlação.

Fonte: Autoria Própria.

Analisando as curvas de escoamento (Figura 8), nota-se que há uma forte tendência de elevação da tensão de cisalhamento conforme a varredura da taxa de deformação, sendo mais evidente conforme o aumento da concentração de partículas nas matrizes. Este comportamento é confirmado pelas curvas de viscosidade (Figura 9), onde se observa maior viscosidade conforme se eleva a concentração das partículas de 0 a 3% com tendência a se aproximar do mesmo valor, conforme o aumento da taxa de deformação. Isto indica que, durante seu processamento, em operações unitárias que trabalham com altas taxas de deformação, a viscosidade das misturas poderá ser semelhante, não sofrendo influência da concentração de partículas.

As curvas de escoamento (Figura 8) indicam comportamento de fluido pseudoplástico, ou seja, a viscosidade diminui com o aumento da taxa de deformação (DAUBERT; FOEGEDING, 2003), comprovado pela modelagem matemática, cujos



parâmetros são apresentados na Tabela 7. O modelo de Herschel-Bulkley forneceu os melhores parâmetros estatísticos por este descrever o melhor ajuste para as curvas e conseqüentemente menor erro, obtendo um  $R^2$  mínimo de 0,9670.

Os baixos valores de tensão de cisalhamento inicial, tensão necessária para o fluido começar a escoar (Tabela 7), indicam que a matriz não fornece alta resistência ao início de seu escoamento, no entanto, aumenta rapidamente a tensão de cisalhamento conforme a aplicação da taxa de deformação, alcançando altos valores até chegar a um platô, mantendo o valor de 120 Pa. Este comportamento foi semelhante em todas as amostras, sendo o platô alcançado em menores valores de taxa de deformação conforme o aumento da concentração de partículas.

O aumento do índice de consistência ( $K_h$ ), conforme o acréscimo de solutos nas matrizes, confirma a influência que a concentração das micropartículas promove no comportamento reológico das amostras, elevando a tensão de cisalhamento e, conseqüentemente, sua viscosidade.

Evangelista et al. (2020), na avaliação do comportamento reológico em suco de uva concentrado, identificaram que o aumento da concentração de sólidos levou a um aumento significativo no índice de consistência.

Em estudo realizado por Karwowski et al. (2013), o comportamento reológico realizado em frutos de pitanga demonstrou que os parâmetros reológicos são dependentes do conteúdo de fibra, sendo que os resultados indicaram que quanto maior o teor de fibra, maiores são os valores de tensão de cisalhamento e viscosidade aparente.

Pereira, Resende e Giarola (2014), avaliando os efeitos de variadas concentrações em polpa de acerola, obtiveram resultados avaliando que o índice de comportamento de fluxo ( $nH$ ) diminuiu com o aumento da concentração de polpa, caracterizando polpas mais concentradas como tendo um caráter pseudoplástico mais pronunciado. Para o índice de consistência ( $KH$ ), identificou diminuição desses valores com a diminuição da concentração para quase todas as concentrações examinadas.

Silva, Guimarães e Gasparetto (2005) trabalharam com suco de acerola industrializado em diferentes concentrações de sólidos solúveis e também observaram o mesmo comportamento para o índice de comportamento de fluxo e índice de consistência.

Kharat e McClements (2019) mediram as propriedades reológicas de nanopartículas à base de óleos hidrogenados a uma taxa de cisalhamento fixa. Os autores descobriram que a tensão de cisalhamento aplicada aumentou linearmente com o aumento da taxa de cisalhamento, o que sugeriu que todas as formulações tinham características ideais. Eles também observaram uma tendência de aumento na viscosidade em níveis mais elevados de emulsificante.

As curvas de escoamento (Figura 10) apontam presença de histerese (área formada entre a curva ascendente e descendente durante a varredura de taxa de deformação). A histerese indica a tendência do fluido de voltar ao seu estado físico original após uma crescente aplicação de velocidade ou tensão nas amostras. Este fenômeno, comumente observado em fluidos alimentícios, ocorre através da reconstrução molecular, que após o término da aplicação da tensão ou ao final do período de deformação pode apresentar parcial ou completa recuperação da estrutura (FELIPPE et al., 2016).

As matrizes apresentaram comportamento tixotrópico, sendo que isto ocorre quando os valores da tensão de cisalhamento das curvas descendentes são menores que os respectivos valores nas curvas ascendentes de cada amostra avaliada. Fluidos que possuem histerese podem apresentar características diferentes em uma mesma operação unitária, dependendo do tempo de processo (BASU; SHIVHARE; CHAKRABORTY, 2017).

Alimentos como suspensões, emulsões e espumas são fluidos dependentes do tempo e apresentam comportamento de tixotropia e reopexia. O comportamento tixotrópico significa a redução da resistência estrutural durante a fase de cisalhamento e a regeneração estrutural mais ou menos rápida, mas completa, durante a fase de repouso subsequente. Além disso, a existência de tixotropia significa que o histórico do fluxo é importante na previsão da viscosidade em processos como mistura, fluxo através de tubos, centrifugação, etc., onde a viscosidade continua a mudar por um longo tempo (TABILO-MUNIZAGA; BARBOSA-CÁNOVAS, 2005). Muitos produtos alimentícios são tixotrópicos por natureza e são caracterizados por diminuição da tensão de cisalhamento/viscosidade com o tempo de cisalhamento (BASU; SHIVHARE; CHAKRABORTY, 2017). Já o comportamento reopético significa um aumento da resistência estrutural durante a fase de carga e uma decomposição mais ou menos rápida, mas completa, da resistência estrutural aumentada durante o período de repouso subsequente. Em outras palavras, quando a viscosidade de um fluido aumenta lentamente com o tempo a uma tensão ou taxa de cisalhamento constante, a recuperação da viscosidade original é obtida durante um período de tempo após cessar a da tensão aplicada (TABILO-MUNIZAGA; BARBOSA-CÁNOVAS, 2005).

## 6 CONCLUSÕES

A técnica de microencapsulação se mostrou eficaz na preservação da estabilidade de óleos de macadâmia. Os resultados obtidos foram satisfatórios em relação ao efetivo emprego do encapsulante escolhido (ácido behênico). A adição do ácido siríngico como antioxidante levou a uma maior estabilidade térmica do óleo de macadâmia, mesmo que este seja considerado relativamente mais estável com relação a outros óleos, devido o seu perfil de ácidos graxos monoinsaturados, além de apresentar boa qualidade nutricional e ser uma boa opção de complementação para uma alimentação mais saudável. A utilização do ácido siríngico como escolha do antioxidante apresentou-se satisfatória no aumento da estabilidade térmica do óleo de macadâmia, podendo ser observado pela análise em Rancimat, já que o óleo puro apresentou uma estabilidade muito inferior à concentração escolhida, ou seja, de 500 ppm, confirmando a sua efetividade.

As análises de caracterização do alimento formulado contendo até 3% de partículas apresentaram bons resultados para cor, textura e reologia, não apresentando diferenças abusivas para os dois primeiros ensaios e não apresentou características contrárias para o comportamento reológico que prejudicariam sua utilização, quando comparados com amostras controle. Portanto, o emprego da técnica de microencapsulação e a adição de um antioxidante mostra-se uma alternativa viável para o emprego de óleos essenciais em alimentos e para o alimento em questão, misturas comerciais para bolo sabor baunilha, a adição de até 3% de partículas mostrou-se viável.

## REFERÊNCIAS

- ABBAS, H.; KAMEL, R.; EL-SAYED, N. Dermal anti-oxidant, anti-inflammatory and anti-aging effects of Compritol ATO-based Resveratrol colloidal carriers prepared using mixed surfactants. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 541, n. 1–2, p. 37–47, 2018.
- AGATONOVIC-KUSTRIN, S.; KUSTRIN, E.; MORTON, D. W. Phenolic acids contribution to antioxidant activities and comparative assessment of phenolic content in mango pulp and peel. **South African Journal of Botany**, v. 116, p. 158–163, 2018.
- AGNIHOTRI, N. et al. Microencapsulation – A Novel Approach in Drug Delivery : A Review. **Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 2, n. 1, p. 1–20, 2012.
- AKBARI, Z. et al. Preparation and characterization of solid lipid nanoparticles through rapid expansion of supercritical solution. **International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research**, v. 5, n. 5, p. 1693–1704, 2014.
- ALCÂNTARA, M. A. et al. Influence of the emulsion homogenization method on the stability of chia oil microencapsulated by spray drying. **Powder Technology**, v. 354, p. 877–885, 2019.
- ALTUNKAYA, A. et al. Oxidative stability and chemical safety of mayonnaise enriched with grape seed extract. **Food and Function**, v. 4, n. 11, p. 1647–1653, 2013.
- BAE, E. K.; LEE, S. J. Microencapsulation of avocado oil by spray drying using whey protein and maltodextrin. **Journal of Microencapsulation**, v. 25, n. December, p. 549–560, 2008.
- BAHADORAN, Z. et al. The association of dietary phytochemical index and cardiometabolic risk factors in adults: Tehran Lipid and Glucose Study. **Journal of Human Nutrition and Dietetics**, v. 26, n. SUPPL.1, p. 145–153, 2013.
- BAKRY, A. M. et al. Microencapsulation of Oils: A Comprehensive Review of Benefits, Techniques, and Applications. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 15, n. 1, p. 143–182, 2016.
- BALLESTEROS, L. F. et al. Encapsulation of antioxidant phenolic compounds extracted from spent coffee grounds by freeze-drying and spray-drying using different coating materials. **Food Chemistry**, v. 237, p. 623–631, 2017.
- BARRETT, A. N. N. H. et al. Effect Of Various Antioxidants , Antioxidant Levels , And Encapsulation On The Stability Of Fish And Flaxseed Oils : Assessment By Fluorometric Analysis. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 35, p. 349–358, 2011.
- BASU, S.; SHIVHARE, U. S.; CHAKRABORTY, P. Influence of Sugar Substitute in Rheology of Fruit Gel. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition: **Advances in Food Rheology and Its Applications**, p. 355-376, 2017.
- BO, C. DEL et al. Eight-week hempseed oil intervention improves the fatty acid composition of erythrocyte phospholipids and the omega-3 index, but does not affect the lipid profile in children and adolescents with primary hyperlipidemia. **Food Research International**, v. 119, n. May 2018, p. 469–476, 2019.

BOROMPICHAICHARTKUL, C. et al. Improving quality of macadamia nut (*Macadamia integrifolia*) through the use of hybrid drying process. **Journal of Food Engineering**, v. 93, n. 3, p. 348–353, 2009.

CALVO, P. et al. Influence of the microencapsulation on the quality parameters and shelf-life of extra-virgin olive oil encapsulated in the presence of BHT and different capsule wall components. **FRIN**, v. 45, n. 1, p. 256–261, 2012.

CARRILLO, W. et al. Fatty acids composition in macadamia sedes oil (*Macadamia integrifolia*) from Ecuador. **Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research**, v. 10, n. 2, p. 303–306, 2017.

CAUVAIN, S. P. Bread and other bakery products. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition: **The Stability and Shelf Life of Food**, p. 431-459, 2016.

CHAWLA, V.; SARAF, S. A. Glyceryl behenate and its suitability for production of aceclofenac solid lipid nanoparticles. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 88, n. 1, p. 119–126, 2011.

CHIVERO, P. et al. Assessment of soy soluble polysaccharide, gum arabic and OSA-Starch as emulsifiers for mayonnaise-like emulsions. **LWT - Food Science and Technology**, v. 69, p. 59–66, 2016.

CIFTCI, O. N.; TEMELLI, F. Formation of solid lipid microparticles from fully hydrogenated canola oil using supercritical carbon dioxide. **Journal of Food Engineering**, v. 178, p. 137–144, 2016.

CLIFTON, P. M.; KEOGH, J. B. Nutrition, Metabolism & Cardiovascular Diseases Systematic Reviews And Meta-Analyses A systematic review of the effect of dietary saturated and polyunsaturated fat on heart disease. **Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases**, v. 27, n. 12, p. 1060–1080, 2017.

DAI, J.; MUMPER, R. J. Plant phenolics: Extraction, analysis and their antioxidant and anticancer properties. **Molecules**, v. 15, n. 10, p. 7313–7352, 2010.

DAUBERT, C. R.; FOEGEDING, E. A. Rheological Principles for Food Analysis. **Food Analysis**, c. 30, p. 541–554, 2010.

DESAI, K. G. H.; PARK, H. J. Recent Developments in Microencapsulation of Food Ingredients. **Drying Technology: An International Journal**, 23:7, 1361-1394, 2005.

DEVI, P. B.; KAVITAKE, D.; SHETTY, P. H. Physico-chemical characterization of galactan exopolysaccharide produced by *Weissella confusa* KR780676. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 93, p. 822–828, 2016.

DUBEY, R.; SHAMI, T. C.; RAO, K. U. B. Microencapsulation Technology and Applications. **Defence Science Journal**, v. 59, n. 1, p. 82–95, 2009.

AQUINO-BOLANOS, L. et al. Fatty acid profile of Oil from Ninve Varieties of Macadamia Nut. **International Journal of Food Properties**, v. 2912, n. August, 2016.

ESPINOSA-OLIVARES, M. A. et al. Nanostructured lipid carriers loaded with curcuminoids: Physicochemical characterization, in vitro release, ex vivo skin penetration, stability and antioxidant activity. **European Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 155, n. April, p. 105533, 2020.

EVANGELISTA, R. R. et al. Determination of the rheological behavior and thermophysical properties of malbec grape juice concentrates (*Vitis vinifera*). **Food Research International**, v. 137, p. 109431, 2020.

FALSAFI, S. R.; ROSTAMABADI, H.; JAFARI, S. M. X-ray diffraction (XRD) of nanoencapsulated food ingredients. Characterization of Nanoencapsulated Food Ingredients: **Nanoencapsulation in the Food Industry**, v. 4, p. 271-293, 2020.

FANG, Z.; BHANDARI, B. Spray drying, freeze drying and related processes for food ingredient and nutraceutical encapsulation. **Encapsulation Technologies and Delivery Systems for Food Ingredients and Nutraceuticals**, p. 73-109, 2012.

FAO. Fats and fatty acids in human nutrition. Report of an expert consultation. **Food And Nutrition Paper**, v. 91, p. 1-166, 2010.

FEHILY, A. M. et al. Coronary heart disease and dietary factors. **The Lancet**, v. 339, n. 8799, p. 987–988, 1992.

FELIPPE, C. D. S., et al. Reologia de flúidos alimentícios. **Congresso Nacional de Iniciação Científica**, São Paulo, 2016.

FREITAS, J. B.; NAVES, M. M. V. Composição química de nozes e sementes comestíveis e sua relação com a nutrição e saúde. **Revista de Nutrição**, v. 23, n. 2, p. 269–279, 2010.

GARG, M. L. et al. Macadamia nut consumption modulates favourably risk factors for coronary artery disease in hypercholesterolemic subjects. **Lipids**, v. 42, n. 6, p. 583–587, 2007.

GHARANJIG, H. et al. Differential scanning calorimetry (DSC) of nanoencapsulated food ingredients. **Characterization of Nanoencapsulated Food Ingredients**, v. 4, p. 295-346, 2020.

GRIEL, A. E. et al. A Macadamia Nut-Rich Diet Reduces Levels of Total and LDL-Cholesterol in Mildly Hypercholesterolemic Individuals. **The FASEB Journal**, v. 21, n. 5, p. 0–6, 2007.

GUIMARÃES-INÁCIO, A. et al. Evaluation of the oxidative stability of chia oil-loaded microparticles by thermal, spectroscopic and chemometric methods. **LWT - Food Science and Technology**, v. 87, p. 498–506, 2018.

GUIMARÃES, C. M. et al. Antioxidant activity of sugar molasses, including protective effect against DNA oxidative damage. **Journal of Food Science**, v. 72, n. 1, p. C039–C043, 2007.

HARTMAN, L.; LAGO, R. Rapid preparation of fatty acids methyl esters from lipids. **Laboratory Practice**, v. 22, p. 474–476, 1973.

HARYANI, S.; KUNZ, B. The influence of drying methods on the stabilization of fish oil microcapsules : Comparison of spray granulation , spray drying , and freeze drying. **Journal of Food Engineering**, v. 105, n. 2, p. 367–378, 2011.

HOYOS-LEYVA, J. D. et al. Characterization of spray drying microencapsulation of almond oil into taro starch spherical aggregates. **LWT - Food Science and Technology**, v. 101, p. 526–533, 2019.

HU, W. et al. A review of biological functions, health benefits, and possible de novo biosynthetic pathway of palmitoleic acid in macadamia nuts. **Journal of Functional Foods**, v. 62, p. 103520, 2019.

KAMPA, M. et al. Antiproliferative and apoptotic effects of selective phenolic acids on T47D human breast cancer cells: potential mechanisms of action. **Breast cancer research : BCR**, v. 6, n. 2, p. 63–74, 2004.

KANIMOZHI, R.; ARJUNAN, V.; MOHAN, S. Conformations, structure, vibrations, chemical shift and reactivity properties of isoquinoline–1–carboxylic acid and isoquinoline–3–carboxylic acid – Comparative investigations by experimental and theoretical techniques. **Journal of Molecular Structure**, v. 1207, p. 127841, 2020.

KARACA, A. C.; NICKERSON, M.; LOW, N. H. Microcapsule production employing chickpea or lentil protein isolates and maltodextrin : Physicochemical properties and oxidative protection of encapsulated flaxseed oil. **Food Chemistry**, v. 139, n. 1–4, p. 448–457, 2013.

KARWOWSKI, M. et al. Characterization of tropical fruits: Rheology, stability and phenolic compounds. **Acta Alimentaria**, v. 42, n. 4, p. 586–598, 2013.

KAVITAKE, D. et al. Galactan exopolysaccharide based flavour emulsions and their application in improving the texture and sensorial properties of muffin. **Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre**, v. 24, p. 100248, 2020.

KHARAT, M.; MCCLEMENTS, D. J. Fabrication and characterization of nanostructured lipid carriers (NLC) using a plant-based emulsifier: Quillaja saponin. **Food Research International**, v. 126, p. 108601, 2019.

KOUŘIMSKÁ, L. et al. Lipid content, fatty acid profile, and nutritional value of new oat cultivars. **Journal of Cereal Science**, v. 84, p. 44–48, 2018.

KOUTSOPOULOS, D. A.; KOUTSIMANIS, G. E.; BLOUKAS, J. G. Effect of carrageenan level and packaging during ripening on processing and quality characteristics of low-fat fermented sausages produced with olive oil. **Meat Science**, v. 79, p. 188–197, 2008.

LANCASTER, J. E. et al. Influence of pigment composition on skin color in a wide range of fruit and vegetables. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 122, p. 594–598, 1997.

LAOKULDILOK, T.; KANHA, N. Effects of processing conditions on powder properties of black glutinous rice (*Oryza sativa* L.) bran anthocyanins produced by spray drying and freeze drying. **LWT - Food Science and Technology**, 2015.

LARA, D. et al. Obtention of protein concentrate and polyphenols from Macadamia (*Macadamia integrifolia*) with aqueous extraction method. **Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research**, v. 10, n. 2, p. 138–142, 2017.

LEITE, P. 9 benefícios da macadâmia – para que serve e propriedades. **Mundo Boa Forma**, 18/12/2019. Disponível em: <https://www.mundoboaforma.com.br/9-beneficios-da-macadamia-para-que-serve-e-propriedades>. Acesso em: 29/11/2020.

LEMES, G. F. et al. Enzymatically crosslinked gelatin coating added of bioactive nanoparticles and antifungal agent: Effect on the quality of Benitaka grapes. **LWT - Food Science and Technology**, v. 84, p. 175–182, 2017.

LEVI, S. et al. Limonene encapsulation in alginate/poly (vinyl alcohol). **Procedia Food Science**, v. 1, p. 1816–1820, 2011.

LIU, H.; XU, X. M.; GUO, S. D. Rheological, texture and sensory properties of low-fat mayonnaise with different fat mimetics. **LWT - Food Science and Technology**, v. 40, n. 6, p. 946–954, 2007.

LOCKYER, S.; ROWLAND, I. Authorised EU health claims for polyphenols in olive oil. **Foods, Nutrients and Food Ingredients with Authorised EU Health Claims**, p. 212-228, 2014.

LOZANO-VAZQUEZ, G. et al. Effect of the weight ratio of alginate-modified tapioca starch on the physicochemical properties and release kinetics of chlorogenic acid containing beads. **Food Hydrocolloids**, v. 48, p. 301–311, 2015.

MAPIYE, C. et al. Fatty acid composition of beef from Nguni steers supplemented with Acacia karroo leaf-meal. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 24, n. 4–5, p. 523–528, 2011.

MARCET, I. et al. Rheological and textural properties in a bakery product as a function of the proportions of the egg yolk fractions: Discussion and modelling. **Food Hydrocolloids**, v. 54, p. 119–129, 2016.

MARO, L. A. C. et al. Caracterização química e perfil de ácidos graxos em cultivares de noqueira-macadâmia. **Ciencia Rural**, v. 42, n. 12, p. 2166–2171, 2012.

MAST, A. R. et al. A smaller Macadamia from a more vagile tribe: Inference of phylogenetic relationships, divergence times, and diaspore evolution in Macadamia and relatives (tribe Macadamieae; Proteaceae). **American Journal of Botany**, v. 95, n. 7, p. 843–870, 2008.

MERELES, L. G. et al. Chemical composition of Macadamia integrifolia (Maiden and Betche) nuts from Paraguay. **International Food Research Journal**, v. 24, n. 6, p. 2599–2608, 2017.

MOHAMMADI, M.; ASSADPOUR, E.; JAFARI, S. M. Encapsulation of food ingredients by nanostructured lipid carriers (NLCs). **Lipid-Based Nanostructures for Food Encapsulation Purposes**, p. 217-270, 2019.

MOODLEY, R.; KINDNESS, A.; JONNALAGADDA, S. B. Elemental composition and



chemical characteristics of five edible nuts (almond, Brazil, pecan, macadamia and walnut) consumed in Southern Africa. **Journal of Environmental Science and Health - Part B Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes**, v. 42, n. 5, p. 585–591, 2007.

MUÑOZ-TÉBAR, N. et al. Enrichment of sheep cheese with chia (*Salvia hispanica* L.) oil as a source of omega-3. **LWT - Food Science and Technology**, v. 108, p. 407–415, 2019.

MUNRO, I.; GARG, M. Nutrient Composition and Health Beneficial Effects of Macadamia Nuts. **Tree Nuts: Composition, Phytochemicals and Health Effects**, p. 249-258, 2008.

MUTHUKUMARAN, J. et al. Syringic acid, a novel natural phenolic acid, normalizes hyperglycemia with special reference to glycoprotein components in experimental diabetic rats. **Journal of Acute Disease**, v. 2, n. 4, p. 304–309, 2013.

NAVARRO, S. L. B.; RODRIGUES, C. E. C. Macadamia oil extraction methods and uses for the defatted meal byproduct. **Trends in Food Science and Technology**, v. 54, p. 148–154, 2016.

OROIAN, M.; ESCRICHE, I. Antioxidants: Characterization, natural sources, extraction and analysis. **Food Research International**, v. 74, p. 10–36, 2015.

ÖZDEMİR, K. S.; GÖKMEN, V. Effect of microencapsulation on the reactivity of ascorbic acid, sodium chloride and vanillin during heating. **Journal of Food Engineering**, v. 167, p. 204–209, 2015.

PATHARE, P. B.; OPARA, U. L.; AL-SAID, F. A. J. Colour Measurement and Analysis in Fresh and Processed Foods: A Review. **Food and Bioprocess Technology**, v. 6, n. 1, p. 36–60, 2013.

PATRAS, A. Stability and colour evaluation of red cabbage waste hydroethanolic extract in presence of different food additives or ingredients. **Food Chemistry**, v. 275, p. 539–548, 2019.

PEREIRA, C. G.; RESENDE, J. V. DE; GIAROLA, T. M. O. Relationship between the thermal conductivity and rheological behavior of acerola pulp: Effect of concentration and temperature. **LWT - Food Science and Technology**, v. 58, n. 2, p. 446–453, 2014.

PEREIRA, E. et al. Physical properties of Amazonian fats and oils and their blends. **Food Chemistry**, v. 278, p. 208–215, 2019.

PUROHIT, S. R. et al. X-ray diffraction for food quality evaluation. **Evaluation Technologies for Food Quality**, p. 579-594, 2019.

QUISPE-CONDORI, S.; SALDAÑA, M. D. A.; TEMELLI, F. Microencapsulation of flax oil with zein using spray and freeze drying. **LWT - Food Science and Technology**, v. 44, n. 9, p. 1880–1887, 2011.

RAMACHANDRAN, V.; SARAVANAN, R.; RAJA, B. Attenuation of oxidative stress by syringic acid on acetaminophen-induced nephrotoxic rats. **Comparative Clinical Pathology**, v. 21, n. 6, p. 1559–1564, 2012.

RENGEL, A. et al. Lipid Profile and Antioxidant Activity of Macadamia Nuts ( *Macadamia integrifolia* ) Cultivated in Venezuela. **Natural Science**, p. 535-547, 2015.

ROCCIA, P. et al. Influence of spray-drying operating conditions on sunflower oil powder qualities. **Powder Technology**, v. 254, p. 307–313, 2014.

ROJAS, V. M. et al. Formulation of mayonnaises containing PUFAs by the addition of microencapsulated chia seeds, pumpkin seeds and baru oils. **Food Chemistry**, v. 274, n. September 2018, p. 220–227, 2019.

ROS, E. Health benefits of nut consumption. **Nutrients**, v. 2, n. 7, p. 652–682, 2010.

ROSELL, C. M.; GARZON, R. Microstructure and its relationship with quality of confectionary and bakery products. **Food Microstructure and Its Relationship with Quality and Stability**, p. 217-238, 2017.

SAGIRI, S. S. et al. Core-shell-type organogel-alginate hybrid microparticles: A controlled delivery vehicle. **Chemical Engineering Journal**, v. 264, p. 134–145, 2015.

SANTOS-SILVA, J.; BESSA, R. J. B.; SANTOS-SILVA, F. Effect of genotype, feeding system and slaughter weight on the quality of light lambs. II. Fatty acid composition of meat. **Livestock Production Science**, v. 77, n. 2–3, p. 187–194, 2002.

SHEN, Q.; QUEK, S. Y. Microencapsulation of astaxanthin with blends of milk protein and fiber by spray drying. **Journal of Food Engineering**, v. 123, p. 165–171, 2014.

SILVA, F. C. DA; GUIMARÃES, D. H. P.; GASPARETTO, C. A. Reologia do suco de acerola: efeitos da concentração e temperatura. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 1, p. 121–126, 2005.

SINANOGLOU, V. J. et al. Monitoring the quality of  $\gamma$  -irradiated macadamia nuts based on lipid profile analysis and Chemometrics . Traceability models of irradiated samples. **FRIN**, v. 60, p. 38–47, 2014.

SINHA, V. R. et al. Influence of operational variables on properties of piroxicam pellets prepared by extrusion-spheronization : a technical note. **AAPS PharmSciTech**, v. 8, p. 137-141, 2007.

SOUZA, M. F. et al. Fatty acids profile of chia oil-loaded lipid microparticles. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 34, n. 3, p. 659–669, 2017.

SQUEO, G. et al. FT-IR extra virgin olive oil classification based on ethyl ester content. **Food Control**, v. 102, p. 149–156, 2019.

TABILO-MUNIZAGA, G.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. Rheology for the food industry. **Journal of Food Engineering**, v. 67, n. 1–2, p. 147–156, 2005.

TAMER, Ö. et al. Antimicrobial activities, DNA interactions, spectroscopic (FT-IR and UV-Vis) characterizations, and DFT calculations for pyridine-2-carboxylic acid and its derivatives. **Journal of Molecular Structure**, v. 1152, p. 399–408, 2018.

WALLACE, H. M.; WALTON, D. A. Macadamia (*Macadamia integrifolia*, *Macadamia tetraphylla* and hybrids). **Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits**, p. 450-473, 2011.

WOŁOSZYN, J. et al. Fatty acid profiles and health lipid indices in the breast muscles of local Polish goose varieties. **Poultry Science**, v. 99, n. 2, p. 1216–1224, 2020.

YASHIN, A. et al. Antioxidant and antiradical activity of coffee. **Antioxidants**, v. 2, n. 4, p. 230–245, 2013.