

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

VALQUIRIA MAEDA ROJAS

**ENCAPSULAÇÃO DE ÓLEOS DE ALTO VALOR NUTRICIONAL
PARA FORMULAÇÃO DE ALIMENTOS**

CAMPO MOURÃO

2018

VALQUIRIA MAEDA ROJAS

**ENCAPSULAÇÃO DE ÓLEOS DE ALTO VALOR NUTRICIONAL
PARA FORMULAÇÃO DE ALIMENTOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Tecnologia de Alimentos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Tecnologia de Alimentos.

Orientador: Dr. Odinei Hess Gonçalves
Co-orientadora: Dr^a. Ailey Aparecida Coelho
Tanamati

CAMPO MOURÃO

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

R741e

Rojas, Valquiria Maeda

Encapsulação de óleos de alto valor nutricional para formulação de alimentos / Valquiria Maeda Rojas – 2018.

100 f.: il.; 30 cm.

Orientador: Dr. Odinei Hess Gonçalves

Co-orientadora: Dr^a. Ailey Aparecida Coelho Tanamati

Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos. Campo Mourão, 2018.

Inclui bibliografias.

1. Óleos vegetais. 2. Café 3. Alimentos – Dissertações. I. Gonçalves, Odinei Hess, orient. II. Tanamati, Ailey Aparecida Coelho, coorient. III. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos. IV. Título.

CDD: 664

Biblioteca Câmpus Medianeira
Fernanda Cristina Gazolla Bem dos Santos CRB 9/1735



Termo de aprovação

**ENCAPSULAÇÃO DE ÓLEOS DE ALTO VALOR NUTRICIONAL PARA
FORMULAÇÃO EM ALIMENTOS**

Por

Valquiria Maeda Rojas

Essa dissertação foi apresentada as 8 horas e 30 minutos, do dia 26 de fevereiro de dois mil e dezoito, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Tecnologia de Alimentos, Linha de Pesquisa Ciência e Tecnologia de Produtos Alimentícios, no Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos – PPGTA, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Profa. Dra. Ailey Aparecida Coelho Tanamati (Coorientadora – PPGTA)

Profa. Dra. Roberta de Souza Leone (Membro externo – UTFPR)

Profa. Dra. Maria Filomena Filipe Barreiro ((Membro Externo – Instituto Politécnico de Bragança, com participação à distância, sendo a assinatura no presente Termo dispensada conforme Regulamento da Pós-Graduação Stricto Sensu da UTFPR)

* A via original com as assinaturas encontra-se na secretaria do programa.

Agradecimentos

Agradeço a minha família, em especial meu pai Eduardo Rojas, minha mãe Margarete Maeda e meu irmão Angelo Rojas, que fizeram parte essencial da minha formação pessoal e profissional;

Meu orientador, Prof. Dr. Odinei Hess Gonçalves, pela oportunidade e orientação durante a condução do mestrado. Muito obrigada professor!

Minha co-orientadora, Prof^a. Dr^a. Ailey Aparecida Coelho Tanamati, pelas valiosas sugestões, pelo apoio e amizade;

Aos professores Ângela Maria Gozzo, Renata Hernandez Barros Fuchs, Augusto Tanamati, Roberta de Souza Leone, Fernanda Vitória Leimann, Evandro Bona, Maria Filomena Barreiro e Aline Coqueiro, pelas considerações, parceria e colaboração durante a realização deste trabalho;

Ao meu namorado, Johnni Hoshino, por toda dedicação e compreensão. Sua presença, suas palavras de incentivo e apoio foram essenciais nessa jornada.

Aos amigos que fiz durante o mestrado, Priscila, Tamires, Thaysa, Franciele, Igor, Felipe, Gustavo, Larissa, Jéssica, Fernanda, Alexandre, Luiza, Tatiane, Natara, Sabrina, Mariana, Mirian, Cristhian, Luis Felipe e Marcos, pelo apoio, incentivo, amizade e colaboração, agradeço por entrarem na minha vida e fazerem parte da minha rotina.

Ao Fabrício Moura e a Kléia Dutra, que foram pessoas fundamentais durante a pesquisa, que me escutaram, me apoiaram e me incentivaram nos meus momentos de maiores dúvidas e incertezas.

À UTFPR e todos os servidores, em especial aqueles envolvidos com Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos – PPGTA e aos técnicos do laboratório C004.

A CAPES pela concessão da bolsa de estudos e a todos que direta ou indiretamente auxiliaram para a conclusão desse mestrado.

RESUMO

ROJAS, Valquiria Maeda. **Encapsulação de óleos de alto valor nutricional para formulação de alimentos**. 2018. 101 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2018.

Os óleos comestíveis ricos em ácidos graxos poli-insaturados fazem parte do grupo de alimentos benéficos ao organismo de quem o consome. A microencapsulação é uma técnica que, dentre outros benefícios, possibilita a proteção dos óleos ao processo oxidativo que pode ocorrer durante o processamento e armazenamento. O objetivo deste trabalho foi microencapsular os óleos de sementes de chia, café verde, sementes de abóbora, baru e nozes para usar na formulação de maionese e *whey protein*. A partir da caracterização das micropartículas, concluiu-se que os óleos se encontraram devidamente encapsulados, com eficiência de encapsulação acima de 85% e tamanho médio de partículas inferior a 100 micrômetros. A técnica termoanalítica indicou efetivo aumento na estabilidade oxidativa dos óleos e proteção contra a oxidação advindo da sua encapsulação. Na maionese foram adicionadas, separadamente, as micropartículas contendo os óleos de chia, abóbora e baru, enquanto as micropartículas contendo os óleos de nozes e café verde foram usadas na formulação de *whey protein*. As análises reológicas da maionese contendo as micropartículas mostraram estas alteraram as propriedades dos alimentos, contudo os consumidores não foram capazes de distinguir entre as amostras contendo até 5% de microcápsulas no teste de ordenação de preferência. As amostras de *whey protein* contendo microcápsulas de óleo de café apresentaram cor ligeiramente diferente da amostra sem adição de microcápsulas, diferença esta que pode ter levado a diminuição de preferência detectada pela análise sensorial, entretanto as análises reológicas não indicaram alterações nas propriedades deste produto. De uma forma geral, a estratégia de encapsulação adotada foi eficiente na proteção dos óleos contra a degradação oxidativa e as microcápsulas puderam ser utilizadas na formulação de alimentos enriquecidos nutricionalmente.

Palavras-chave: Óleo Vegetal; Chia; Sementes de Abóbora; Café Verde; Nozes; Baru; AGPI; Microencapsulação; Maionese; *Whey protein*.

ABSTRACT

ROJAS, Valquiria Maeda. **Encapsulation of oils with high nutritional value for food formulation**. 2018. 101 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2018.

There is an increasing demand for healthy foodstuff or foods with specific properties such as the polyunsaturated fatty acids (PUFAs). Microencapsulation is a technology that is able to protect PUFA-rich oils from oxidation during processing and storage. The objective of this work was to microencapsulate chia seeds, green coffee, pumpkin seeds, walnut and baru oils and to formulate mayonnaise and whey protein. Microparticles characterization demonstrated that oils were efficiently encapsulated (85% efficiency) and microparticles presented diameter inferior of 100 micrometers. Thermal analyses indicated an increase in the thermal stability of the oils after encapsulation. Mayonnaise was formulated with microparticles containing chia seeds, pumpkin seeds or baru oils while the microparticles containing walnut or green coffee oils were used to formulate whey protein. Rheology analyses showed that the presence of the microcapsules influenced the mayonnaise properties, however were not able to distinguish samples containing up to 5%wt microcapsules from the blank mayonnaise sample in the sensorial test. Whey protein containing microencapsulated green coffee oil presented green color which could explain the low preference from the consumers when compared to the blank sample, however, rheology analyses did not indicate changes in properties of this product. Overall, the encapsulation strategy applied was efficient to protect the oil from oxidation and enriched foodstuff were successfully produced with the microcapsules.

Key-Words: Vegetable oil; Chia; Pumpkin Seeds; Green Coffee; Walnuts; Baru; PUFA; Microencapsulation; Mayonnaise; Whey Protein.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sementes de chia.....	18
Figura 2. Sementes de abóbora.....	18
Figura 3. Café verde.....	18
Figura 4. Nozes chilenas.....	19
Figura 5. Sementes de baru.....	19
Figura 6. Ficha de avaliação sensorial.....	35
Figura 7. Cromatograma dos ésteres metílicos dos ácidos graxos óleo de chia.....	38
Figura 8. Cromatograma dos ésteres metílicos dos ácidos graxos do óleo de sementes de abóbora.....	39
Figura 9. Cromatograma dos ésteres metílicos dos ácidos graxos do óleo de café verde.....	39
Figura 10. Cromatograma dos ésteres metílicos dos ácidos graxos do óleo de nozes.....	40
Figura 11. Cromatograma dos ésteres metílicos dos ácidos graxos do óleo de baru.....	40
Figura 12. Micropartículas contendo óleo de chia (aumento de 500 x).....	43
Figura 13. Micropartículas contendo óleo de semente de abóbora (aumento de 500 x).....	44
Figura 14. Micropartículas contendo óleo de café verde (aumento de 500 x).....	44
Figura 15. Micropartículas contendo óleo de nozes (aumento de 500 x).....	45
Figura 16. Micropartículas contendo óleo de baru (aumento de 500 x).....	45
Figura 17. Micropartículas branco (sem adição de óleo, aumento de 500 x).....	46
Figura 18. Distribuição dos tamanhos das micropartículas.....	46
Figura 19. Curvas de DSC obtidos em atmosfera de nitrogênio gasoso para as micropartículas contendo os óleos e branco (sem adição de óleo).....	48
Figura 20. Espectros de FTIR das micropartículas branco, micropartículas contendo o óleo de chia e óleo de chia <i>in natura</i>	49
Figura 21. Espectros de FTIR das micropartículas branco, micropartículas contendo o óleo de semente de abóbora e óleo de semente de abóbora <i>in natura</i>	50
Figura 22. Espectros de FTIR das micropartículas branco, micropartículas contendo o óleo de café verde e óleo de café verde <i>in natura</i>	50

Figura 23. Espectros de FTIR das micropartículas branco, micropartículas contendo o óleo de nozes e óleo de nozes <i>in natura</i>	51
Figura 24. Espectros de FTIR das micropartículas branco, micropartículas contendo o óleo de baru e óleo de baru <i>in natura</i>	51
Figura 25. Difrátogramas de Raios-X das micropartículas contendo o óleo de chia e as micropartículas branco.	52
Figura 26. Difrátogramas de Raios-X das micropartículas contendo o óleo de semente de abóbora e as micropartículas branco.....	53
Figura 27. Difrátogramas de Raios-X das micropartículas contendo o óleo de café verde e as micropartículas branco.	53
Figura 28. Difrátogramas de Raios-X das micropartículas contendo o óleo de nozes e as micropartículas branco.	54
Figura 29. Difrátogramas de Raios-X das micropartículas contendo o óleo de baru e as micropartículas branco.	54
Figura 30. Ensaios não isotérmicos obtidos por DSC para (a) o óleo de chia <i>in natura</i> e (b) as micropartículas contendo o óleo de chia.....	56
Figura 31. Ensaios não isotérmicos obtidos por DSC para (a) o óleo de semente de abóbora <i>in natura</i> e (b) as micropartículas contendo o óleo de semente de abóbora.	56
Figura 32. Ensaios não isotérmicos obtidos por DSC para (a) o óleo de café verde <i>in natura</i> e (b) as micropartículas contendo o óleo de café verde.....	57
Figura 33. Ensaios não isotérmicos obtidos por DSC para (a) o óleo de nozes <i>in natura</i> e (b) as micropartículas contendo o óleo de nozes.....	57
Figura 34. Ensaios não isotérmicos obtidos por DSC para (a) o óleo de baru <i>in natura</i> e (b) as micropartículas contendo o óleo de baru.	58
Figura 35. Ajustes lineares para obtenção dos parâmetros de Arrhenius do óleo de chia <i>in natura</i> e das respectivas micropartículas.....	59
Figura 36. Ajustes lineares para obtenção dos parâmetros de Arrhenius do óleo de semente de abóbora <i>in natura</i> e das respectivas micropartículas.....	59
Figura 37. Ajustes lineares para obtenção dos parâmetros de Arrhenius do óleo de café verde <i>in natura</i> e das respectivas micropartículas.....	60
Figura 38. Ajustes lineares para obtenção dos parâmetros de Arrhenius do óleo de nozes <i>natura</i> e das respectivas micropartículas.....	60

Figura 39. Ajustes lineares para obtenção dos parâmetros de Arrhenius do óleo de baru <i>in natura</i> e das respectivas micropartículas.	61
Figura 40. Parâmetros de cor para maionese adicionada de partículas de óleo de chia nas proporções de 2,5%, 5% e 7,5%.	64
Figura 41. Parâmetros de cor para maionese adicionada de partículas de óleo de semente de abóbora nas proporções de 2,5%, 5% e 7,5%. Amostras estatisticamente diferentes pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) estão representadas com asterisco (*).	64
Figura 42. Parâmetros de cor para maionese adicionada de partículas de óleo de baru nas proporções de 2,5%, 5% e 7,5%.	65
Figura 43. Imagem da maionese controle.	65
Figura 44. Imagem das maioneses adicionada de (a) 2,5%, (b) 5% e (c) 7,5% de micropartículas contendo óleo de chia	65
Figura 45. Imagem das maioneses adicionada de (a) 2,5%, (b) 5% e (c) 7,5% de micropartículas contendo óleo de sementes de abóbora.	66
Figura 46. Imagem das maioneses adicionada de (a) 2,5%, (b) 5% e (c) 7,5% de micropartículas contendo óleo de baru.	66
Figura 47. Parâmetros de textura da maionese controle e maionese adicionada de micropartículas contendo o óleo de chia nas proporções de 2,5%, 5% e 7,5%.	67
Figura 48. Parâmetros de textura da maionese controle e maionese adicionada de micropartículas contendo o óleo de sementes de abóbora nas proporções de 2,5%, 5% e 7,5%.	68
Figura 49. Parâmetros de textura da maionese controle e maionese adicionada de micropartículas contendo o óleo de baru nas proporções de 2,5%, 5% e 7,5%.	68
Figura 50. Curva de escoamento e viscosidade a 25°C da maionese adicionada de micropartículas de óleo de semente de abóbora.	70
Figura 51. Curva de escoamento e viscosidade a 37°C da maionese adicionada de micropartículas de óleo de semente de abóbora.	70
Figura 52. Curva de escoamento e viscosidade a 25°C da maionese adicionada de micropartículas de óleo de chia.	71
Figura 53. Curva de escoamento e viscosidade a 37°C da maionese adicionada de micropartículas de óleo de chia.	71
Figura 54. Curva de escoamento e viscosidade a 25°C da maionese adicionada de micropartículas de óleo de baru.	72

Figura 55. Curva de escoamento e viscosidade a 37°C da maionese adicionada de micropartículas de óleo de baru.	72
Figura 56. Parâmetros de cor para <i>whey protein</i> adicionado de partículas de óleo de nozes nas proporções de 2,5%, 5% e 7,5%. Amostras estatisticamente diferentes do controle pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) estão representadas com asterisco.	78
Figura 57. Parâmetros de cor para <i>whey protein</i> adicionado de partículas de óleo de nozes nas proporções de 2,5%, 5% e 7,5%. Amostras estatisticamente diferentes do controle pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) estão representadas com asterisco.	79
Figura 58. Imagem do <i>whey protein</i> controle.	79
Figura 59. Imagem do <i>whey protein</i> adicionado de (a) 2,5%, (b) 5% e (c) 7,5% de micropartículas contendo óleo de nozes.	80
Figura 60. Imagem do <i>whey protein</i> adicionado de (a) 2,5%, (b) 5% e (c) 7,5% de micropartículas contendo óleo de café verde.	80
Figura 61. Curva de escoamento e viscosidade a 25°C do <i>whey protein</i> adicionado de micropartículas de óleo de nozes.	81
Figura 62. Curva de escoamento e viscosidade a 37°C do <i>whey protein</i> adicionado de micropartículas de óleo de nozes.	82
Figura 63. Curva de escoamento e viscosidade a 25°C do <i>whey protein</i> adicionado de micropartículas de óleo de café verde.	82
Figura 64. Curva de escoamento e viscosidade a 37°C do <i>whey protein</i> adicionado de micropartículas de óleo de café verde.	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características físico-químicas dos óleos.	36
Tabela 2. Composição em porcentagem dos ácidos graxos presentes nos óleos....	38
Tabela 3. Eficiência de encapsulação das micropartículas contendo os óleos.	42
Tabela 4. Diâmetros em volume das micropartículas.....	47
Tabela 5. Entalpias e temperaturas de fusão das micropartículas contendo os óleos e micropartículas branco.	48
Tabela 6. Temperatura de início da oxidação (T) para os óleos de chia, semente de abóbora, café verde, nozes e baru e para as micropartículas contendo os respectivos óleos.....	58
Tabela 7. Energia de ativação e coeficiente de ajuste dos óleos de chia, sementes de abóbora, café verde, nozes e baru <i>in natura</i> e das micropartículas contendo os respectivos óleos.....	61
Tabela 8. Composição centesimal da maionese.	63
Tabela 9. Parâmetros reológicos da maionese adicionada de micropartículas contendo os óleos a 25°C.	73
Tabela 10. Parâmetros reológicos da maionese adicionada de micropartículas contendo os óleos a 37°C.	74
Tabela 11. Composição centesimal do <i>whey protein</i>	78
Tabela 12. Parâmetros reológicos do <i>whey protein</i> adicionado de micropartículas contendo os óleos a 25°C.	84
Tabela 13. Parâmetros reológicos do <i>whey protein</i> adicionado de micropartículas contendo os óleos a 37°C.	85

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	15
2.1. Objetivo Geral	15
2.2. Objetivos Específicos	15
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
3.1. Óleos vegetais de alto valor nutricional.....	16
3.2. Determinação da oxidação lipídica	19
3.3. Microencapsulação	21
3.4. Alimentos enriquecidos nutricionalmente	23
3.5. Maionese.....	23
3.6. <i>Whey protein</i>	25
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	27
4.1. Material	27
4.2. Elaboração das micropartículas contendo os óleos vegetais.....	27
4.3. Caracterização dos óleos <i>in natura</i> e das micropartículas contendo óleo vegetal	28
4.3.1. Quantificação de Ácidos Graxos.....	28
4.3.2. Acidez titulável, densidade e umidade dos óleos <i>in natura</i>	29
4.3.3. Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC).....	30
4.3.4. Avaliação da Estabilidade Oxidativa em DSC	30
4.3.5. Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)	31
4.3.6. Difração de Raios-X (DRX).....	31
4.3.7. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	31
4.3.8. Difração de laser.....	32
4.3.9. Eficiência de Encapsulação	32
4.4. Elaboração dos alimentos nutricionalmente enriquecidos.....	32

4.5. Caracterização dos alimentos	33
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	36
5.1. Caracterização Físico-Química dos óleos <i>in natura</i>	36
5.2. Quantificação e identificação dos ácidos graxos presentes nos óleos <i>in natura</i>	37
5.3. Caracterização das micropartículas	42
5.3.1. Eficiência de encapsulação	42
5.3.2. Morfologia das partículas.....	43
5.3.3. Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC).....	47
5.3.4. Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier	49
5.3.5. Difração de Raios-X.....	52
5.4. Estabilidade térmica.....	55
5.5. Alimentos contendo as micropartículas.....	63
5.5.1. Maionese	63
5.5.1.1. Composição centesimal	63
5.5.1.2. Cor	63
5.5.1.3. Textura.....	67
5.5.1.4. Reologia.....	69
5.5.1.5. Análise sensorial	77
5.5.2. <i>Whey Protein</i>	77
5.5.2.1. Composição centesimal	77
5.5.2.2. Cor	78
5.5.2.3. Reologia.....	81
5.5.2.4. Sensorial	86
6. CONCLUSÕES	88
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89

1. INTRODUÇÃO

Os óleos vegetais são utilizados com diversos propósitos pela indústria alimentícia, sendo que sua composição é de grande importância do ponto de vista nutricional e também do processamento do alimento. Alguns óleos são ricos em ácidos graxos poli-insaturados (AGPIs), sendo o ômega 3 e ômega 6 essenciais para a nutrição humana. Entretanto, não são sintetizados pelo organismo tendo que ser adquiridos de fontes alimentícias externas, como, por exemplo, pelo consumo de determinados óleos vegetais naturais (IXTAINA et al., 2011a; RODRÍGUEZ et al., 2016).

O alto teor de óleo, proteínas, antioxidantes e minerais encontrados nas sementes de chia fazem com que muitos profissionais da área da saúde recomendem o consumo desta semente. O grande destaque deve-se ao fato da cultura apresentar alto teor de ácidos graxos insaturados (CAHILL, 2003). O óleo da semente de abóbora é uma excelente fonte de antioxidantes como polifenóis, tocoferóis, carotenoides e AGPIs, podendo ser incluído como conservante e ingrediente funcional na área de alimentos, farmacêutica e cosmética, contribuindo para a prevenção de doenças e promoção da saúde (SIANO et al., 2016). Como principais componentes do óleo de café tem-se os ácidos fenólicos clorogênico, caféico e ferúlico (MADHAVA NAIDU et al., 2008), além de grande predominância do ácido graxo linoleico. Como propriedades benéficas à saúde, este óleo apresenta atividades anti-inflamatória e antioxidante (CARVALHO; SILVA; HUBINGER, 2014). Em relação ao óleo de nozes, o interesse em sua composição vem aumentando devido à abundância de ácidos graxos insaturados (AMARAL et al., 2003; CALVO et al., 2011). O barueiro é uma árvore nativa do cerrado brasileiro e o seu fruto pode ser aproveitado para produção de geleias. Sua castanha possui excelentes parâmetros alimentícios, alto valor nutricional, além de ser rica em óleo composto principalmente por, em média, 38,92 g de ácido graxo linoleico por 100 g de óleo e 38,34 g de ácido graxo oleico por 100 g de óleo (RODRÍGUEZ et al., 2016).

É conhecido que óleos ricos em ácidos graxos poli-insaturados são susceptíveis à oxidação e degradação (FRANKEL, 1991; ROBARDS et al., 1988) o que pode afetar negativamente a qualidade percebida pelos consumidores (MEXIS et al., 2009; MITCHAM et al., 2005). Além disso, alguns produtos de oxidação

podem ser nocivos para a saúde humana (TURNER; MCLEAN; SILVERS, 2006). Uma das estratégias promissoras para prevenir a degradação de óleos de alto valor nutricional é a técnica de encapsulação. A microencapsulação é o envelopamento de sólidos, líquidos ou gases em uma matriz encapsulante e tem sido empregada na incorporação de ingredientes naturais e/ou bioativos, permitindo uma maior estabilidade, proteção e preservação da substância.

Após a encapsulação dos óleos, é importante a aplicação das partículas resultantes na formulação de alimentos a fim de avaliar o impacto sobre as suas propriedades físico-químicas e sensoriais. A complexidade aumenta no caso de alimentos de composição complexa como o caso da maionese e do *whey protein*. A grande aceitabilidade desses produtos, por parte dos consumidores os tornam candidatos à adição de óleos de alto valor nutricional como uma alternativa de consumo à população.

A presente Dissertação foi elaborada de forma a apresentar uma breve introdução ao tema, seguido dos seus objetivos. Em seguida, uma revisão bibliográfica, contendo as informações relevantes ao assunto abordado no trabalho. Os resultados referentes são apresentados inicialmente pela caracterização dos óleos, seguido pela encapsulação e caracterização das micropartículas contendo os óleos, a formulação e caracterização dos alimentos contendo as micropartículas de óleo e, por fim, as conclusões obtidas e as referências bibliográficas.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

O objetivo do presente trabalho foi microencapsular os óleos de sementes de chia, sementes de abóbora, café verde, nozes e baru e adicionar as micropartículas em maionese e *whey protein*.

2.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar os óleos de chia, semente de abóbora, café verde, nozes e baru em relação à umidade, acidez e composição em ácidos graxos;
- Obter micropartículas de ácido esteárico contendo os óleos de sementes de chia, sementes de abóbora, café verde, nozes e baru utilizando o método de homogeneização a quente;
- Caracterizar as micropartículas em relação ao tamanho, morfologia, perfil cromatográfico e eficiência de encapsulação;
- Avaliar a capacidade de proteção do material de parede das micropartículas sob o óleo em relação à oxidação utilizando a técnica de Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC);
- Adicionar à maionese industrializada as micropartículas contendo os óleos de chia, abóbora ou baru e no *whey protein* as micropartículas contendo os óleos de nozes e café verde;
- Caracterizar os alimentos formulados quanto à textura, cor e propriedades reológicas;
- Avaliar sensorialmente os alimentos formulados através do teste de ordenação de preferência.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Óleos vegetais de alto valor nutricional

A **chia** (*Salvia hispânica L.*) é uma planta com produção anual, nativa do sul do México e norte da Guatemala, sua planta produz numerosas sementes branca e preta (CAPITANI et al., 2012), com um tamanho médio de 2 a 2,5 mm, conteúdo lipídico entre 20,3 a 39,6%, com predominância de ácidos graxos poli-insaturados. Possui quantidades consideráveis de carotenoides e tocoferol (AMATO et al., 2015), e alguns compostos fenólicos, dentre eles foram constatados o ácido cafeico, mircitina, ácido clorogênico, quercitina e kampferol, que possuem capacidade antioxidante (IXTAINA et al., 2011b). O local de cultivo e o método de fertilização podem alterar as concentrações desses componentes, fornecendo, conseqüentemente, maior ou menor proteção (AMATO et al., 2015).

Devido à sua rica composição, possui propriedades de auxílio na prevenção de doenças (REYES-CAUDILLO; TECANTE; VALDIVIA-LÓPEZ, 2008), sendo os ácidos graxos essenciais, principalmente os ácidos linoleico (LA, ômega-6) e alfa-linolênico (LNA, ômega-3) precursores dos ácidos de cadeia longa, como o ácido eicosapentaenoico (EPA), indispensável para as funções celulares, bem como possuem um potencial anti-inflamatório e cardioprotetor (GUINDANI et al., 2016; YAMAGISHI et al., 2017). Esses compostos são considerados essenciais e o corpo humano é incapaz de sintetizá-los, tendo então que ser incorporados na alimentação. Com isso o óleo de chia tem recebido cada vez mais atenção da comunidade científica, tanto em relação aos estudos de otimização dos métodos de extração, caracterização e sua incorporação e desenvolvimento de alimentos com alto valor nutricional.

A **semente de abóbora** possui em média de 35 a 45% de lipídios (NEDERAL et al., 2014), sendo extraído por prensagem a frio após o processo de torra (ANDJELKOVIC et al., 2010). O produto é um óleo de cor intermediária entre o verde e o amarelo, com um aroma torrado e de noz (MITRA; RAMASWAMY; CHANG, 2009; NEDERAL et al., 2014). Sua composição de ácidos graxos se mostra rica em oleico (23,9%) e linoleico (53,3%), sendo seu conteúdo de ácidos graxos monoinsaturados de 24% e de ácidos graxos poli-insaturados de 57,6%, além de ser

rico em compostos fenólicos e apresentar altas concentrações de tocoferóis (856,8 mg.kg⁻¹ de óleo (JIAO et al., 2014).

O **café** é uma das culturas agrícolas mais importantes no mundo, sendo a segunda maior *commodity* global, perdendo apenas para o petróleo (GETACHEW; CHUN, 2016). Sua produção representa 8 milhões de toneladas, sendo um dos alimentos comercializados mais importante (BRESCIANI et al., 2014). O óleo de café verde é composto por diversas classes de triglicerídeos, representando 75% do seu total em massa, contendo ainda alguns produtos como cafeína, esteróis, terpenos e tocoferóis. Possui um alto valor comercial e é comumente obtido por prensagem a frio, possuindo cor marrom esverdeado escuro que é atribuído a clorofila e terpenos (DE AZEVEDO et al., 2008). Sua composição de ácidos graxos poli insaturados representa 45%, sendo essa fração muito importante nutricionalmente; os monoinsaturados representam 18%. Em relação aos compostos voláteis, estão inclusos os aldeídos, cetonas, furanos, pirroles, pirazinas e piridinas (GETACHEW; CHUN, 2016).

A **noz chilena** contém cerca de 60% de lipídio em sua composição (MARTÍNEZ et al., 2011), sendo 75% do total de ácidos graxos do óleo de nozes são de ácidos graxos poliinsaturados, enquanto que 15% são de monoinsaturados (CALVO et al., 2011). Comumente a sua extração é realizada por prensagem, contendo baixas concentrações de ácidos graxos livres, peróxidos e fosfatídeos (MARTÍNEZ et al., 2011). Além disso, este óleo apresenta relevantes quantidades de outros componentes bioativos, tais como os tocoferóis, polifenóis e fitoesteróis (CALVO et al., 2011).

O **baru** é uma espécie vegetal do cerrado brasileiro e seu fruto contém uma amêndoa de cor marrom escura de alto valor nutricional. A extração de seu óleo comumente ocorre por prensagem, obtendo um óleo amarelo com odor amendoado (PINELI et al., 2015a, 2015b), sendo o rendimento da extração lipídica em torno de 25% (MARQUES et al., 2015). Esse óleo apresenta alto potencial para utilização em alimentos, fármacos, cosméticos e biodiesel (SILVA et al., 2015). Dentre dos compostos encontrados cita-se os tocoferóis, terpenos, fitoesteróis (MARQUES et al., 2015), carotenóides e clorofila (SILVA et al., 2015). Seu óleo possui grandes quantidades de ácidos graxos insaturados, destacando-se os ácidos linoleico com 39% e o ácido oleico com 38% do total de ácidos graxos (PINELI et al., 2015a).

As Figuras 1 a 5 apresentam imagens das sementes desses cinco alimentos.

Figura 1. Sementes de chia.



Fonte: <https://www.naturalcura.com.br/beneficios-da-chia/>

Figura 2. Sementes de abóbora.



Fonte: <https://www.jasminealimentos.com/wikinatural/beneficios-semente-abobora/>

Figura 3. Café verde.



Fonte: <http://www.mundobaforma.com.br/cafe-verde-emagrece-mesmo-como-funciona-e-dicas/>

Figura 4. Nozes chilenas.



Fonte: <http://www.mundoboforma.com.br/14-beneficios-das-nozes-para-que-serve-e-propriedades/>

Figura 5. Sementes de baru.



Fonte: <https://lar-natural.com.br/beneficios-e-usos-da-castanha-de-baru/>

3.2. Determinação da oxidação lipídica

A presença de oxigênio, ácidos graxos livres, mono e diacilglicerol, metais de transição, pigmentos e compostos termicamente oxidados influenciam diretamente na estabilidade oxidativa dos óleos (IXTAINA et al., 2011b). Cipriotti, Paciulli e Chiavaro (2017) citam que a utilização da Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC, do inglês) em matrizes lipídicas vem ocorrendo há 60 anos, sendo possível avaliar a oxidação deste material como alternativa a técnicas convencionais. Isso porque a oxidação lipídica é uma reação exotérmica e a liberação de calor pode ser

mensurada através do DSC com pouca quantidade de amostra e de forma rápida (ARAIN et al., 2009). Além disso, foi demonstrado que os resultados das análises consideradas clássicas, como o Rancimat, e a análise de DSC possuem alto grau de correlação (CIPRIOTI; PACIULLI; CHIAVARO, 2017; OSTROWSKA-LIGEZA et al., 2010; PARDAUIL et al., 2011; TAN et al., 2002), sendo a última mais rápida e de menor custo. Diversos autores já utilizaram este método para avaliação da estabilidade oxidativa de óleos, como o óleo de toogga (GARDETTE; BABA, 2013), mostarda (LITWINIENKO; KASPRZYCKA-GUTTMAN, 1998), canola, milho e soja (ADHVARYU et al., 2000), maracujá, buriti e semente de seringueira (PARDAUIL et al., 2011) chia e linhaça (GROMPONE et al., 2013), amora e framboesa (MICIC et al., 2015) e ácido linoleico (ULKOWSK et al., 2005).

Ensaio não isotérmico, como o método proposto por Ozawa, Flynn e Wall (OFW) (FLYNN; WALL, 1966; OZAWA, 1970), são capazes de fornecer a energia de ativação e o fator pré exponencial de Arrhenius envolvidos na reação de oxidação lipídica através das Equações (1), (2) e (3), onde T é a temperatura (K), R é a constante universal dos gases ($8,3143 \text{ J.mol}^{-1}\text{K}^{-1}$), β é a taxa de aquecimento (K.min^{-1}), A é o fator pré-exponencial (s^{-1}) e a E_a é a energia de ativação (kJ.mol^{-1}):

$$\log\beta = aT^{-1} + b \quad (1)$$

$$E_a = -2,19R \frac{d\log\beta}{dT^{-1}} \quad (2)$$

$$A = \beta \exp\left(\frac{E_a}{RT}\right) / RT^2 \quad (3)$$

A temperatura de oxidação (T) é determinada a partir do ponto de inflexão da curva do fluxo de calor *versus* temperaturas obtidas a uma taxa de aquecimento constante de uma amostra. Pelo método OFW é possível comparar sistemas em grau de conversão (α), de acordo com a Equação 4, onde ΔH_τ é o calor evoluído no tempo τ e ΔH_{total} é o valor total durante o processo de aquecimento.

$$\alpha = \frac{\Delta H_\tau}{\Delta H_{total}} \quad (4)$$

Os métodos de isoconversão integral, como o proposto por OFW, são capazes de correlacionar o grau de conversão e a energia de ativação da reação, contudo, quando se trata da estabilidade dos óleos, a energia de ativação dos instantes iniciais da reação é suficiente para a comparação entre amostras submetidas às mesmas condições experimentais sendo válido, então, para comparação de óleos puros e encapsulados (GUIMARÃES-INÁCIO et al., 2018; OSTROWSKA-LIGEZA et al., 2010).

3.3. Microencapsulação

A microencapsulação é definida como um processo onde um determinado composto é envolvido por um material de parede. Este método tem se mostrado promissor na encapsulação de lipídios, vitaminas, peptídeos, ácidos graxos, antioxidantes, minerais e probióticos, atuando contra evaporação, degradações químicas, migração de compostos para o alimento, bem como na preservação e estabilização (DORDEVIC et al., 2015). No caso de óleos, a encapsulação é uma alternativa de modificação física para a forma de pó, facilitando sua manipulação e aplicação em outros produtos (CARVALHO; SILVA; HUBINGER, 2014) ou promovendo estabilidade dos aromas (GETACHEW; CHUN, 2016). Ela também protege os lipídios da ação do ar atmosférico, conseqüentemente protegendo da oxidação e degradação e evitando a formação de sabores e odores indesejáveis (FRASCARELI et al., 2012). É necessário que o material de parede ou encapsulante seja formado por compostos seguros para a saúde humana (NAZZARO et al., 2012) e os mais comumente utilizados são proteínas, carboidratos, lipídeos, surfactantes de baixa massa molar e copolímeros.

González et al. (2016) avaliaram a variação dos componentes do material de parede na microencapsulação do óleo de chia por *spray drying* e por liofilização. Os encapsulantes estudados foram proteína isolada de soja e maltodextrina em diferentes proporções. Não houve diferença estatística na eficiência de encapsulação entre ambos os métodos e formulações e a estabilidade oxidativa de todas as partículas revelaram alta proteção.

Carvalho, Silva e Hubinger (2014) encapsularam óleo de café verde através da técnica de *spray drying* a partir emulsões de lecitina-quitosana e apenas lecitina,

com o objetivo de aumentar a estabilidade oxidativa do óleo e possível aplicação em cosméticos como protetor solar. Foram determinadas a umidade, atividade de água, tamanho das partículas, microestrutura, eficiência de encapsulação, fator de proteção solar *in vitro* e estabilidade oxidativa utilizando o Rancimat. Os resultados demonstraram boa eficiência de encapsulação (86%), fator de proteção solar de 2,12 FPS e alta estabilidade oxidativa.

Silva, Vieira e Hubinger (2014) estudaram a influência de diferentes combinações de materiais de parede com amidos modificados ou goma arábica com maltodextrina utilizando a técnica de encapsulação por *spray drying*, buscando aumentar a estabilidade oxidativa do óleo de café verde. As micropartículas foram caracterizadas quanto à estabilidade oxidativa pelo Rancimat. Os autores verificaram que a composição do encapsulante teve influência significativa sobre as propriedades das micropartículas, sendo a melhor condição aquela que utilizou amido modificado com maltodextrina na proporção 75:25 com secagem a 170°C.

Nosari et al. (2015) analisaram micropartículas contendo óleo de café verde utilizando goma arábica como material de parede e a técnica de *spray drying* para a formação das partículas. A caracterização se deu em relação à morfologia das partículas, DSC e atividade antioxidante. Tanto o óleo *in natura* como o óleo microencapsulado mostraram alta atividade antioxidante se comparado com o alfa-tocoferol, que normalmente é aplicado em produtos cosméticos, indicando ser uma boa alternativa para aplicação cosmetológica.

Calvo et al. (2011) encapsularam óleo de nozes com propósito de verificar os efeitos de diferentes materiais de paredes na preservação do óleo. Foram realizadas quatro formulações distintas, foram testadas paredes com diferentes proporções de caseinato de sódio, maltodextrina, carboximetil celulose e lecitina e o método de encapsulação utilizado foi de liofilização. A caracterização realizada foi em relação à eficiência de encapsulação, composição de ácidos graxos, determinação de tocoferóis por cromatografia líquida de alta eficiência, DPPH e estabilidade oxidativa, sendo observado que o perfil de ácidos graxos não foi alterado pelo processo de microencapsulação e a estabilidade do óleo foi aumentada com a encapsulação para todos os encapsulantes. A maior eficiência de encapsulação (em torno de 99%) observada ocorreu com a parede de maltodextrina, carboximetil celulose e lecitina na proporção de 1:1:5.

Calvo et al. (2012) avaliaram a viabilidade *in vitro* do ômega 3, ômega 6 e tocoferóis de óleo de nozes microencapsulado em duas diferentes formulações, uma contendo caseinato de sódio e maltodextrina e outra contendo maltodextrina, carboximetil celulose e lecitina, ambas utilizando a técnica de liofilização. Além da digestibilidade *in vitro*, ainda foi caracterizado a composição de ácidos graxos e tocoferóis, demonstrando que a partícula de caseinato de sódio com maltodextrina possui maior digestibilidade (em torno de 90%).

3.4. Alimentos enriquecidos nutricionalmente

Tem aumentado o anseio dos consumidores por alimentos que tragam benefícios à saúde e ao organismo ou até mesmo auxiliar na prevenção de alguma doença. Estes alimentos são distinguidos dos demais pela presença de ácidos graxos essenciais, antioxidantes, fibras e outros componentes (MARTÍNEZ et al., 2012). Para o caso do ômega-3, a legislação europeia (*European Food Safety Authority* (EFSA)) diz que um alimento pode ser considerado fonte de ômega-3 se contiver pelo menos 0,3 g de ácido alfa linolênico (ALA) em cada 100 g e 100 kcal ou mais de 40 mg da combinação de ácido eicosapentaenoico (EPA) e ácido docosa-hexaenoico (DHA) (COMMISSION, 2010, 2012). Profissionais ligados ao desenvolvimento de produtos vem se preocupando em ampliar a aplicação de ingredientes naturais com alto valor nutricional, sem que estes impactem negativamente nas propriedades sensoriais e físico-químicas nos alimentos, como textura, estabilidade, cor e sabor, o que poderia diminuir a aceitabilidade do produto pelo consumidor final (MA; BOYE, 2013).

3.5. Maionese

A maionese é considerada uma emulsão óleo em água, onde gotículas de óleo estão dispersas em uma fase aquosa estabilizadas por moléculas com propriedades emulsificantes de característica anfifílica (RAHMATI; TEHRANI; DANESHVAR, 2014). Pelo ponto de vista coloidal, a maionese é uma emulsão do tipo óleo em água de baixo pH, com alto teor de lipídios (DI MATTIA et al., 2015), sendo sua composição tradicional de óleo, água, mostarda, gema de ovo e de

vinagre (KERKHOF et al., 2011), podendo ainda conter sal, espessantes (amido modificado, goma guar, goma xantana), conservantes (sorbato de potássio e benzoato de sódio) e ácidos para o ajuste do pH (ácido láctico, acetato de sódio e ácido málico) (ALEMÁN et al., 2015). Sua estrutura, aparência e comportamento reológico são importantes para a percepção de textura e propriedades sensoriais de um modo geral, bem como a estabilidade física, que são fatores importantes e determinantes na satisfação do consumidor (DI MATTIA et al., 2015).

Sorensen, Nielsen e Jacobsen (2010) avaliaram a estabilidade oxidativa de maionese enriquecida com óleo de peixe não encapsulado, onde as amostras foram armazenadas ao abrigo da luz por 57 dias a 2°C e retiradas alíquotas em tempos pré-determinados para análises de peróxidos, se mostrando tão estável quando a maionese sem adição do óleo de peixe, entretanto, a combinação do armazenamento refrigerado com abrigo da luz, além da baixa porcentagem de enriquecimento (6,3% de óleo de peixe), não representa condições reais de armazenamento deste alimento em redes comerciais.

Mattia et al. (2015) estudaram as propriedades mecânicas, reológicas, microestrutura, cor e propriedades sensoriais de maionese de óleo de oliva extra virgem e maionese de óleo de oliva refinado e maionese de óleo de amendoim, utilizando maionese de óleo de girassol como referência. A maionese com óleo de oliva extra virgem obteve menor firmeza, consistência e elasticidade se comparado com as outras. Em relação à avaliação sensorial, as amostras de óleo de amendoim, óleo de oliva refinado e óleo de girassol apresentaram perfil semelhante ao sabor e adstringência. A amostra contendo o óleo de oliva extra virgem foi caracterizada pelo odor de grama recém cortada e peculiar aroma de óleo, sabor amargo, picante e adstringência, tais características foram atribuídas pelo conteúdo de compostos fenólicos do óleo extra virgem.

Raudsepp et al. (2014) investigaram a estabilidade oxidativa a partir da formação de peróxidos e perda de alfa-tocoferol durante 6 dias de armazenamento a 4°C de quatro formulações de maionese, sendo elas maionese formulada com triglicerídeos saturados de cadeia média, maionese de óleo de linhaça, maionese elaborada da mistura das duas maioneses anteriores e maionese produzida com a mistura do óleo de linhaça e o triglicerídeo saturado de cadeia média, relatando que a maionese produzida apenas com o óleo de linhaça é mais suscetível a oxidação em relação as outras 3 formulações, entretanto a mistura dos triglicerídeos

saturados de cadeia média ao óleo de linhaça retardou a oxidação se comparada com a produzida com o óleo puro e com a maionese feita a partir da mistura das maioneses.

Não foram encontrados na literatura trabalhos que tratam da incorporação de óleos microencapsulados em maionese. A microencapsulação pode ser uma alternativa para evitar que a presença do óleo seja percebida sensorialmente, o que poderia diminuir a aceitabilidade do produto. Também pode ser uma alternativa para evitar que a presença do óleo impacte negativamente nas propriedades físico-químicas do alimento e, conseqüentemente, em seu processamento e armazenamento.

3.6. *Whey protein*

A atividade física é popularmente conhecida pela melhora na qualidade de vida e manutenção de um corpo saudável, sendo que a combinação com a suplementação de *whey protein* (proteína do soro, em português) se mostra efetiva em relação a mudanças no perfil lipídico de indivíduos acima do peso (SHEIKHOLESLAMI VATANI; AHMADI KANI GOLZAR, 2012). De fato, o consumo de suplementos vem crescendo a cada ano, normalmente utilizados para suprir necessidades nutricionais criadas por uma dieta incompleta ou para melhorar a performance esportiva. O *whey protein* é uma fração de proteína solúvel do leite, obtida a partir da produção de queijos, sendo uma fonte biológica alta de proteínas, popularmente usada como suplemento (GARRIDO et al., 2016), o seu enriquecimento com ácidos graxos essenciais traria mais um benefício para complementar as dietas bem como a agregação de valor ao produto.

O *whey protein* promove rápida síntese de proteína muscular, devido à sua rápida absorção e alto conteúdo de leucina (KRAMER et al., 2017), além de promover saciedade na ordem de 50 a 60% (MACKENZIE-SHALDERS et al., 2015).

Bauere et al. (2015) suplementaram *whey protein* com leucina e vitamina D, com intuito de melhorar a força e função muscular de idosos com sarcopenia, visto que aminoácidos essenciais e a vitamina D são reconhecidos como fatores importantes no tratamento desta doença. Seus resultados demonstraram que este

tipo de suplementação apresentou melhorias na massa muscular e benefícios para esta parcela da população.

Não foram encontrados trabalhos relatando o uso de óleos de alto valor nutricional microencapsulados na formulação *whey protein*. A adição de micropartículas contendo os óleos pode promover um ganho nutricional significativo neste tipo de alimento, contudo é necessário se a presença das microcápsulas pode levar a alguma alteração sensorial no produto.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Material

Foram utilizados os óleos de sementes de abóbora, café verde, baru, nozes e chia adquiridos da empresa Veris Óleos Ltda. Ácido esteárico (95%, Sigma-Aldrich) e caseinato de sódio (Sigma-Aldrich) foram utilizados como encapsulante e estabilizante na obtenção das micropartículas, respectivamente. Solução de éter (99,5%, Alphatec) - álcool (2:1) neutra, solução de fenolftaleína (Alphatec) e solução de hidróxido de sódio (Chemco) $0,01 \text{ mol.L}^{-1}$ foram utilizadas para determinação de acidez dos óleos. 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) $0,5 \text{ mol.L}^{-1}$, 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 termoanalíticas e cromatográficas. Brometo de potássio (KBr, Sigma-Aldrich, grau espectroscópico) foi utilizado na preparação das pastilhas para a Espectroscopia de Infravermelho. Maionese comercial (Heinz) e *whey protein* comercial (Health Time Nutrition) foram adquiridas do comércio local para elaboração dos alimentos adicionados das micropartículas. Para os ensaios de composição centesimal, foram utilizados ácido sulfúrico (Dinâmica), selênio (Dinâmica), sulfato de cobre anidro (Dinâmica), hidróxido de sódio (Dinâmica), n-hexano (Synth) e ácido bórico (Neon).

4.2. Elaboração das micropartículas contendo os óleos vegetais

As micropartículas contendo os óleos foram obtidas segundo método proposto por Guimarães-Inácio et al. (2018) com pequenas modificações. A fase aquosa constituiu da dissolução de caseinato de sódio (0,275 g) em água destilada

(250,0 g) aquecida até 75°C mantendo agitação branda. Posteriormente, um frasco de borossilicato encamisado foi conectado a um banho termostático a 75°C e, em seguida, ácido esteárico (16,75 g) foi adicionado para ser fundido. Logo após, óleo vegetal (8,25 g) foi adicionado ao frasco sob agitação branda durante 1 minuto. Em seguida, adicionou-se a fase aquosa sob agitação (8.600 rpm, 5 minutos) 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 e armazenadas sob refrigeração ao abrigo da luz até sua utilização. Este procedimento ocorreu para a obtenção das partículas dos óleos de chia, semente de abóbora, café verde, baru e nozes. O mesmo procedimento também foi realizado na obtenção de partículas sem a adição de óleo (micropartículas branco).

4.3. Caracterização dos óleos *in natura* e das micropartículas contendo óleo vegetal

4.3.1. Quantificação de Ácidos Graxos

A preparação de ésteres metílicos de ácidos graxos foi realizada de acordo com uma adaptação do método descrito por Hartman & Lago (1973). O procedimento foi realizado em triplicata, utilizando o tricosanoato de metila (23:0Me) como padrão interno (VISENTAINER, 2012).

Em um tubo com tampa rosqueável foram adicionados 300 µL de solução de padrão interno em isoctano (grau cromatográfico) na concentração de 1,0 mg.mL⁻¹. Após evaporação do solvente sob fluxo de nitrogênio gasoso, a amostra (20 mg) foi pesada no mesmo tubo. Em seguida foi adicionado solução metanólica de NaOH 0,5 mol.L⁻¹ (4 mL) e agitou-se vigorosamente por 30 segundos. Logo após, o tubo foi aquecido em banho a 100°C durante 5 minutos e resfriada em água corrente até atingir a temperatura ambiente. Em seguida, foi adicionado o reagente esterificante (5 mL) e foi promovida agitação vigorosa por 30 segundos. Procedeu-se aquecimento por 5 minutos e em seguida o resfriamento em água corrente. Foi adicionado solução saturada de NaCl (0,5 mL) e isoctano (2 mL), promovendo

agitação por 30 segundos entre as adições. A amostra esterificada foi deixada em repouso a 10 °C para uma melhor separação das fases. O sobrenadante contendo os ésteres metílicos de ácidos graxos (EMAGs) foi recolhido, acondicionado em um vial e mantido a -20°C até o momento das análises no cromatógrafo a gás. As transesterificações foram realizadas em triplicata.

Os ésteres metílicos dos ácidos graxos dos óleos de chia, café verde, sementes de abóbora, baru e nozes foram separados em um cromatógrafo a gás (Shimadzu, GC-2010 Plus AF) equipado com injetor capilar Split/Splitless, utilizando o método de injeção Split 40 partes, detector de ionização por chama (FID), 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). 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). O fluxo de gases (White Martins) foi de 1,2 mL.min⁻¹ para o gás de arraste (H₂) e 30mL.min⁻¹ para o gás auxiliar (N₂). Para os gases da chama, hidrogênio e ar sintético, as vazões foram de 40 mL.min⁻¹ e 400 mL.min⁻¹, respectivamente. A temperatura da coluna foi de 180°C por 15 minutos, sendo elevada até 225°C a uma taxa de 10°C.min⁻¹, permanecendo nesta temperatura por 10 minutos. Ionizador e detector foram mantidos a 240°C. As injeções foram realizadas em triplicata com volume de injeção foi de 1 µL. As áreas dos picos foram integradas utilizando software GCsolution versão 2.41 (Shimadzu).

A quantificação dos ácidos graxos foi realizada em relação ao padrão interno, tricosanoato de metila (23:0), sendo a concentração expressa em porcentagem relativa (VISENTAINER, 2012).

4.3.2. Acidez titulável e umidade dos óleos *in natura*

Os parâmetros físico-químicos de acidez e umidade para os óleos *in natura* foram realizadas conforme metodologia do Instituto Adolfo Lutz (2008) em triplicata.

4.3.3. Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC)

Para a determinação da temperatura de fusão do material encapsulante, foi utilizado Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC, Perkin Elmer 4000) com fluxo de nitrogênio gasoso de 50 mL.min⁻¹ em uma taxa de aquecimento de 20°C.min⁻¹ para a faixa de temperatura de 0°C a 440°C. Aproximadamente 10 mg de amostra foram acondicionadas em porta-amostras de alumínio fechadas.

4.3.4. Avaliação da Estabilidade Oxidativa em DSC

A determinação da estabilidade oxidativa foi realizada em Calorímetro Diferencial de Varredura (DSC, Perkin Elmer 4000), onde a amostra de micropartículas liofilizadas ou dos óleos (aproximadamente 10 mg) foi transferida para um porta-amostra de alumínio aberto e alocada no interior do equipamento, sendo utilizada vazão de ar sintético a 100 mL.min⁻¹. Foi realizado o ensaio em modo não isotérmico com as taxas de aquecimento de 1, 5, 10 e 20°C.min⁻¹ em uma faixa de temperatura de 0°C a 440°C. O cálculo da energia de ativação (E_a) envolvida na reação de oxidação lipídica foi obtida pelo método proposto por Ozawa, Flyn e Wall (OFW) (FLYNN; WALL, 1966; OZAWA, 1970) a partir das Equações 1, 2 e 3.

$$\log\beta = aT^{-1} + b \quad (1)$$

$$E_a = -2,19R \frac{d\log\beta}{dT^{-1}} \quad (2)$$

$$A = \beta \exp\left(\frac{E_a}{RT}\right) / RT^2 \quad (3)$$

A temperatura de início da oxidação (T) é determinada a partir do ponto de inflexão da curva do fluxo de calor *versus* temperatura, extrapolando a linha de base com a tangente (GUIMARÃES-INÁCIO et al., 2018; OSTROWSKA-LIGEZA et al., 2010). β é a taxa de aquecimento (K.min⁻¹), “a” e “b” são inclinação e interceptação,

respectivamente, E_a é a energia de ativação ($\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$), R é a constante universal dos gases ($8,3143 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\text{K}^{-1}$) e A é o fator pré-exponencial (s^{-1}).

4.3.5. Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

Para a análise de FTIR foram preparadas pastilhas de KBr seco (aproximadamente 100 mg) e amostra (aproximadamente 10 mg) e analisadas em equipamento Shimadzu (IR Affinity-1), com resolução de 2 cm^{-1} de 4000 a 400 cm^{-1} e 32 varreduras acumuladas. A análise foi realizada em triplicata para cada uma das amostras e os espectros foram normalizados a fim de possibilitar a comparação. O objetivo da análise foi detectar mudanças nos picos de absorção que podem servir de indício da encapsulação do óleo.

4.3.6. Difração de Raios-X (DRX)

Os ensaios de Difração de Raios-X foram realizados em um difratômetro (Bruker, D8 Advance), operando com radiação de $\text{Cu-K}\alpha$ gerada a 40 KV e 35 mA, variando de 3° a 60° (2θ) a uma taxa de $5,9^\circ\cdot\text{min}^{-1}$. O objetivo desta análise foi detectar mudanças na cristalinidade do lipídio encapsulante, que também podem servir de indício da encapsulação do óleo.

4.3.7. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Para a análise de Microscopia Eletrônica de Varredura (Carl Zeiss – EVO MA 15), as amostras liofilizadas foram recobertas com ouro e as imagens foram obtidas por detecção de elétrons retroespalhados. O objetivo desta análise foi observar o formato, tamanho das micropartículas e a ocorrência ou não de aglomeração.

4.3.8. Difração de laser

A distribuição do tamanho das micropartículas foi determinada utilizando um analisador de difração de laser (Malvern Mastersizer, modelo 3000). Os parâmetros de diâmetro (D10 , D50 e D90) foram calculados através da curva de distribuição cumulativa e representam valores de diâmetros correspondentes a 10%, 50% e 90% do total de micropartículas em volume (SARTORI et al., 2015).

4.3.9. Eficiência de Encapsulação

As micropartículas liofilizadas (entre 20 e 30 mg) foram esterificadas e analisadas por Cromatografia Gasosa. Separadamente, uma alíquota da dispersão das micropartículas foi lavada com etanol absoluto em filtros quantitativos (3 micrômetros de porosidade) para remoção do óleo superficial não encapsulado. As partículas lavadas também foram esterificadas e analisadas por Cromatografia Gasosa. Através da relação entre a concentração do ácido graxo total presente nas partículas ($[AG]_{total}$) e a concentração do ácido graxo nas partículas lavadas ($[AG]_{encapsulado}$), foi possível determinar a eficiência da encapsulação (EE%) conforme a Equação 5.

$$EE (\%) = \frac{[AG]_{encapsulado}}{[AG]_{total}} \cdot 100 \quad (5)$$

4.4. Elaboração dos alimentos nutricionalmente enriquecidos

Para a elaboração dos alimentos, foram escolhidos a maionese e o *whey protein* por serem alimentos de grande aceitação por parte dos consumidores. Para a maionese foram adicionadas as micropartículas contendo os óleos de chia, baru e semente de abóbora. Para o *whey protein* foram avaliadas as micropartículas contendo os óleos de café verde e nozes. As proporções analisadas foram de 0%, 2,5%, 5% e 7,5% (em massa) para todas as partículas.

4.5. Caracterização dos alimentos

A maionese e o *whey protein* adquiridos comercialmente foram caracterizados quando aos seus teores de lipídios, umidade, proteínas e carboidratos conforme metodologia do Instituto Adolfo Lutz (2008) em triplicata.

Para a análise colorimétrica, tanto a maionese quanto o *whey protein* foram submetidos ao espectrômetro de reflectância (Konica minolta CR-400), com iluminante D65, onde foram obtidos os parâmetros L* (Luminosidade), a* (- tende a verde; + tende a vermelho) e b* (- tende a azul; + tende a amarelo) (ALTUNKAYA et al., 2013), sendo estes parâmetros utilizados para calcular o ângulo de tonalidade (ângulo Hue, h°) e a saturação (Chroma, C*) de acordo com as Equações 6 e 7, respectivamente (LANCASTER; LISTER, 1997; LEMES et al., 2017). As análises foram feitas em duplicata, com três leituras de cada replicata.

$$h^{\circ} = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad (6)$$

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (7)$$

O estudo do comportamento reológico foi realizado nas temperaturas de 25 e 37°C (temperatura ambiente e a temperatura média do corpo humano, respectivamente). As medições foram realizadas com velocidade de rotação do *spindle* partindo do zero até o máximo de 250 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 temperatura, tensão de cisalhamento, taxa de deformação e viscosidade aparente. Foram avaliados os parâmetros dos modelos de Bingham, Casson e Herschel-Bulkley, representados nas Equações 8, 9 e 10, respectivamente. De acordo com a literatura, os modelos escolhidos para realizar os ajustes são os mais utilizados e que melhor representam sistemas coloidais (CHIVERO et al., 2016; TABILO-MUNIZAGA; BARBOSA-CÁNOVAS, 2005).

$$\sigma = \sigma_0 + \eta_a \cdot \dot{\gamma} \quad (8)$$

$$\sigma^{0,5} = \sigma_0^{0,5} + k_c \cdot \dot{\gamma}^{0,5} \quad (9)$$

$$\sigma = \sigma_0 + k \cdot \dot{\gamma}^n \quad (10)$$

Onde:

σ – Tensão de cisalhamento (Pa);

σ_0 – Tensão inicial (Pa);

η_a – Viscosidade limite (Pa.s);

$\dot{\gamma}$ – Taxa de deformação (s^{-1});

k_c – Viscosidade a taxa de deformação infinita (Pa.s);

k – Índice de consistência ($Pa \cdot s^n$);

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 (BARNES; HUTTON; WALTERS, 1989).

A análise de textura (texturômetro TA.XT Express, Stable Micro Systems, *probe* de compressão em forma de disco de 35 mm de diâmetro e uma célula de carga 10 kg) foi realizada em triplicata para cada uma das amostras de maionese (controle e adicionado de micropartículas de óleo). As amostras foram acondicionadas em frascos com dimensões de 50 mm de diâmetro e 75 mm de altura, inseridas até 40 mm deste recipiente, e submetidas a compressão de 50% de profundidade em velocidade de $1 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ (DI MATTIA et al., 2015). A propriedade de firmeza foi calculada a partir da força máxima registrada. A área sob a curva até o pico máximo foi utilizada para calcular a consistência. A coesividade e o trabalho de adesão foram mensurados pela força negativa máxima e pela a área da região negativa da curva, respectivamente (LIU; XU; GUO, 2007).

As amostras de maionese e *whey protein* foram avaliadas sensorialmente através de testes de ordenação de preferência com 60 provadores não treinados, realizados no Laboratório de Análise Sensorial da UTFPR – Campus Campo Mourão. O projeto foi enviado previamente ao Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos e aprovado pelo número 2.341.697 em 21/10/2017. Foram avaliadas as amostras controle (alimento sem micropartículas) e amostras com proporções de partículas de 2,5% e 5,0% em massa, totalizando 3 amostras de cada óleo por provador. Para cada amostra, aproximadamente 0,7 g de maionese foram dispostas em torrada, enquanto para o *whey protein* foram fornecidos 30 mL aos provadores (aproximadamente meio copo pequeno descartável de café). Cada alimento foi avaliado separadamente em dias diferentes. O provador recebeu simultaneamente as 3 amostras codificadas em ordem aleatória, um copo de água mineral e uma ficha de avaliação. Foi solicitado para o provador beber a água, provar as amostras da esquerda para a direita e ordená-las a partir da sua preferência (ISO 8587, 2006), como indicado na Figura 6. Os resultados foram analisados estatisticamente pelo teste de Friedman (FUCHS et al., 2013).

Figura 6. Ficha de avaliação sensorial.

Nome: _____	Data: __/__/__	
<p>Você está recebendo 3 amostras codificadas de maionese/<i>whey protein</i>. Por favor, prove as amostras da esquerda para a direita e ordene da menos preferida para a mais preferida.</p>		
<p>-----</p> <p>- preferida</p>	<p>-----</p>	<p>-----</p> <p>+ preferida</p>

Fonte: Autoria própria

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Caracterização Físico-Química dos óleos *in natura*

O parâmetros físico-químicos de acidez e umidade dos óleos *in natura* estão apresentados na Tabela 1, expressos como média \pm desvio padrão .

Tabela 1. Características físico-químicas dos óleos.

Óleos	Índice de Acidez (g ácido oleico·100g óleo ⁻¹)	Umidade (%)
Semente de Abóbora	0,0674 \pm 0,0021	0,44 \pm 0,08
Baru	0,0225 \pm 0,0024	0,33 \pm 0,10
Café Verde	0,2138 \pm 0,0014	0,52 \pm 0,03
Chia	0,0451 \pm 0,0003	0,96 \pm 0,45
Nozes	0,0511 \pm 0,0005	0,52 \pm 0,41

Fonte: Autoria própria.

O índice de acidez é um indicativo do estado de conservação do óleo, visto que a decomposição dos glicerídeos é acelerada pelo aquecimento e pela luz e a rancidez é acompanhada pela formação de ácidos graxos livres. A acidez livre de uma gordura não é uma constante ou característica, mas é uma variável relacionada com a natureza, qualidade da matéria-prima, grau de pureza da gordura, com o processamento e, principalmente, com as condições de conservação do óleo (GROSSI et al., 2014), sendo que o valor máximo permitido de acidez nos óleos de acordo com a legislação é de 0,4 g ácido oleico·100 g óleo⁻¹ (Codex Alimentarius Commission, 1999).

Ixtaina et al. (2011), ao estudar as características físico-químicas do óleo de chia, encontraram uma variação no índice de acidez de 0,07 até 0,20 g ácido oleico·100 g óleo⁻¹. Em trabalho semelhante, Segura-Campos et al. (2014) ao determinar a acidez do óleo de chia, também encontraram pequenas variações quando comparam seus resultados a de outros estudos e sugeriram que essa diferença é influenciada pelo local de cultivo da chia e o modo de extração do óleo. Em análise realizada por Hernández-Santos et al. (2016), o óleo obtido da semente de abóbora

apresentou uma variação de 0,140 à 0,247 g ácido oleico·100 g óleo⁻¹, em resultado reportado por Vincek et al. (2014) 0,14 à 0,37 g ácido oleico·100 g óleo⁻¹. Sendo assim, tanto os autores citados quanto no presente trabalho os valores de acidez encontrados para todos os óleos *in natura* estão dentro dos padrões estabelecidos pela legislação vigente.

A umidade representa para óleos, gorduras e sementes oleaginosas um importante parâmetro de controle, já que é conhecido que a estabilidade desses alimentos diminui com o aumento do teor de umidade (KAIJSER; DUTTA; SAVAGE, 2000). Contudo, não foram constatados na literatura valores de umidade para os óleos aqui estudados.

A partir dos resultados obtidos, pode-se concluir que os óleos estudados são de boa qualidade estando dentro dos padrões requeridos e tendo resultados compatíveis com a literatura.

5.2. Quantificação e identificação dos ácidos graxos presentes nos óleos *in natura*

Os resultados da Cromatografia Gasosa para a determinação da composição de ácidos graxos presentes nos óleos de semente de abóbora, nozes, café verde, chia e baru são apresentados na Tabela 2, expressos em porcentagem de ácido graxo nas amostras. Os tempos de retenção e identificação dos ácidos graxos nos óleos de semente de abóbora, nozes, café verde, chia e baru estão apresentados nas Figuras 7 a 11, respectivamente.

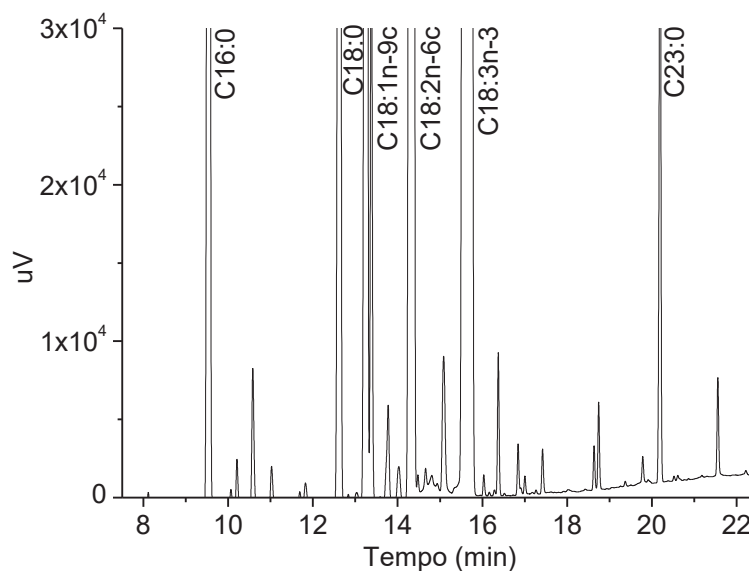
Tabela 2. Composição em porcentagem dos ácidos graxos presentes nos óleos.

Ácidos Graxos	% AG para cada óleo				
	Chia	Semente de Abóbora	Café Verde	Nozes	Baru
16:0	4,46±0,02	10,74±0,01	31,47±0,3	5,66±0,03	6,27±0,10
16:1	0,05±0,01	0,14±0,01	0,24±0,01	0,07±0,01	-
17:0	0,04±0,01	0,16±0,01	0,24±0,01	0,05±0,01	0,09±0,01
18:0	2,38±0,01	5,12±0,04	7,31±0,04	2,36±0,01	3,72±0,09
18:1n-9	4,02±0,01	19,72±0,01	8,37±0,07	12,34±0,01	42,42±0,53
18:2n-6	14,74±0,01	56,21±0,02	46,02±0,09	59,49±0,01	36,17±0,20
18:3n-3	73,63±0,02	6,97±0,03	2,17±0,01	19,62±0,02	0,30±0,02
20:0	0,17±0,01	0,37±0,01	2,65±0,03	0,09±0,01	1,04±0,03
20:1	0,10±0,01	0,10±0,01	0,35±0,01	0,15±0,01	2,39±0,04
SFA (%)	7,20±0,03	16,77±0,03	42,61±0,17	8,26±0,02	18,32±0,26
MUFA (%)	4,17±0,01	19,96±0,01	8,96±0,07	12,56±0,02	45,10±0,48
PUFA (%)	88,64±0,02	63,27±0,04	48,43±0,10	79,18±0,04	36,58±0,23
PUFA:SFA	12,31	3,77	1,13	9,58	1,99
n-6:n-3	0,20	7,96	19,95	3,03	109,60

SFA: *Saturated Fatty Acids* (Ácidos Graxos Saturados); MUFA: *Monounsaturated Fatty Acids* (Ácidos Graxos Monoinsaturados); PUFA: *Polyunsaturated Fatty Acids* (Ácidos Graxos Polinsaturados).

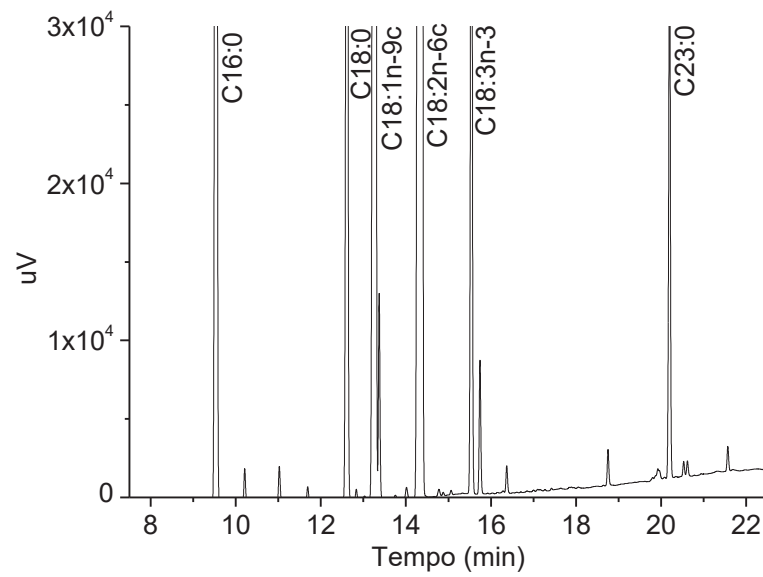
Fonte: Autoria própria.

Figura 7. Cromatograma dos ésteres metílicos dos ácidos graxos óleo de chia.



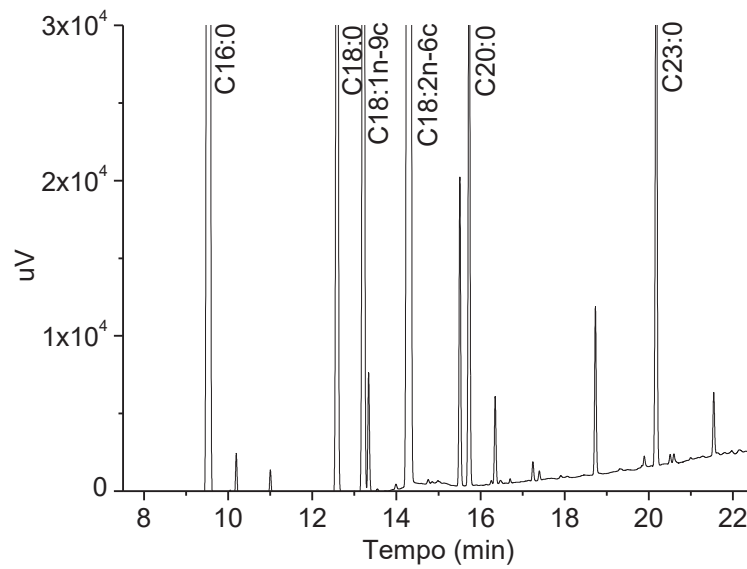
Fonte: Autoria própria.

Figura 8. Cromatograma dos ésteres metílicos dos ácidos graxos do óleo de sementes de abóbora.



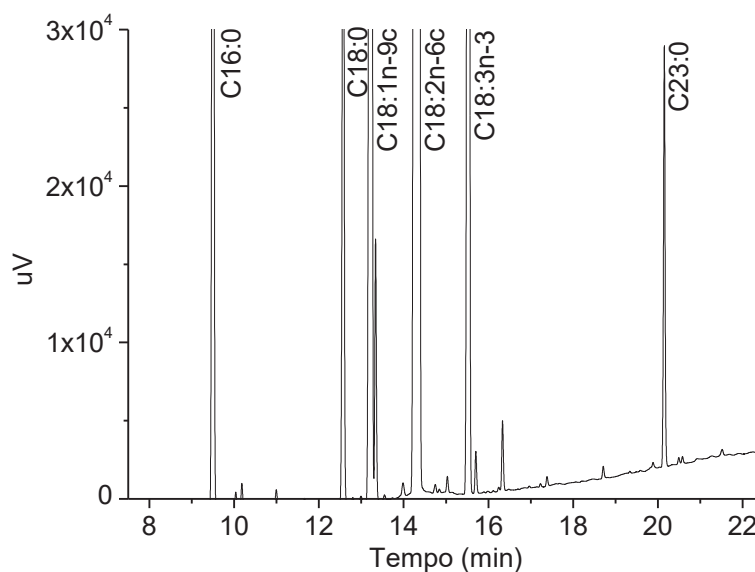
Fonte: Autoria própria.

Figura 9. Cromatograma dos ésteres metílicos dos ácidos graxos do óleo de café verde.



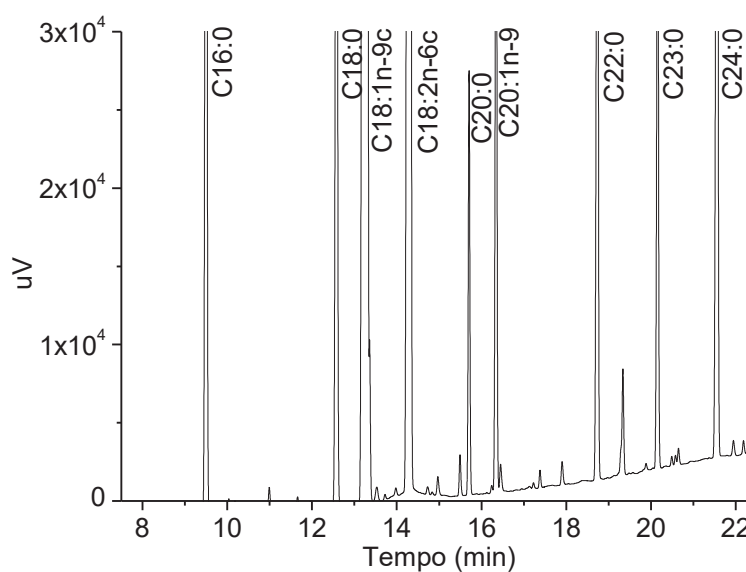
Fonte: Autoria própria.

Figura 10. Cromatograma dos ésteres metílicos dos ácidos graxos do óleo de nozes.



Fonte: Autoria própria.

Figura 11. Cromatograma dos ésteres metílicos dos ácidos graxos do óleo de baru.



Fonte: Autoria própria.

Os ácidos mais abundantes nos óleos da semente de chia e nozes foram alfa-linolênico com 73,6% e 19,6%, respectivamente, e linoleico com 14,7% e 59,5%, respectivamente. Nas sementes de abóbora e baru os ácidos majoritários foram oleico com 19,7% e 42,4%, respectivamente, e linoleico com 56,2% e 36,2% respectivamente, enquanto que no café os maiores percentuais foram os ácidos esteáricos 31,3% e linoleico 46,0%.

Dentre os ácidos graxos saturados (AGS), a maior concentração foi de ácido palmítico (16:0) nos óleos das sementes de abóbora e café verde foram 10,7% e 31,5%, respectivamente. Já os maiores valores nos somatórios dos ácidos graxos saturados (AGS), foram nos óleos de café (42,%), baru (18,3%) e abóbora (16,8%).

Os maiores somatórios percentuais dos ácidos graxos monoinsaturados (MUFA) foram 45,1% e 19,9%, nos óleos das sementes de baru e abóbora. Os teores desses ácidos graxos estão associados aos aspectos nutricionais dos alimentos. A ingestão de alimentos com elevados teores de ácidos graxos saturados pode elevar o nível de colesterol sérico em humanos, enquanto que o consumo dos ácidos graxos monoinsaturados é recomendado para reduzir o risco cardiovascular (SANTOS et al., 2013).

Ullah et al. (2016) apresentaram valores de 61,28%, 11,92% e 8,26% para o ácido alfa-linolênico, linoleico e oleico, respectivamente, ao avaliar a composição de ácidos graxos no óleo de chia, indicando valores semelhantes ao encontrado no presente estudo. Em estudo realizado por Jiao et al. (2014) com o óleo de sementes de abóbora obtidos por dois tipos de extração, foram encontrados 0,32% de ácido alfa-linolênico, 23,90% de ácido oleico e 57,33% de ácido linoleico para extração enzimática assistida por micro-ondas e 0,18% de ácido alfa-linolênico, 24,63% para o ácido oleico e 53,72% ácido linoleico para extração por solvente. Procida et al. (2013) encontraram um valor de 0,29% de ácido alfa-linolênico, 48,29% de ácido linoleico e 38,33% de ácido oleico ao realizarem estudos semelhantes para identificação de ácidos graxos em óleos comerciais de semente de abóbora para dietas e fins terapêuticos. Estes valores estão abaixo dos encontrados neste trabalho para as concentrações de ácido alfa-linolênico e próximos aos encontrados para concentrações de ácido linoleico e oleico.

Para o óleo de café verde, Bertrand et al. (2008) determinaram valores em torno de 1,52% de alfa-linolênico, 43,47% de linoleico, 9,67% de oleico ao estudar óleos de três regiões diferentes da Colômbia. Estes valores estão próximos aos encontrados por Budryn et al. (2012) de 1,30% alfa-linolênico, 43,73% de linoleico e 9% de oleico. Ambas as pesquisas apresentam valores próximos aos apresentados neste trabalho.

Calvo et al. (2011) apresentaram valores de 11,93% de ácido linolênico, 63,15% de ácido linoleico e 14,65% de ácido oleico ao estudarem o óleo de nozes.

Estes valores são próximos ao encontrados por Christopoulos e Tsantili (2015) para os mesmos compostos (17,64%, 54,10% e 15,03%, respectivamente).

Pineli et al. (2015) encontraram concentrações de 39,40% para ácido linoleico e 37,48% de ácido oleico para o óleo de baru, contudo não encontraram ácido linolênico. Silva et al. (2015) encontraram 0,18%, 28,91% e 47,86% para os ácidos alfa-linolênico, linoleico e oleico respectivamente, valores estes próximos aos encontrados neste trabalho.

Pelos dados referentes à composição em ácidos graxos, é possível concluir que todos os óleos do presente estudo são ricos em ácidos graxos insaturados, sendo o óleo de chia e o óleo de nozes com maiores teores de ômega 3 e ácidos graxos poli insaturados.

5.3. Caracterização das micropartículas

5.3.1. Eficiência de encapsulação

A eficiência de encapsulação (EE%) para o ômega-3 e ômega-6 nas micropartículas contendo os óleos são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Eficiência de encapsulação das micropartículas contendo os óleos.

Ácido Graxo	Eficiência de Encapsulação (%) para cada óleo				
	Chia	Semente de abóbora	Café Verde	Nozes	Baru
18:2n6	99,03±1,40	88,18±4,30	94,43±0,55	91,79±2,80	98,92±6,90
18:3n3	100,55±1,39	88,79±6,06	103,17±0,80	91,76±2,80	105,73±4,00

Fonte: Autoria própria.

Verifica-se que a eficiência de encapsulação para as micropartículas se manteve em valores médios de 96,24%, sendo que os altos valores de eficiência, acima de 100%, encontrados para o ômega 3 das micropartículas contendo óleo de café verde e baru podem ser atribuídos a desvios na quantificação devido à pequena quantidade desses ácidos graxos presentes nesses óleos.

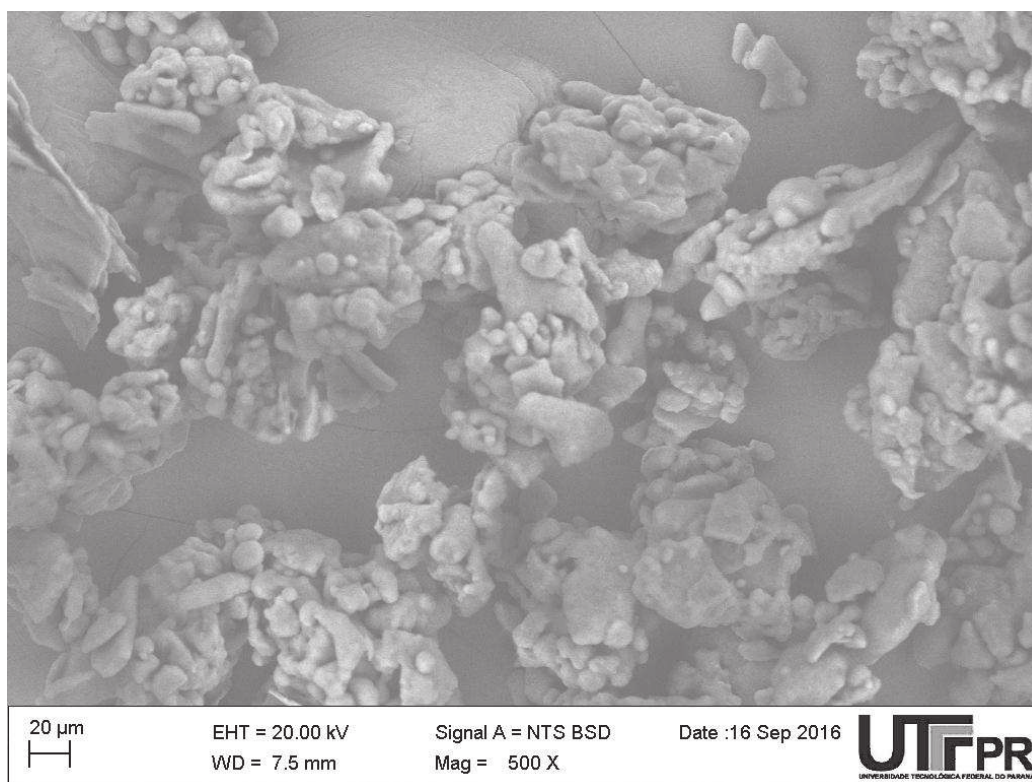
Ciftci, Temelli (2016) relataram eficiência de encapsulação de 91,9% para óleo essencial de hortelã utilizando partículas lipídicas de óleo de canola hidrogenado. Albertini et al. (2008) microencapsularam fármacos e vitaminas em

cera de carnaúba, obtendo eficiência máxima de encapsulação (100%). Gallardo et al. (2013) encontraram eficiência de encapsulação do óleo de linhaça de 90,5% e 91,4% para micropartículas de goma arábica e goma arábica com maltodextrina, respectivamente. Conclui-se que os valores encontrados estão condizentes com os relatados em literatura, embora para diferentes óleos, e que a escolha do ácido esteárico como encapsulante garantiu boa afinidade entre o material de parede e os óleos.

5.3.2. Morfologia das partículas

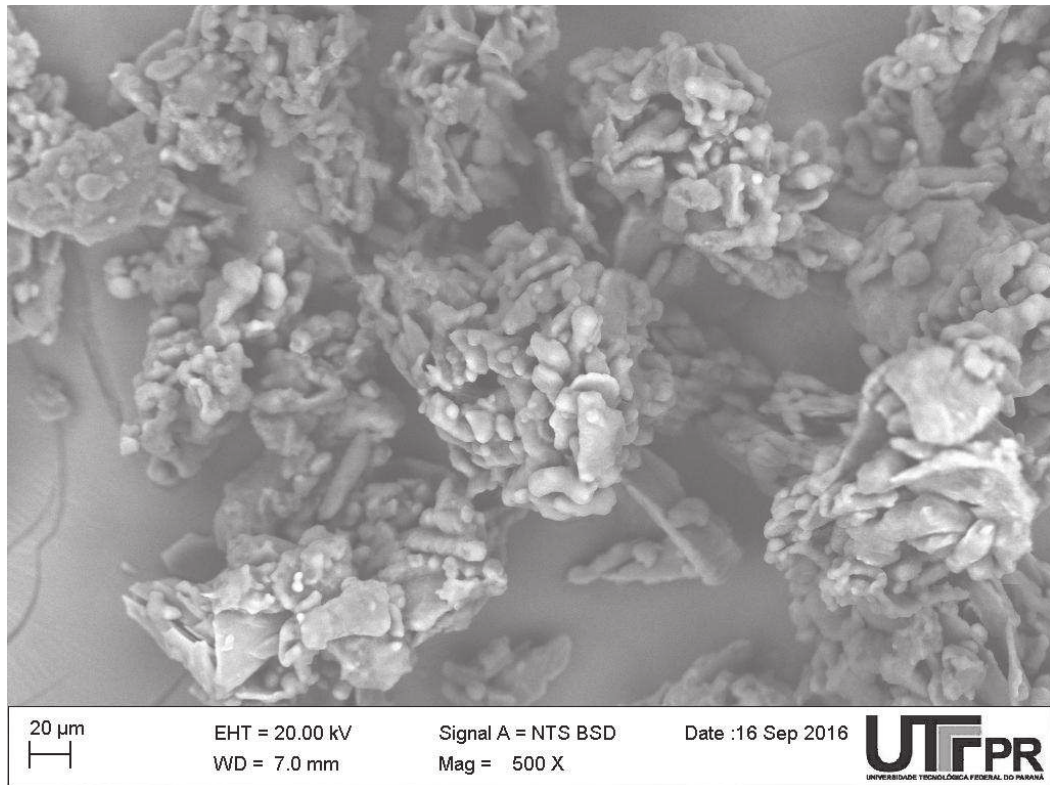
As imagens obtidas por Microscopia Eletrônica de Varredura das micropartículas (aumento de 500x) estão representadas nas Figuras 12 a 17. A distribuição do tamanho das micropartículas contendo os óleos de chia, sementes de abóbora, café verde, nozes, baru e branco (sem adição de óleo) são apresentados na Figura 18 e na Tabela 4.

Figura 12. Micropartículas contendo óleo de chia (aumento de 500 x).



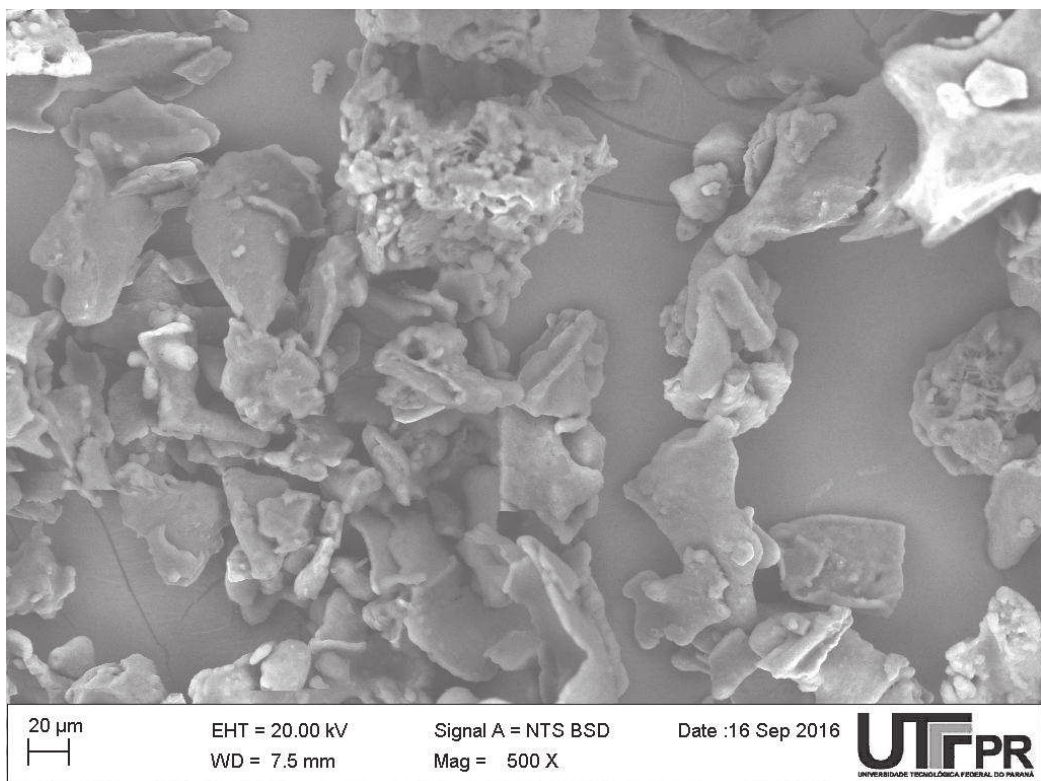
Fonte: Autoria própria.

Figura 13. Micropartículas contendo óleo de semente de abóbora (aumento de 500 x).



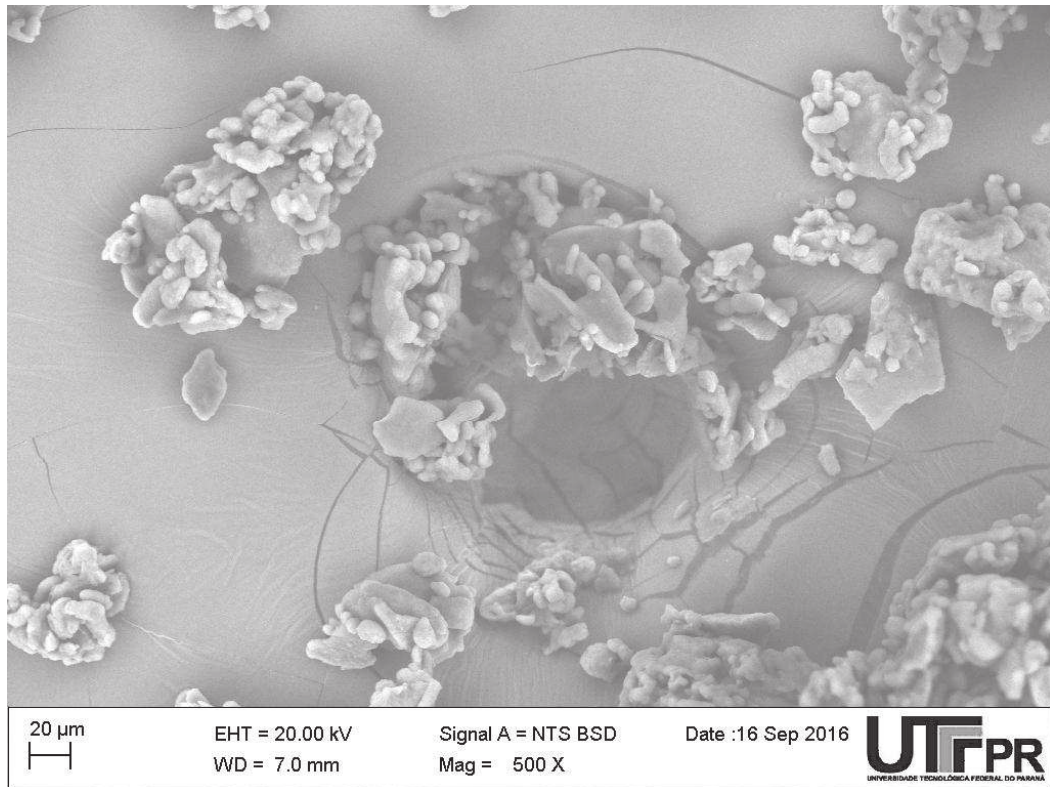
Fonte: Autoria própria.

Figura 14. Micropartículas contendo óleo de café verde (aumento de 500 x).



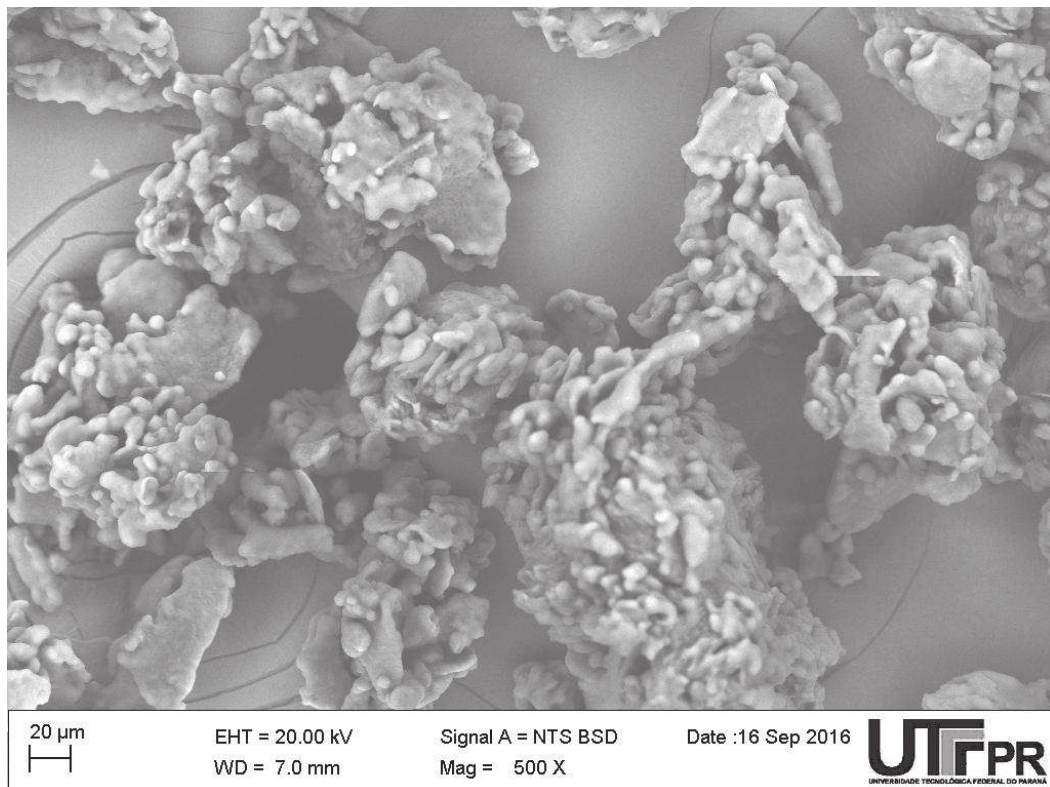
Fonte: Autoria própria.

Figura 15. Micropartículas contendo óleo de nozes (aumento de 500 x).



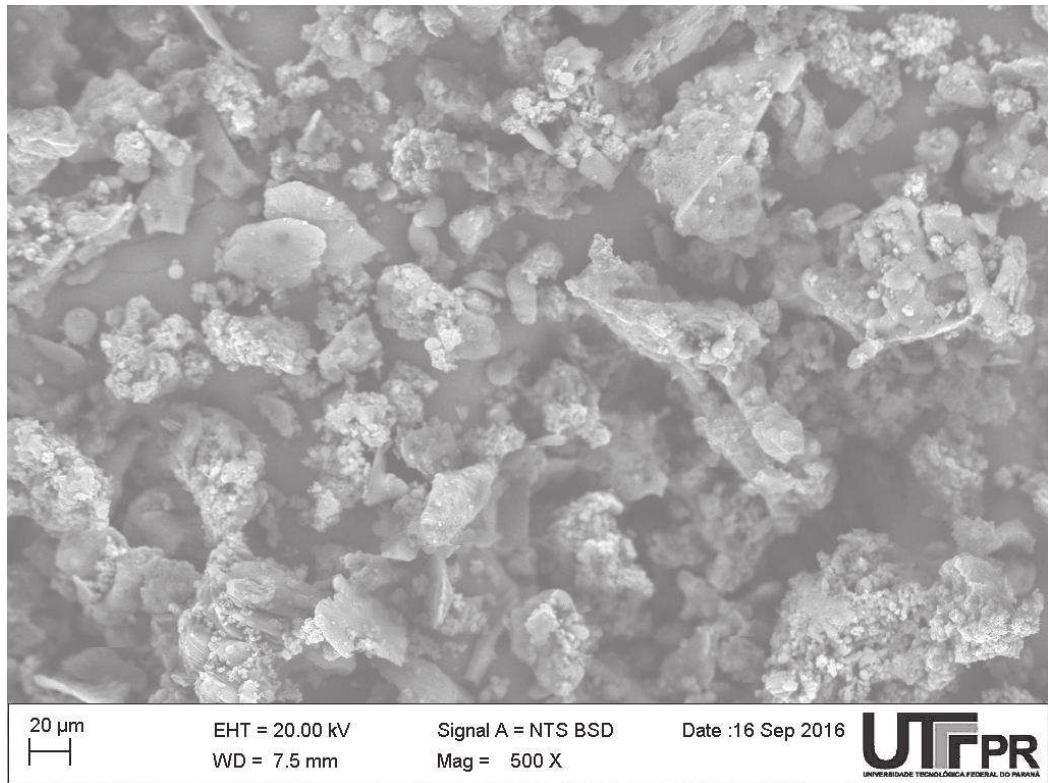
Fonte: Autoria própria.

Figura 16. Micropartículas contendo óleo de baru (aumento de 500 x).



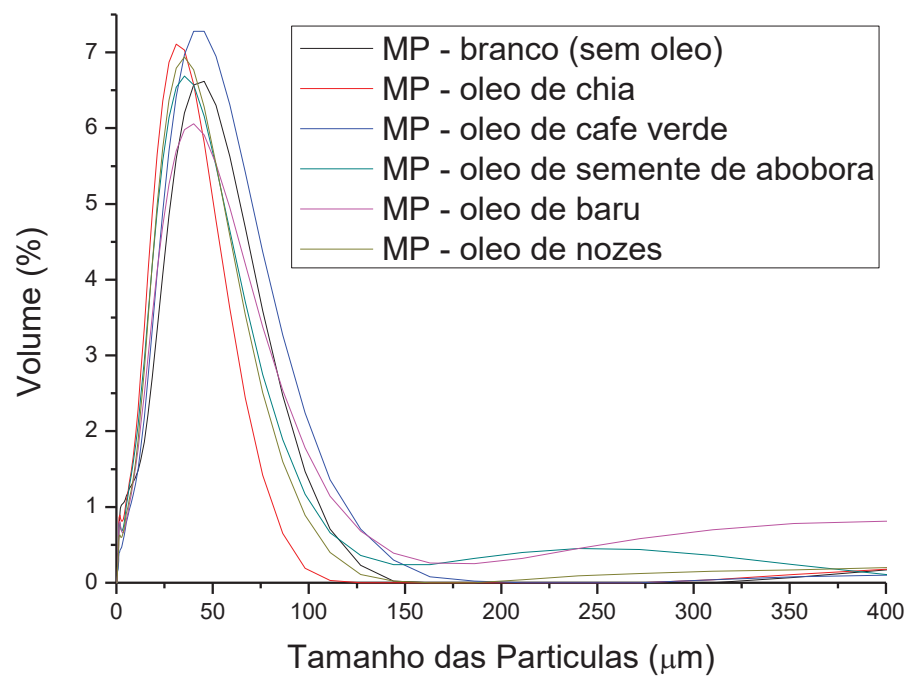
Fonte: Autoria própria.

Figura 17. Micropartículas branco (sem adição de óleo, aumento de 500 x).



Fonte: Autoria própria.

Figura 18. Distribuição dos tamanhos das micropartículas.



Fonte: Autoria própria.

Tabela 4. Diâmetros em volume das micropartículas.

Micropartículas	Tamanhos		
	D10 (μm)	D50 (μm)	D90 (μm)
Chia	3,6	24,1	58,6
Semente de Abóbora	4,6	27,4	66,9
Café Verde	7,6	34,0	76,0
Nozes	5,2	29,2	76,0
Baru	4,5	31,1	98,1
Branco (sem óleo)	3,1	31,1	86,4

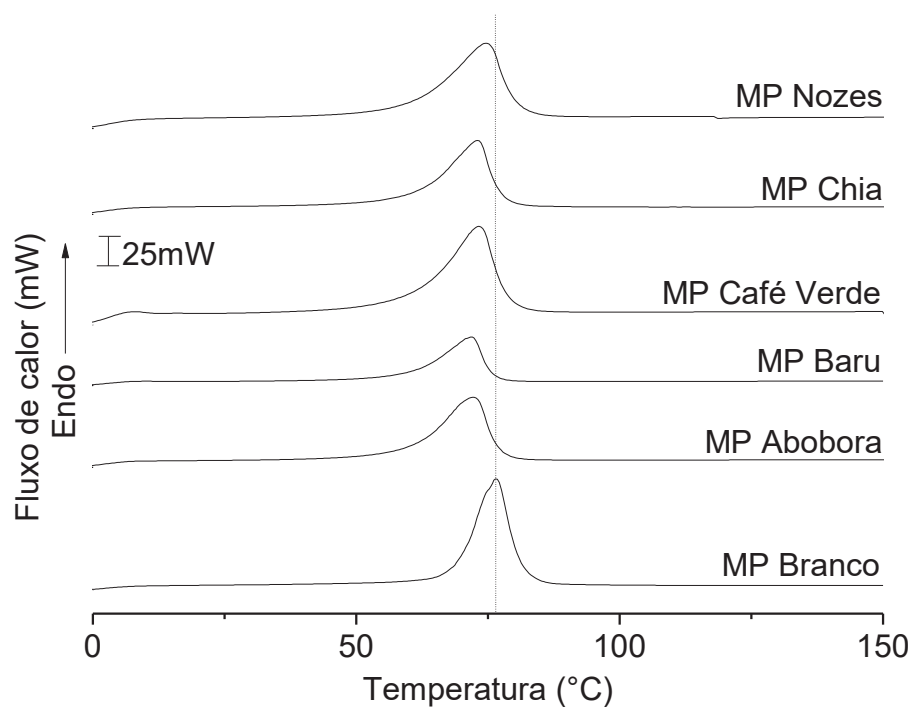
Fonte: Autoria própria.

Nota-se que as partículas apresentaram formato irregular estando na sua maioria aglomeradas, provavelmente devido ao baixo ponto de fusão do ácido esteárico e da mistura deste com os óleos. Em todos os casos foram obtidas partículas com tamanhos na faixa de micrômetros já que 90% das partículas possuem diâmetros inferiores a aproximadamente 100 micrômetros. Isso é interessante pois espera-se que a percepção sensorial das partículas no alimento seja menor quanto menores foram os seus diâmetros.

5.3.3. Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC)

Na Figura 19 são apresentados as curvas de DSC das micropartículas contendo os óleos e das micropartículas branco (sem óleo). Na Tabela 5 são apresentadas as temperaturas e entalpias de fusão.

Figura 19. Curvas de DSC obtidos em atmosfera de nitrogênio gasoso para as micropartículas contendo os óleos e branco (sem adição de óleo).



Fonte: Autoria própria.

Tabela 5. Entalpias e temperaturas de fusão das micropartículas contendo os óleos e micropartículas branco.

Micropartículas	ΔH (J.g ⁻¹)	T (°C)
Café	186,4	73,2
Abóbora	179,9	72,0
Baru	179,8	72,0
Chia	185,0	72,9
Nozes	173,2	74,5
Branco (sem óleo)	248,9	76,4

Fonte: Autoria própria.

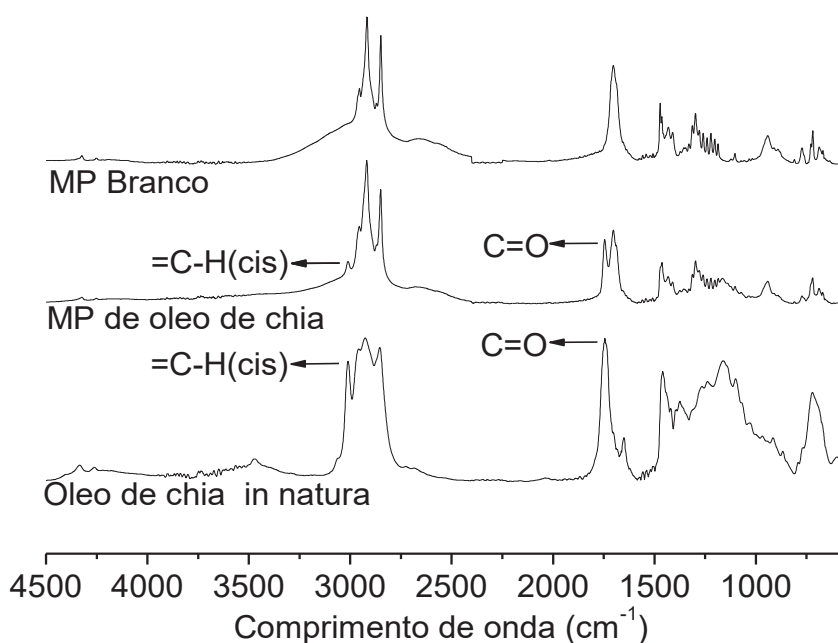
Vale notar que, sob a atmosfera de nitrogênio e com porta amostra selado, a Calorimetria Diferencial de Varredura permite realizar o monitoramento do estado físico do material sem ocorrência de oxidação. As temperaturas de mudança de fase e a energia envolvida nessa transição fornecem informações sobre as propriedades físicas dos compostos. Tanto a entalpia de fusão quanto a temperatura onde a fusão ocorreu foram menores para as micropartículas com os óleos quando comparadas

às micropartículas branco (sem adição de óleo). Isso ocorre devido à diminuição da cristalinidade do lipídio pela presença do óleo, que desorganiza a estrutura cristalina. Essa diminuição é um indicativo de eficiente encapsulação dos óleos. Özdemir; Gökmen (2015) encontraram resultados semelhantes quando analisaram micropartículas contendo ácido ascórbico, cloreto de sódio e a vanilina, associando este resultado à interação entre o encapsulado e o encapsulante, indicando que o material foi devidamente encapsulado. Senhorini et al. (2012) também constataram este comportamento ao caracterizar micropartículas de poli(hidroxibutirato-co-hidroxicvalerato) contendo óleo de andiroba e acrescentam que a diminuição da entalpia de fusão se deve pela diminuição da porção cristalina, acarretando na menor necessidade de calor para fundir as amostras. Comportamento semelhante também foi verificado por Guimarães-Inácio et al. (2018) em micropartículas de cera de carnaúba contendo óleo de chia e por Souza et al. (2015) que encapsularam óleo de chia em ácido esteárico.

5.3.4. Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier

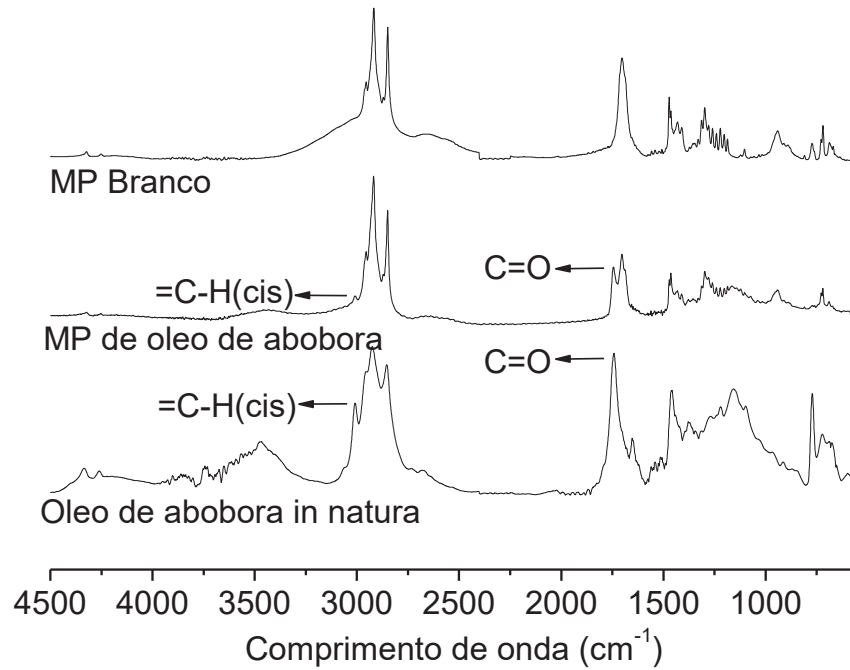
As Figuras 20 a 24 apresentam os espectros de infravermelho obtidos para os óleos *in natura*, as micropartículas contendo os óleos e as micropartículas branco.

Figura 20. Espectros de FTIR das micropartículas branco, micropartículas contendo o óleo de chia e óleo de chia *in natura*.



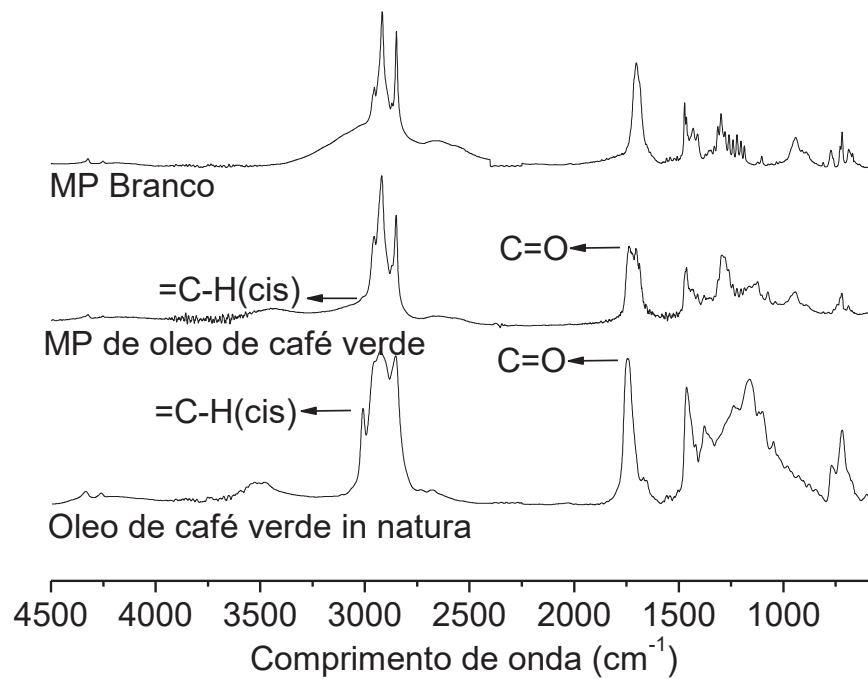
Fonte: Autoria própria.

Figura 21. Espectros de FTIR das micropartículas branco, micropartículas contendo o óleo de semente de abóbora e óleo de semente de abóbora *in natura*.



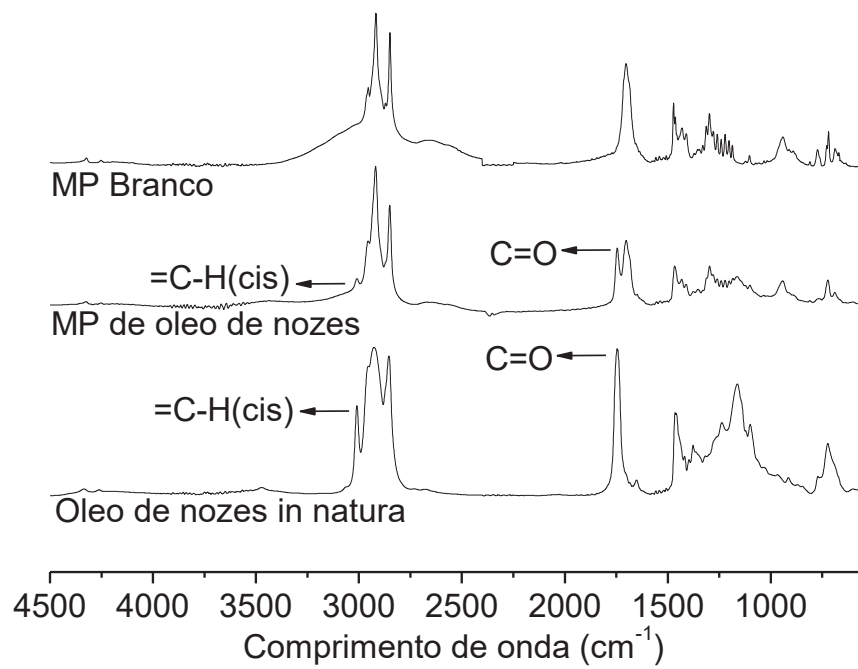
Fonte: Autoria própria.

Figura 22. Espectros de FTIR das micropartículas branco, micropartículas contendo o óleo de café verde e óleo de café verde *in natura*.



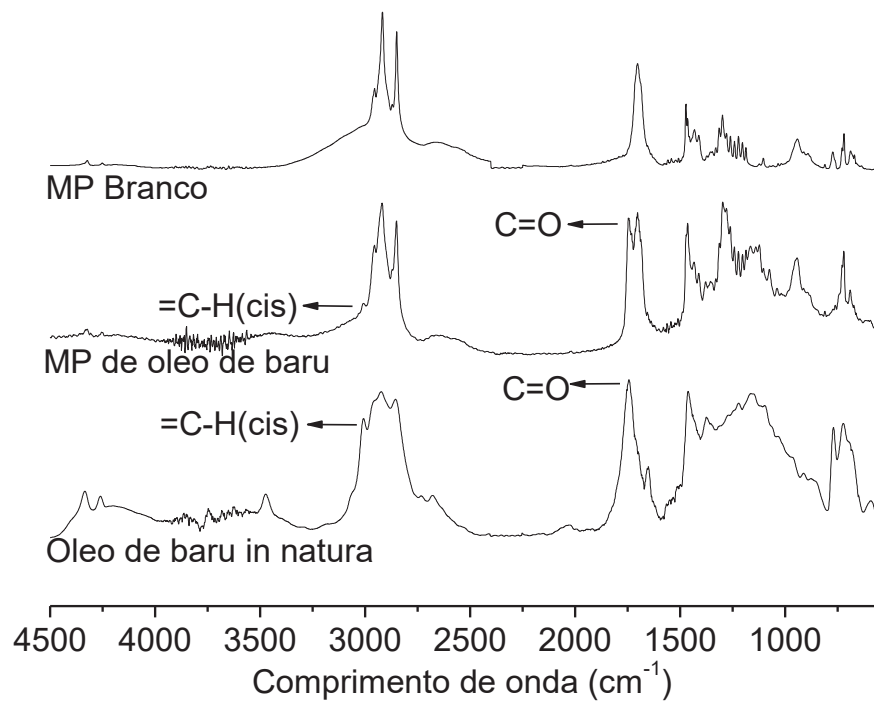
Fonte: Autoria própria.

Figura 23. Espectros de FTIR das micropartículas branco, micropartículas contendo o óleo de nozes e óleo de nozes *in natura*.



Fonte: Autoria própria.

Figura 24. Espectros de FTIR das micropartículas branco, micropartículas contendo o óleo de baru e óleo de baru *in natura*.



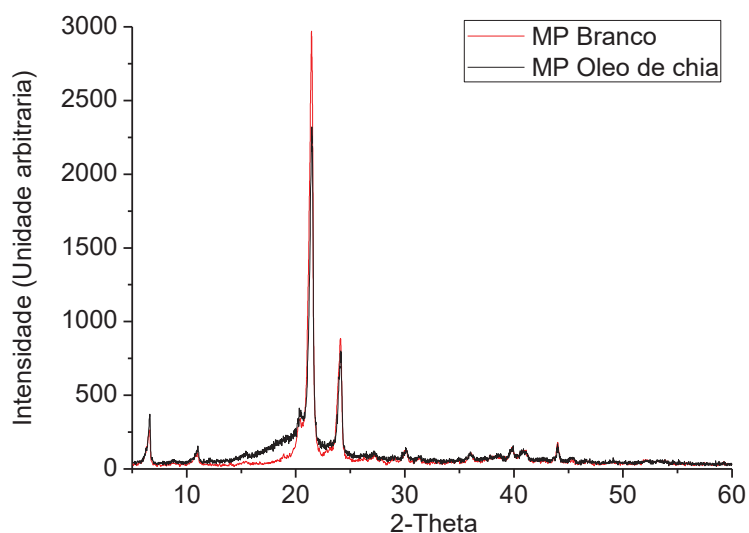
Fonte: Autoria própria.

O espectro de infravermelho dos óleos *in natura* e das micropartículas contendo os óleos apresentaram a banda de absorção em 3010 cm^{-1} e 1740 cm^{-1} , característicos da ligação C=C-H e C=O, respectivamente (FREIBERGER et al., 2015; VIDAL et al., 2014). As micropartículas branco não apresentaram esta mesma banda, pois o ácido esteárico (encapsulante) não possui insaturações em sua cadeia carbônica. Em relação à absorção da carbonila, estão atribuída aos grupamentos éster (FRIZON et al., 2013; ROCKWELL et al., 2014), presentes nos triacilgliceróis dos óleos. Ambas as intensidades das bandas foram inferiores no espectro das micropartículas se comparado com o óleo *in natura*, sugerindo que o óleo se encontra no interior da partícula ao invés de estar livre ou e sua superfície, implicando em sua encapsulação (FREIBERGER et al., 2015; GUIMARÃES-INÁCIO et al., 2018).

5.3.5. Difração de Raios-X

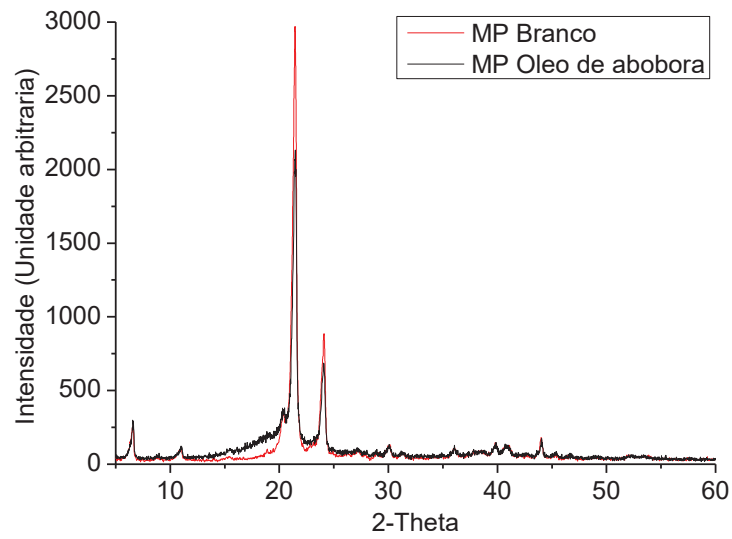
As Figuras 25 a 29 apresentam os difratogramas encontrados para as micropartículas contendo os óleos e as micropartículas branco.

Figura 25. Difratogramas de Raios-X das micropartículas contendo o óleo de chia e as micropartículas branco.



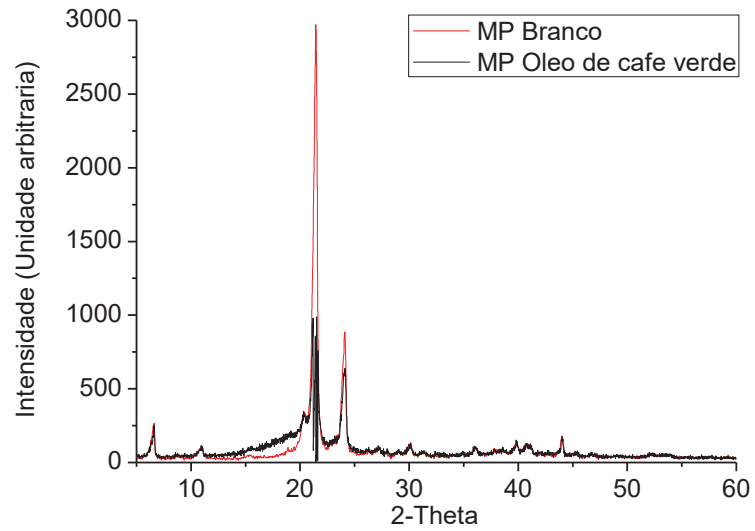
Fonte: Autoria própria.

Figura 26. Difratogramas de Raios-X das micropartículas contendo o óleo de semente de abóbora e as micropartículas branco.



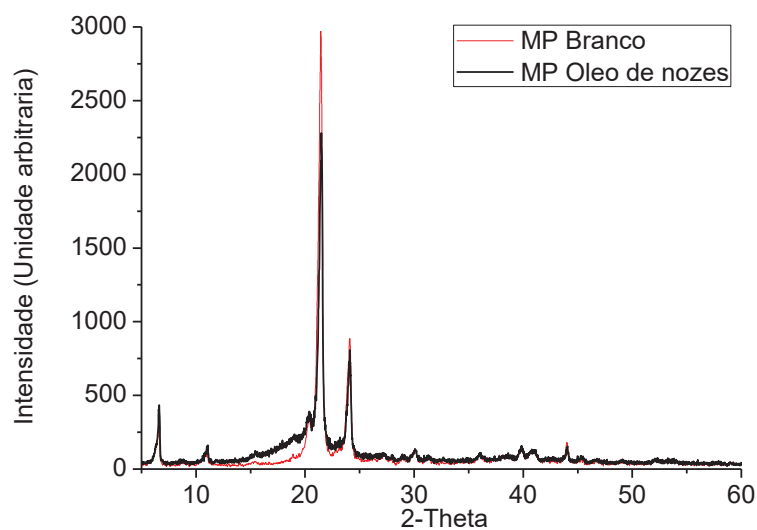
Fonte: Autoria própria.

Figura 27. Difratogramas de Raios-X das micropartículas contendo o óleo de café verde e as micropartículas branco.



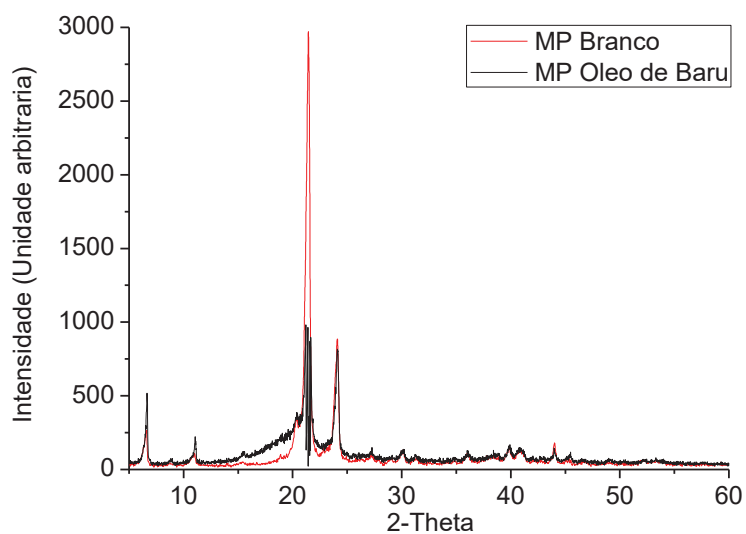
Fonte: Autoria própria.

Figura 28. Difratogramas de Raios-X das micropartículas contendo o óleo de nozes e as micropartículas branco.



Fonte: Autoria própria.

Figura 29. Difratogramas de Raios-X das micropartículas contendo o óleo de baru e as micropartículas branco.



Fonte: Autoria própria.

O ácido esteárico, sendo um lipídio de cadeia curta, possui um intenso pico a $21,5^\circ$ e um de menor intensidade a 24° (WONG; HENG; CHAN, 2015), indicando a natureza cristalina deste composto e definindo sua habilidade de existir em duas ou mais fases cristalinas. Os lipídeos podem ser encontrados em três formas polimórficas, α , com cadeia alifática desordenada de forma instável e amorfa, β , com empacotamento intermediário e β' , com empacotamento mais denso e meta estável

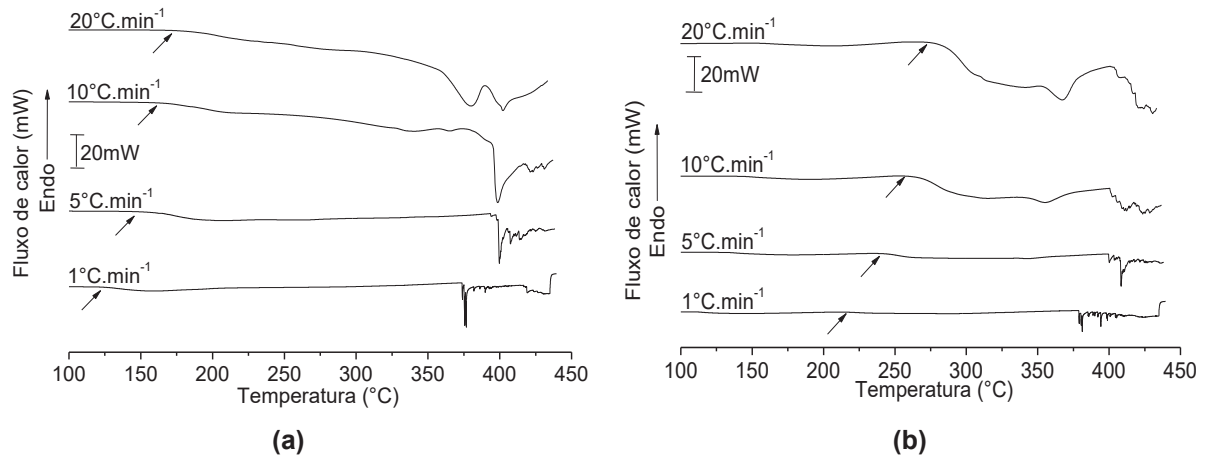
(CIFTCI; TEMELLI, 2016; SATO, 2001). A diminuição da intensidade dos picos cristalinos indica a diminuição da cristalinidade do lipídio (AKBARI et al., 2014). Também é possível observar o alargamento do difratogramas na região entre 15 a 20° ao comparar as micropartículas contendo o óleo com as micropartículas branco, fenômeno caracterizado pela redução no grau de cristalinidade e aumento do comportamento amorfo do material (SAGIRI et al., 2015). Esses resultados apontam no sentido de confirmar a encapsulação dos óleos no interior das micropartículas, reafirmando os resultados das demais análises.

Das análises de caracterização, é possível concluir que os óleos se encontram devidamente encapsulados no interior das micropartículas.

5.4. Estabilidade térmica

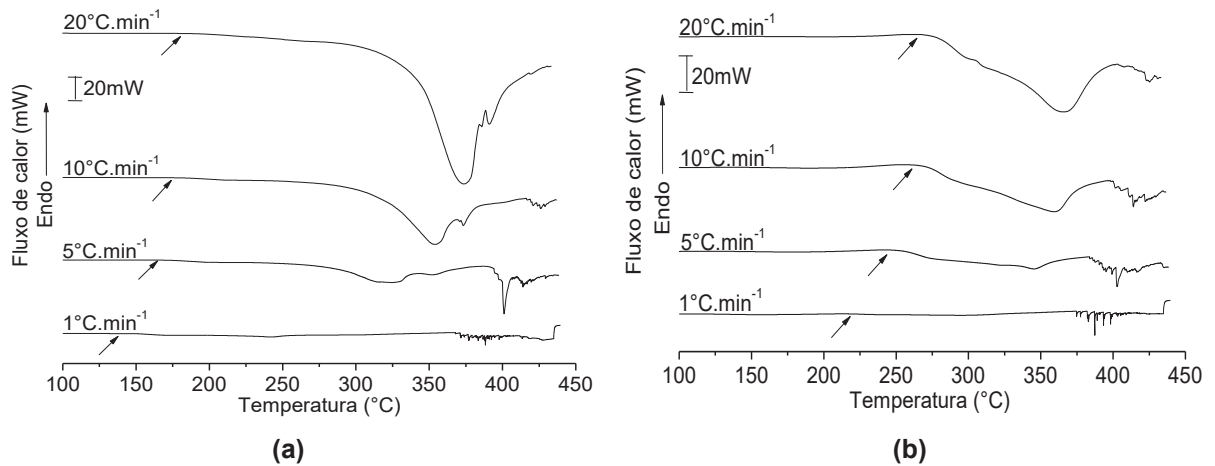
As Figuras 30 a 34 apresentam as curvas termoanalíticas obtidas através do DSC em modo não isotérmico em diferentes taxas de aquecimento (β) para o óleo *in natura* e para as micropartículas contendo o óleo. A temperatura de início da oxidação (T) de cada amostra está indicada com uma seta nos gráficos. A Tabela 6 contém as temperaturas de início de oxidação dos óleos *in natura* e das micropartículas contendo os óleos. Nas Figuras 35 a 39 estão os gráficos utilizados para obtenção dos parâmetros cinéticos da degradação dos óleos e das micropartículas. Na Tabela 7 estão apresentadas as energias de ativação (Ea) e os fatores pré exponenciais de Arrhenius para os óleos e para as micropartículas contendo os óleos.

Figura 30. Ensaios não isotérmicos obtidos por DSC para (a) o óleo de chia *in natura* e (b) as micropartículas contendo o óleo de chia.



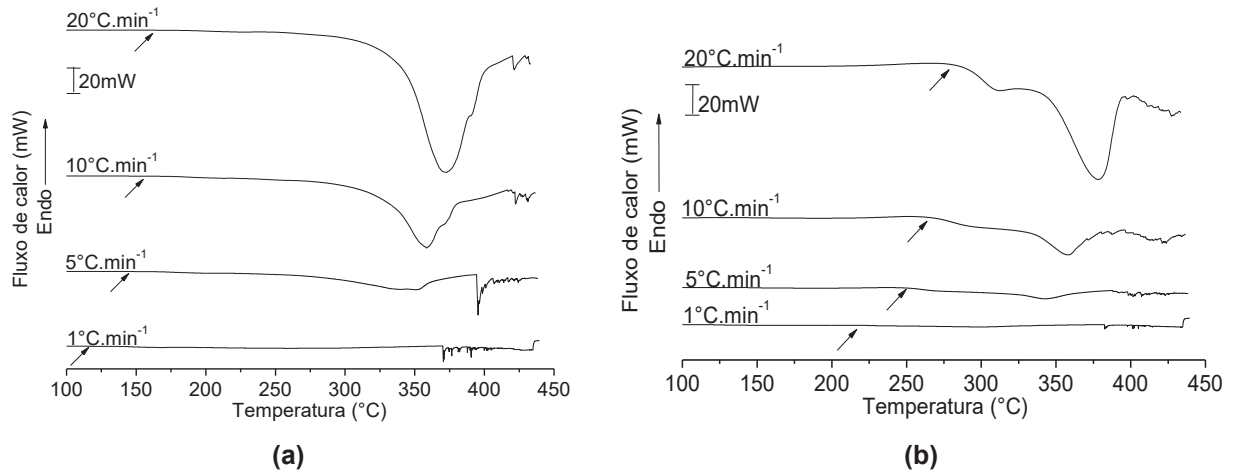
Fonte: Autoria própria.

Figura 31. Ensaios não isotérmicos obtidos por DSC para (a) o óleo de semente de abóbora *in natura* e (b) as micropartículas contendo o óleo de semente de abóbora.



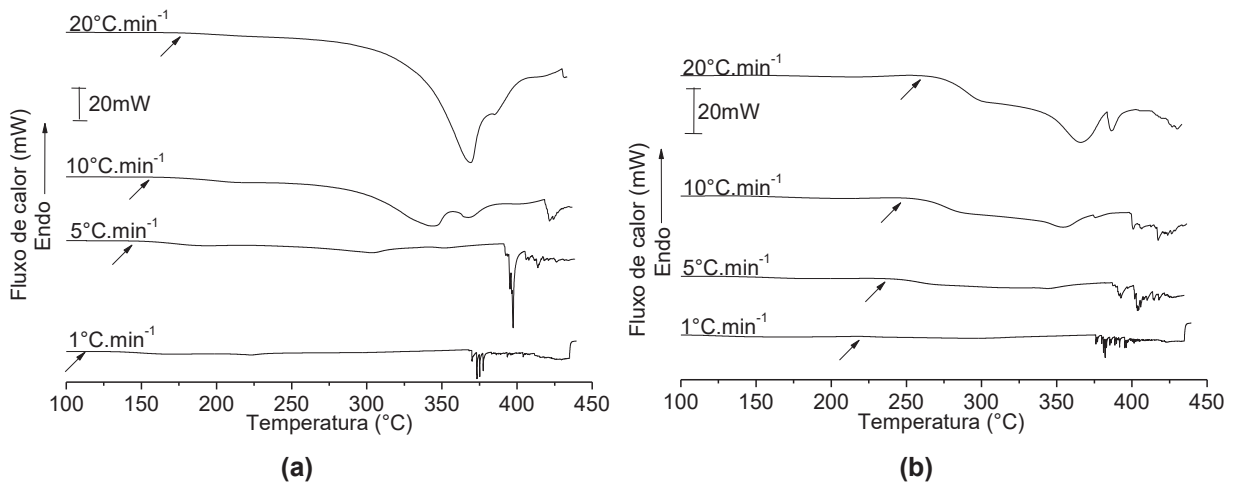
Fonte: Autoria própria.

Figura 32. Ensaio não isotérmico obtido por DSC para (a) o óleo de café verde *in natura* e (b) as micropartículas contendo o óleo de café verde.



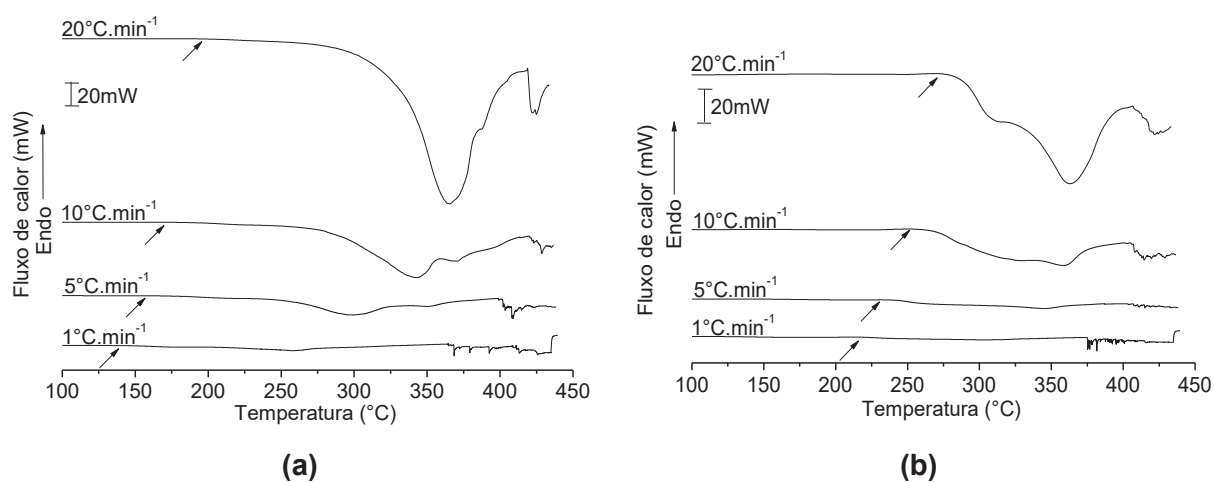
Fonte: Autoria própria.

Figura 33. Ensaio não isotérmico obtido por DSC para (a) o óleo de nozes *in natura* e (b) as micropartículas contendo o óleo de nozes.



Fonte: Autoria própria.

Figura 34. Ensaios não isotérmicos obtidos por DSC para (a) o óleo de baru *in natura* e (b) as micropartículas contendo o óleo de baru.



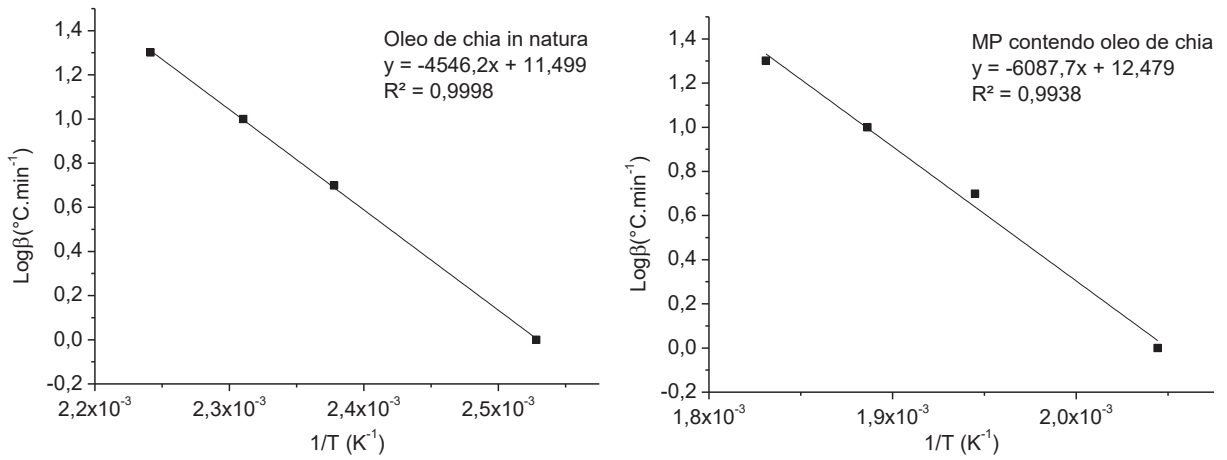
Fonte: Autoria própria.

Tabela 6. Temperatura de início da oxidação (T) para os óleos de chia, semente de abóbora, café verde, nozes e baru e para as micropartículas contendo os respectivos óleos.

Óleo	β ($^{\circ}\text{C}.\text{min}^{-1}$)	T ($^{\circ}\text{C}$)	
		<i>In natura</i>	Microencapsulado
Chia	1	122,4	216,0
	5	147,4	241,0
	10	159,7	257,0
	20	173,0	273,0
Semente de Abóbora	1	139,8	215,5
	5	166,7	243,5
	10	176,6	260,1
	20	185,6	268,0
Café Verde	1	114,0	219,2
	5	146,9	248,5
	10	154,7	263,3
	20	162,4	286,7
Nozes	1	112,0	220,0
	5	145,4	237,0
	10	154,9	252,0
	20	176,9	260,0
Baru	1	135,1	214,6
	5	156,7	232,2
	10	170,5	252,9
	20	194,0	271,2

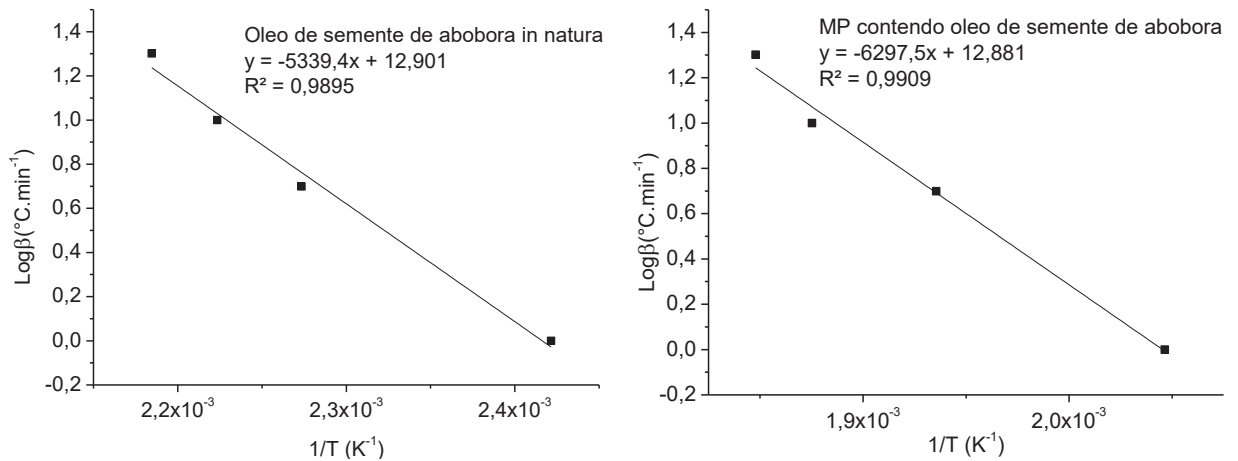
Fonte: Autoria própria.

Figura 35. Ajustes lineares para obtenção dos parâmetros de Arrhenius do óleo de chia *in natura* e das respectivas micropartículas.



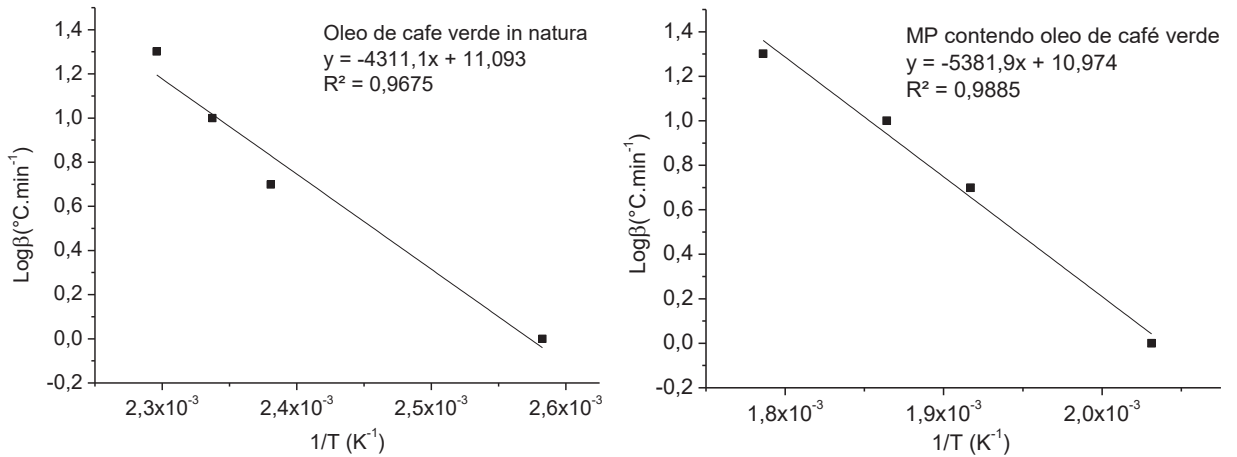
Fonte: Autoria própria.

Figura 36. Ajustes lineares para obtenção dos parâmetros de Arrhenius do óleo de semente de abóbora *in natura* e das respectivas micropartículas.



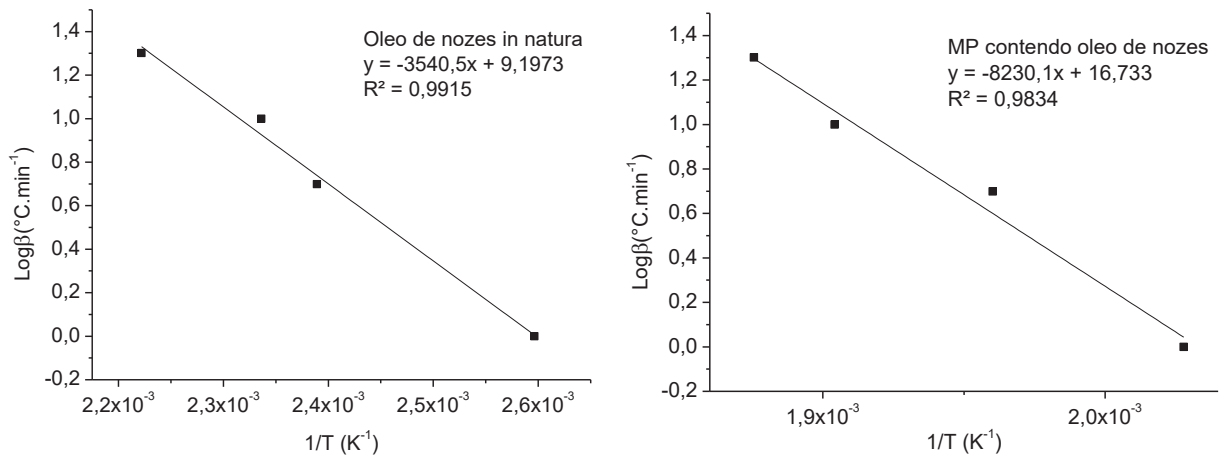
Fonte: Autoria própria.

Figura 37. Ajustes lineares para obtenção dos parâmetros de Arrhenius do óleo de café verde *in natura* e das respectivas micropartículas.



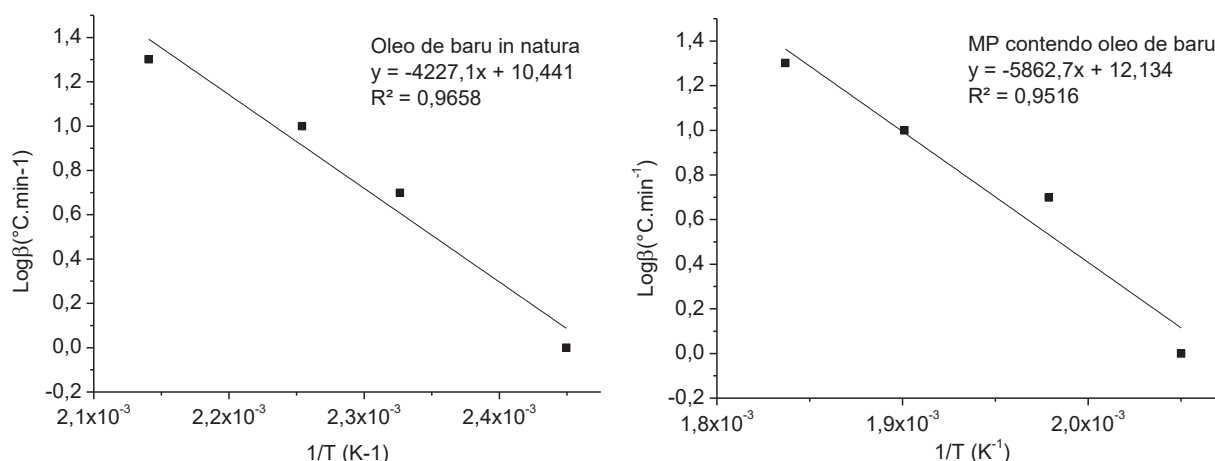
Fonte: Autoria própria.

Figura 38. Ajustes lineares para obtenção dos parâmetros de Arrhenius do óleo de nozes *natura* e das respectivas micropartículas.



Fonte: Autoria própria.

Figura 39. Ajustes lineares para obtenção dos parâmetros de Arrhenius do óleo de baru *in natura* e das respectivas micropartículas.



Fonte: Autoria própria.

Tabela 7. Energia de ativação e coeficiente de ajuste dos óleos de chia, sementes de abóbora, café verde, nozes e baru *in natura* e das micropartículas contendo os respectivos óleos.

Óleo		Energia de ativação (E_a , $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$)	R^2 (-)
Chia	<i>in natura</i>	82,8	0,999
	microencapsulado	110,8	0,993
Semente de Abóbora	<i>in natura</i>	97,2	0,989
	microencapsulado	114,7	0,990
Café Verde	<i>in natura</i>	78,9	0,967
	microencapsulado	82,2	0,979
Nozes	<i>in natura</i>	64,5	0,991
	microencapsulado	149,9	0,983
Baru	<i>in natura</i>	77,0	0,965
	microencapsulado	106,7	0,951

Fonte: Autoria própria.

A oxidação de lipídica é uma reação iniciada pela formação de radicais livres, onde o acúmulo desses compostos leva à progressão da reação, portanto uma menor energia de ativação é exigida para a manutenção após este início. Por este motivo, os cálculos dos parâmetros cinéticos utilizam a temperatura do início da oxidação e são determinantes para avaliação da estabilidade oxidativa (MARTÍNEZ-MONTEAGUDO; SALDAÑA; KENNELLY, 2012; MICIĆ et al., 2015). Para maiores taxas de aquecimento, maior foi a temperatura de início da oxidação registrada. Os

produtos de oxidação primária, como os hidroperóxidos, aceleram o processo de degradação a baixas temperaturas, devido à formação de produtos de oxidação intermediária, como aldeídos e alguns ácidos. Além disso, em temperaturas mais elevadas os produtos intermediários podem evaporar antes de reagirem com o produto (MICIĆ et al., 2015).

Na Tabela 5, observa-se que todos os óleos possuíram valores semelhantes de energia de ativação e ao comparar os dados dos óleos *in natura* com os óleos encapsulados é possível observar um acréscimo tanto nas temperaturas de início da oxidação quanto nas energias de ativação. Isso indica resistência à oxidação das micropartículas em relação ao óleo em seu estado natural, demonstrando a eficiência da encapsulação e sua efetiva proteção. Guimarães-Inácio et al. (2018) compararam a estabilidade oxidativa do óleo de chia *in natura* e de micropartículas de cera de carnaúba contendo óleo de chia através de análises não isotérmicas, com taxas de temperatura de 1, 5 10 e 20 °C.min⁻¹, obtendo energias de ativação de 87.4 kJ.mol⁻¹ e 97.3 kJ.mol⁻¹ respectivamente, verificando uma proteção do óleo encapsulado contra a oxidação. Grompone et al. (2013) avaliaram a estabilidade oxidativa do óleo de chia e de linhaça por testes não isotérmicos, com diferentes taxas de temperatura (10, 15 e 20 °C.min⁻¹), obtendo, respectivamente, 97 kJ.mol⁻¹ e 130 kJ.mol⁻¹ de energia de ativação. Micic et al. (2015) estudaram óleo de amora e framboesa, encontrando 101 kJ.mol⁻¹ e 102 kJ.mol⁻¹ respectivamente. Os resultados encontrados possuem valores ligeiramente diferentes dos encontrados na literatura, o que pode ser justificado pela diferença nas condições da análise como o gás utilizado, já que alguns dos trabalhos citados utilizam oxigênio puro e não ar sintético. As diferentes taxas de aquecimento e mesmo diferenças na composição dos óleos ou procedência da matéria prima também podem levar a diferentes energias de ativação (GUIMARÃES-INÁCIO et al., 2018).

Pelas análises de composição do óleo, caracterização físico-química das microcápsulas e da estabilidade dos óleos encapsulados é possível concluir que os óleos se encontram no interior da matriz encapsulante lipídica, possuem natureza micrométrica e possuem resistência à degradação oxidativa. Tais resultados encorajam a aplicação dessas partículas na formulação de alimentos.

5.5. Alimentos contendo as micropartículas

5.5.1. Maionese

5.5.1.1. Composição centesimal

A maionese sem adição das micropartículas foi submetida à análise de composição centesimal conforme Tabela 8.

Tabela 8. Composição centesimal da maionese.

Umidade (%)	Cinzas (%)	Proteínas (%)	Lipídios totais (%)	Carboidratos (%)	Valor energético (kcal/g)
22,98±0,44	1,49±0,03	0,00	70,00±0,53	5,56±0,03	6,52±0,05

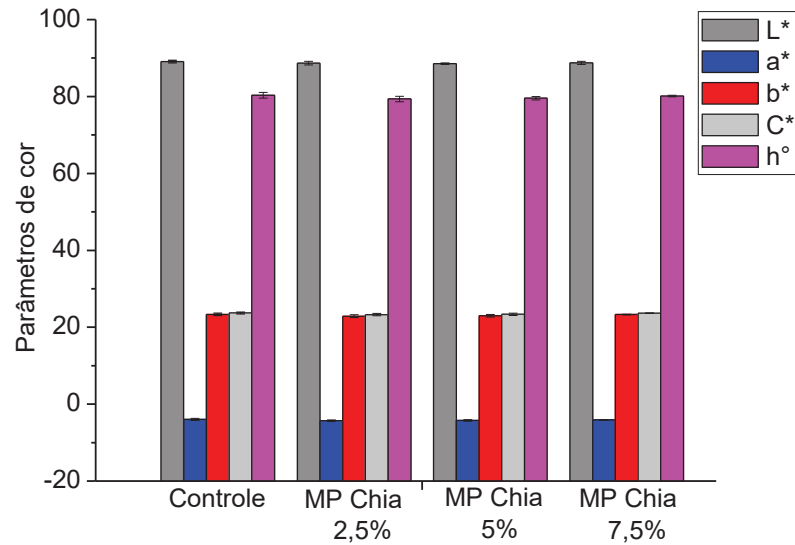
Fonte: Autoria própria.

Os valores encontrados foram semelhantes aos indicados na tabela nutricional do rótulo do produto. Liu; Xu e Guo (2007) avaliaram a composição centesimal de maionese a base de óleo de soja, relatando valores semelhantes, onde as pequenas diferenças podem estar relacionadas a diferentes proporções dos ingredientes utilizados na formulação.

5.5.1.2. Cor

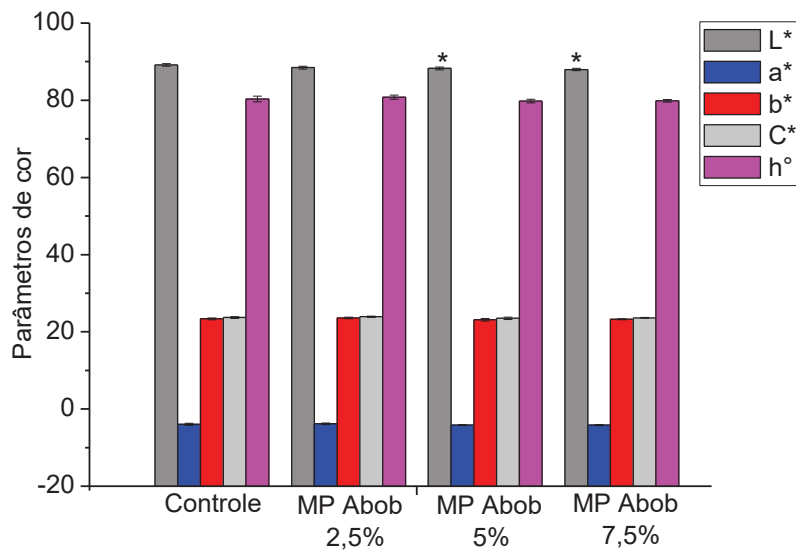
As amostras de maionese adicionadas de micropartículas, bem como a maionese controle (sem adição de micropartículas), foram analisadas em colorímetro, avaliadas estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) e estão representadas nas Figuras 40, 41 e 42. Nas Figuras 43 a 46 estão apresentadas as fotos das maioneses.

Figura 40. Parâmetros de cor para maionese adicionada de partículas de óleo de chia nas proporções de 2,5%, 5% e 7,5%.



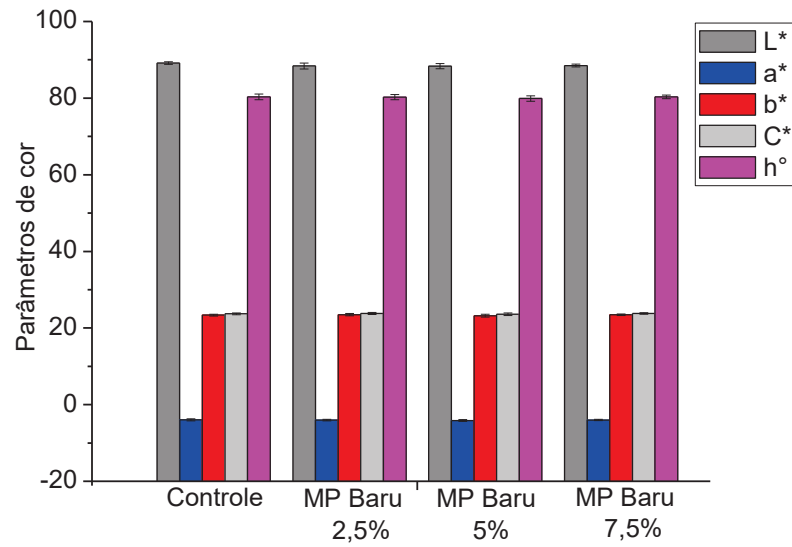
Fonte: Autoria própria.

Figura 41. Parâmetros de cor para maionese adicionada de partículas de óleo de semente de abóbora nas proporções de 2,5%, 5% e 7,5%. Amostras estatisticamente diferentes pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) estão representadas com asterisco (*).



Fonte: Autoria própria.

Figura 42. Parâmetros de cor para maionese adicionada de partículas de óleo de baru nas proporções de 2,5%, 5% e 7,5%.



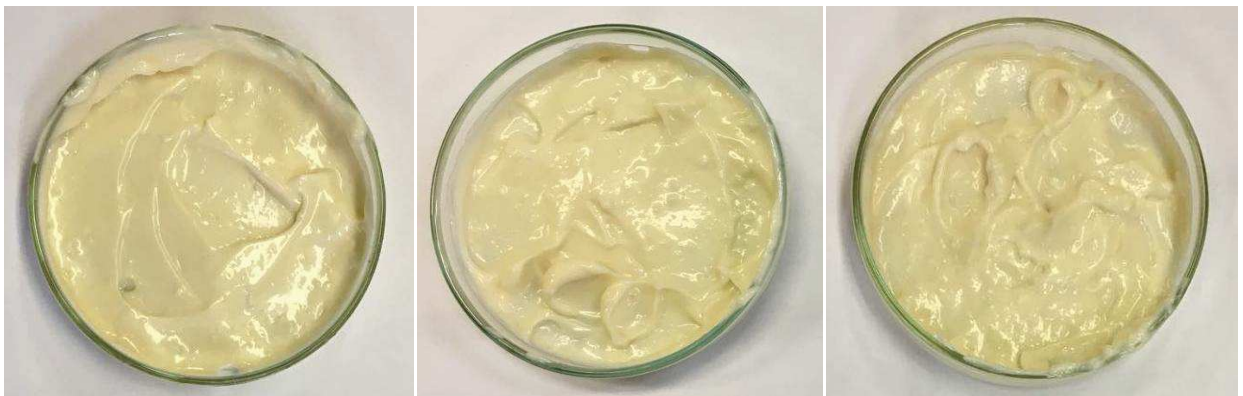
Fonte: Autoria própria.

Figura 43. Imagem da maionese controle.



Fonte: Autoria própria.

Figura 44. Imagem das maioneses adicionada de (a) 2,5%, (b) 5% e (c) 7,5% de micropartículas contendo óleo de chia



(a) (b) (c)

Fonte: Autoria própria.

Figura 45. Imagem das maioneses adicionada de (a) 2,5%, (b) 5% e (c) 7,5% de micropartículas contendo óleo de sementes de abóbora.



(a) (b) (c)

Fonte: Autoria própria.

Figura 46. Imagem das maioneses adicionada de (a) 2,5%, (b) 5% e (c) 7,5% de micropartículas contendo óleo de baru.



(a) (b) (c)

Fonte: Autoria própria.

Todas as amostras apresentaram alta luminosidade, baixa tendência ao verde (- a^*) e ao amarelo (+ b^*), intensidade de cor relativamente baixa (C^*) e ângulo hue (h°) próximo de 80, representando o amarelo, cor já esperada para o produto em questão. As únicas amostras que diferiram do controle foram as adicionadas de micropartículas de semente de abóbora nas concentrações de 5,0 e 7,5%, para o parâmetro de luminosidade, devido provavelmente às características do próprio óleo que é escuro e opaco. Tais resultados mostram que a adição de até 7,5% de micropartículas não levou à alteração significativa dos parâmetros colorimétricos da

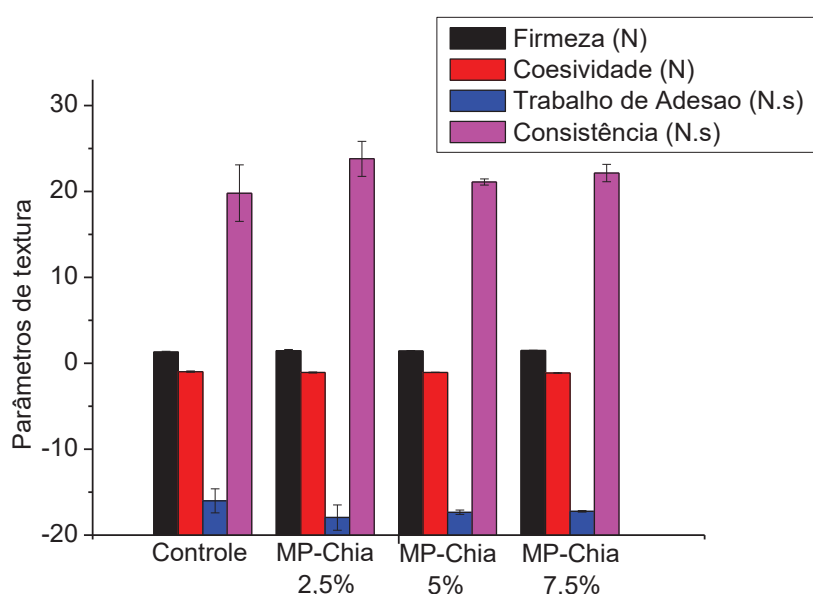
maionese, o que é importante do ponto de vista mercadológico pois alterações na cor podem levar à diminuição a aceitabilidade do produto e à necessidade de ações de marketing específicas. As figuras 43 a 46 confirmam o resultado instrumental, onde percebe-se visualmente que não houve alterações perceptíveis na coloração do produto.

Rahamati, Tehrani e Daneshvar (2014) desenvolveram maionese contendo leite de soja em diferentes proporções, obtendo, para todas as formulações, alta luminosidade, tendência ao verde e ao amarelo, sendo que a mínima substituição do emulsificante da formulação controle já diferiu estatisticamente em todos os parâmetros. Altunkaya et al. (2013) observaram comportamento semelhante em relação aos valores de luminosidade, tendência ao verde e amarelo ao desenvolver maionese com adição de extrato de semente de uva.

5.5.1.3. Textura

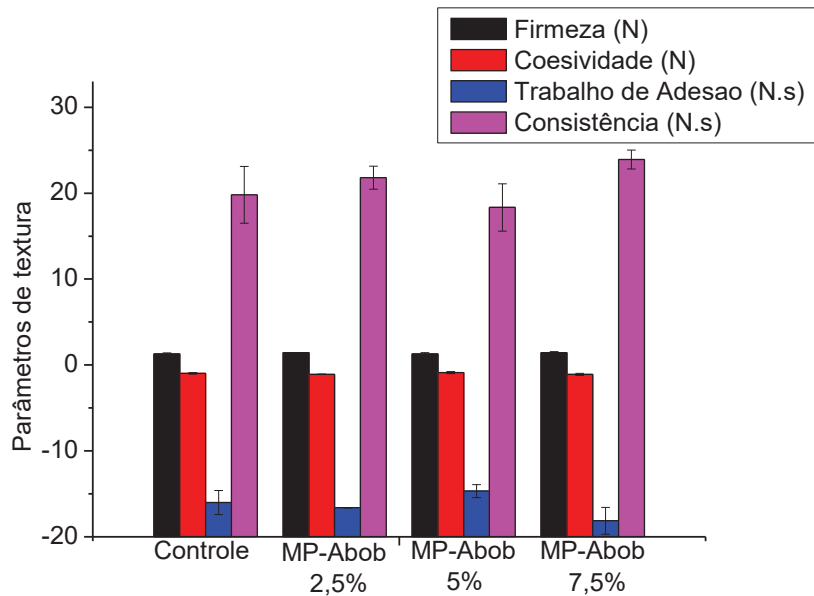
A textura da maionese foi caracterizada a partir dos parâmetros de firmeza, coesividade, trabalho de adesão e consistência conforme indicado nas Figuras 47, 48 e 49.

Figura 47. Parâmetros de textura da maionese controle e maionese adicionada de micropartículas contendo o óleo de chia nas proporções de 2,5%, 5% e 7,5%.



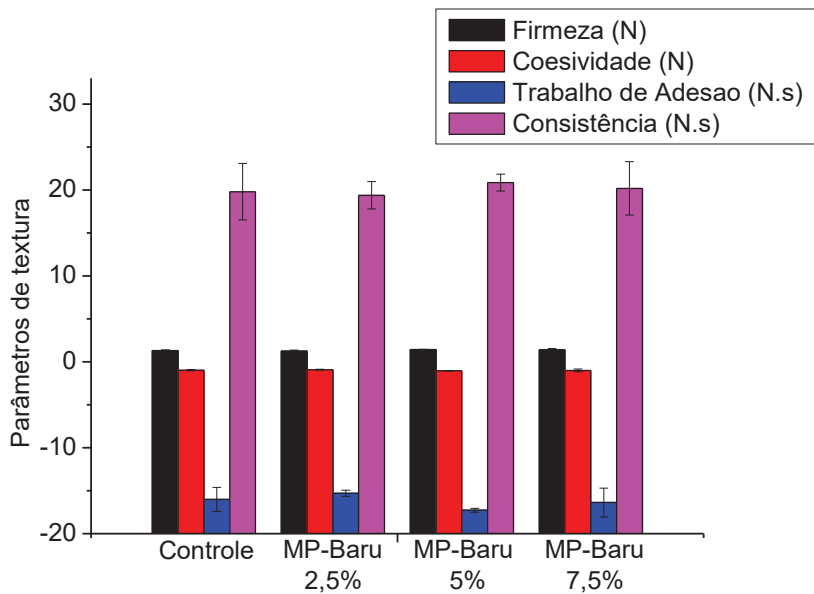
Fonte: Autoria própria.

Figura 48. Parâmetros de textura da maionese controle e maionese adicionada de micropartículas contendo o óleo de sementes de abóbora nas proporções de 2,5%, 5% e 7,5%



Fonte: Autoria própria.

Figura 49. Parâmetros de textura da maionese controle e maionese adicionada de micropartículas contendo o óleo de baru nas proporções de 2,5%, 5% e 7,5%



Fonte: Autoria própria.

Os parâmetros de textura das amostras se mostraram estatisticamente iguais para todos os parâmetros avaliados, indicando que a adição de partículas lipídicas na maionese não interferiu na textura do produto. Isso indica que a adição de até

7,5% de partículas na maionese pode ser realizada sem modificação ou deterioração na textura da maionese.

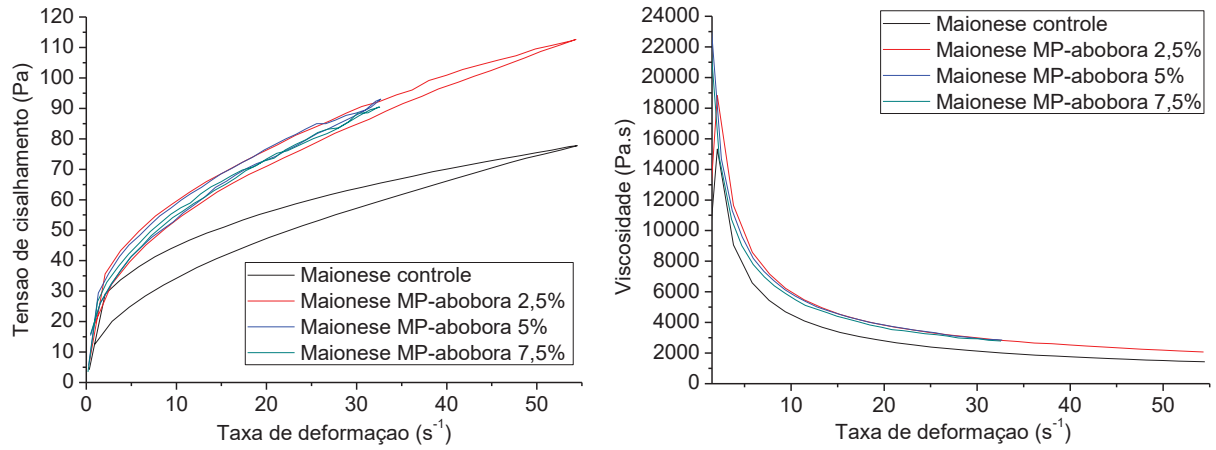
A firmeza representa a força máxima mensurada pelo equipamento, indicando quão firme é a amostra. A área do pico de força registrado no software indica a consistência da amostra (LIU; XU; GUO, 2007). A coesividade é uma função direta do trabalho necessário para superar os vínculos internos do material, portanto indica o quanto a estrutura se deforma antes de romper quando estendida (ROSENTHAL, 2010), e quanto mais negativo este valor, mais coesiva é a amostra. O trabalho de adesão é uma representação da coesividade, consistência e viscosidade da amostra, que indica o quanto a amostra aderiu e resistiu na volta do probe do equipamento ao seu estado inicial. Quanto maior o valor, maior a resistência de volta do probe (LIU; XU; GUO, 2007). As amostras apresentaram baixa firmeza e coesividade, em contrapartida, apresentaram valores consideráveis de consistência e trabalho de adesão.

Mattia et al. (2015) estudaram as propriedades de textura de maionese elaborada com diversos óleos, dentre eles, aquelas formuladas com óleo de oliva obtiveram parâmetros semelhantes aos descritos acima.

5.5.1.4. Reologia

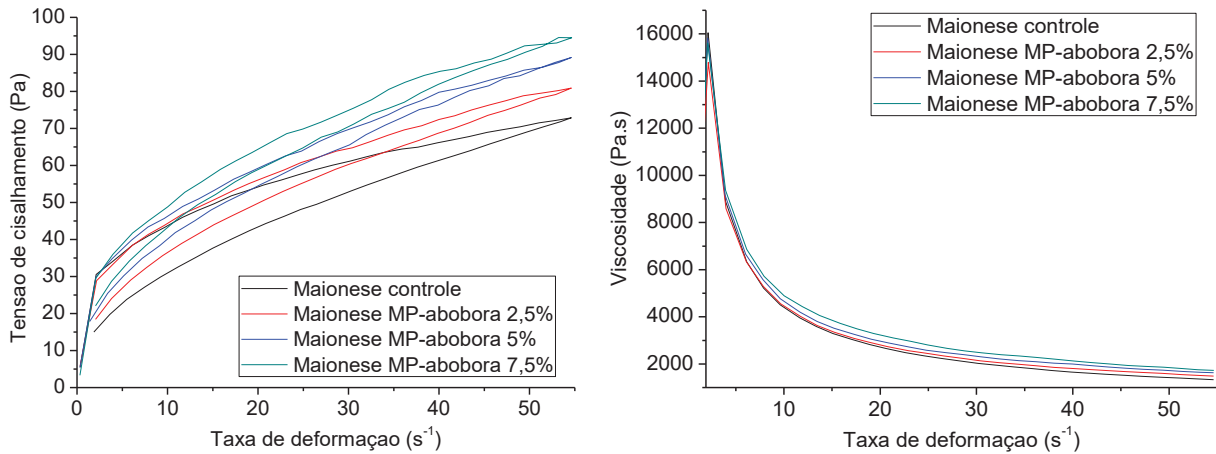
As curvas de escoamento e de viscosidade para a maionese controle e as maioneses contendo micropartículas a 25 e a 37°C podem ser verificadas nas Figuras 50 a 55. Os parâmetros reológicos encontrados pelos modelos matemáticos de Casson, Bingham e Hurschel-Bulkley estão indicados nas Tabelas 9 e 10.

Figura 50. Curva de escoamento e viscosidade a 25°C da maionese adicionada de micropartículas de óleo de semente de abóbora.



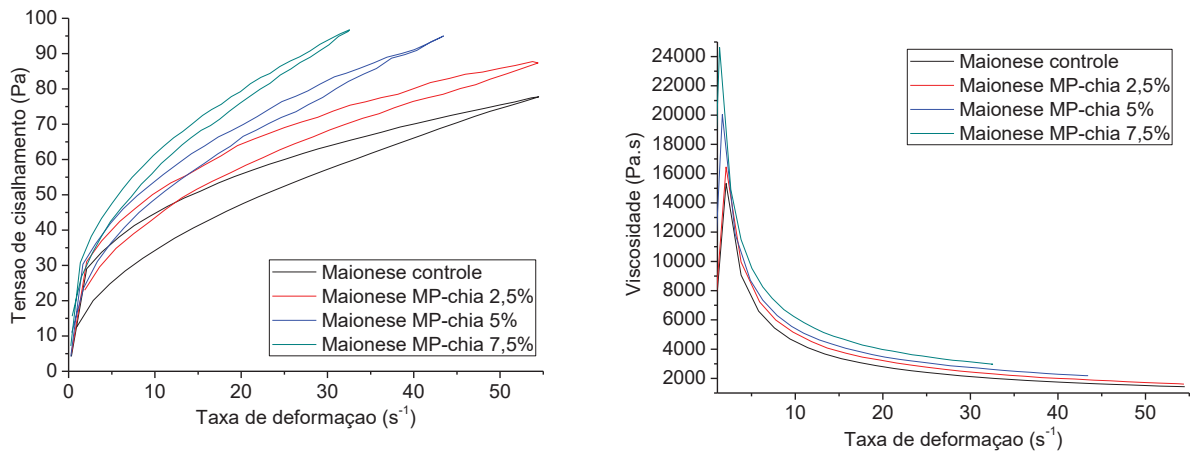
Fonte: Autoria própria.

Figura 51. Curva de escoamento e viscosidade a 37°C da maionese adicionada de micropartículas de óleo de semente de abóbora.



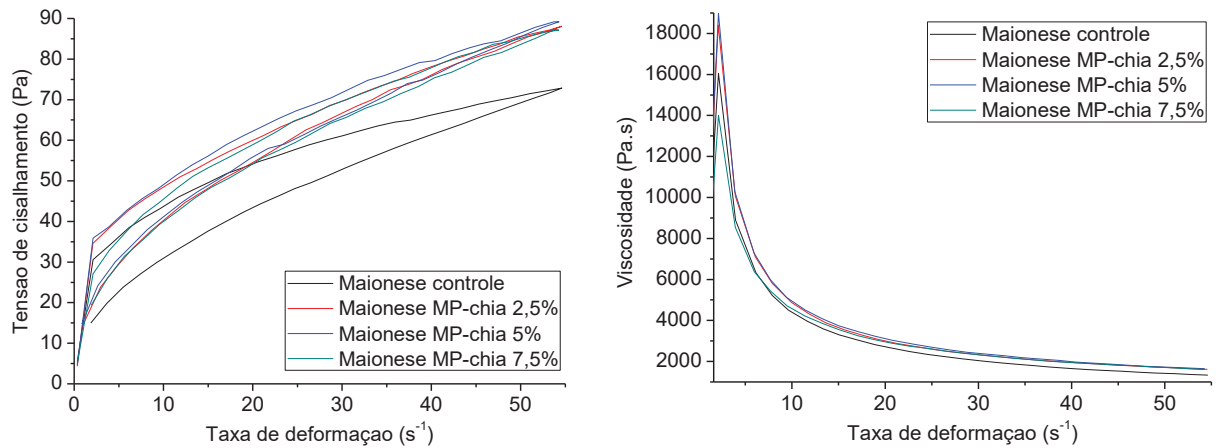
Fonte: Autoria própria.

Figura 52. Curva de escoamento e viscosidade a 25°C da maionese adicionada de micropartículas de óleo de chia.



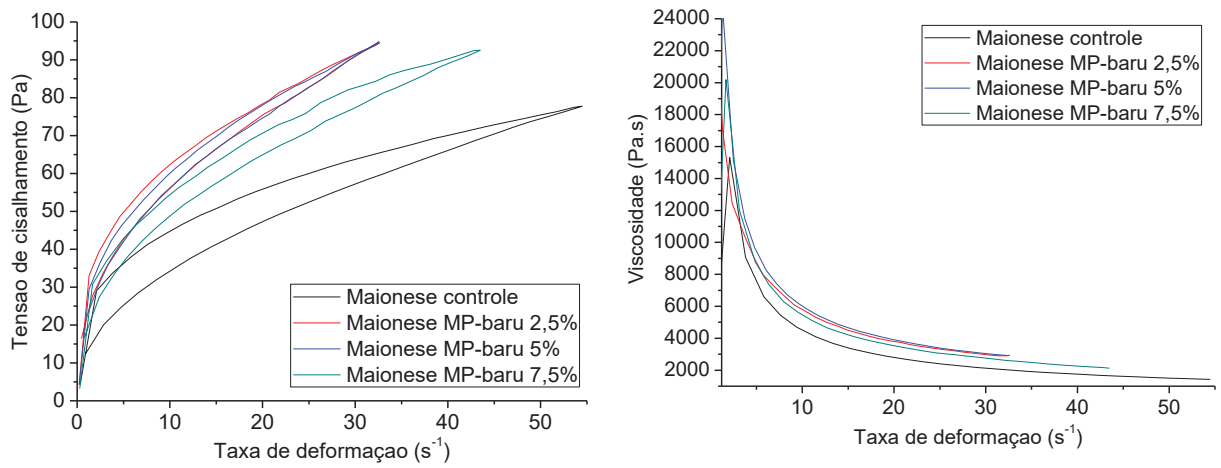
Fonte: Autoria própria.

Figura 53. Curva de escoamento e viscosidade a 37°C da maionese adicionada de micropartículas de óleo de chia.



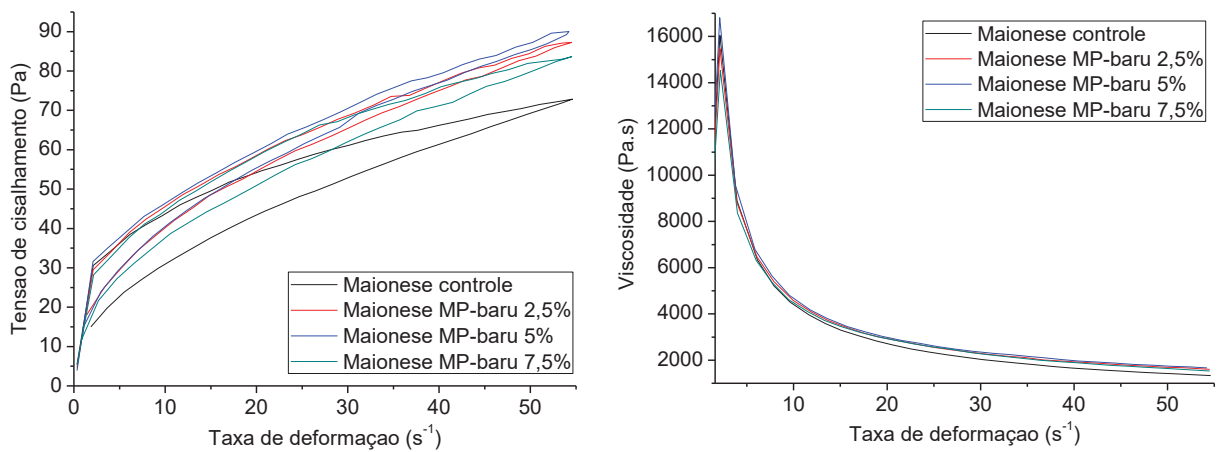
Fonte: Autoria própria.

Figura 54. Curva de escoamento e viscosidade a 25°C da maionese adicionada de micropartículas de óleo de baru.



Fonte: Autoria própria.

Figura 55. Curva de escoamento e viscosidade a 37°C da maionese adicionada de micropartículas de óleo de baru.



Fonte: Autoria própria.

Tabela 9. Parâmetros reológicos da maionese adicionada de micropartículas contendo os óleos a 25°C.

Maionese	Modelo matemático												
	Casson				Bingham				Hurschel-Bulkley				
	σ_0 (Pa) ^{0,5}	K_c (Pa.s) ^{0,5}	E	R ²	σ_0 (Pa)	η_a (Pa.s)	E	R ²	σ_0 (Pa)	K (Pa.s ⁿ)	n	E	R ²
Controle	3,4910	0,7343	0,0121	0,9938	22,3247	1,0899	0,0375	0,9679	5,1427	8,3281	0,5406	0,0063	0,9998
MP-Abóbora 2,5%	4,5821	0,8338	0,0173	0,9900	36,1180	1,5160	0,0608	0,9568	6,1466	15,3645	0,4826	0,0095	0,9994
MP-Abóbora 5%	4,2070	0,9611	0,0216	0,9882	29,9748	2,0500	0,0861	0,9528	4,5377	16,9802	0,4676	0,0117	0,9991
MP-Abóbora 7,5%	4,2992	0,9350	0,0244	0,9850	30,7196	1,9898	0,0949	0,9440	2,7890	18,9378	0,4377	0,0087	0,9995
MP-Chia 2,5%	4,4668	0,6737	0,0141	0,9884	32,6459	1,0749	0,0420	0,9575	3,7632	14,8406	0,4311	0,0095	0,9995
MP-Chia 5%	4,0794	0,8759	0,0214	0,9865	28,8452	1,6400	0,0723	0,9484	2,8729	15,4649	0,4699	0,0116	0,9989
MP-Chia 7,5%	4,2928	0,9839	0,0206	0,9895	31,3439	2,1331	0,0855	0,9554	5,6674	16,9204	0,4795	0,0107	0,9992
MP-Baru 2,5%	4,3119	0,9646	0,0207	0,9893	31,3013	2,0843	0,0860	0,9544	5,4951	17,1129	0,4704	0,0092	0,9994
MP-Baru 5%	4,2681	0,9514	0,0169	0,9924	32,5855	2,0187	0,0708	0,9667	6,6233	16,1021	0,4850	0,0134	0,9992
MP-Baru 7,5%	4,2373	0,8320	0,0176	0,9895	30,5455	1,5351	0,0619	0,9563	4,5770	14,8811	0,4688	0,0095	0,9994

Fonte: Autoria própria.

 σ_0 = Tensão inicial (Pa); k_c = Viscosidade a taxa de deformação infinita (Pa.s); η_a = Viscosidade limite (Pa.s); k = Índice de consistência (Pa.sⁿ); n = Índice de comportamento de fluxo (adimensional).

E = erro.

R² = coeficiente de correlação.

Tabela 10. Parâmetros reológicos da maionese adicionada de micropartículas contendo os óleos a 37°C.

Maionese	Modelo matemático												
	Casson				Bingham				Hurschel-Bulkley				
	σ_0 (Pa) ^{0,5}	K_c (Pa.s) ^{0,5}	E	R ²	σ_0 (Pa)	η_a (Pa.s)	E	R ²	σ_0 (Pa)	K (Pa.s ⁿ)	n	E	R ²
Controle	3,2919	0,7177	0,0092	0,9961	20,6482	1,0093	0,0201	0,9774	5,7060	6,7175	0,5740	0,0053	0,9999
MP-Abóbora 2,5%	3,7520	0,7189	0,0114	0,9939	25,4015	1,0784	0,0350	0,9714	5,0693	9,4922	0,5170	0,0070	0,9998
MP-Abóbora 5%	3,8628	0,7702	0,0116	0,9946	27,0635	1,2215	0,0393	0,9718	7,3161	9,2524	0,5453	0,0096	0,9995
MP-Abóbora 7,5%	4,0929	0,7788	0,0119	0,9944	30,1117	1,2699	0,0403	0,9726	7,2064	10,6087	0,5281	0,0094	0,9961
MP-Chia 2,5%	3,8800	0,7647	0,0162	0,9871	26,8406	1,2203	0,0480	0,9584	2,8456	12,1462	0,4874	0,0056	0,9998
MP-Chia 5%	3,9498	0,7560	0,0138	0,9923	27,3118	1,2164	0,0447	0,9636	6,4535	10,4604	0,5147	0,0132	0,9989
MP-Chia 7,5%	3,9933	0,7453	0,0121	0,9937	27,7463	1,1648	0,0385	0,9703	5,6177	10,3763	0,5153	0,0089	0,9996
MP-Baru 2,5%	3,9587	0,7429	0,0136	0,9204	27,6531	1,1747	0,0425	0,9646	4,8158	11,1892	0,4983	0,0061	0,9998
MP-Baru 5%	3,8749	0,7732	0,0150	0,9910	27,0342	1,2336	0,0454	0,9622	3,6805	11,5429	0,5016	0,0081	0,9996
MP-Baru 7,5%	3,6664	0,7557	0,0152	0,9908	24,3064	1,161	0,0445	0,9609	3,4857	10,4652	0,5074	0,0099	0,9994

Fonte: Autoria própria.

 σ_0 = Tensão inicial (Pa); k_c = Viscosidade a taxa de deformação infinita (Pa.s); η_a = Viscosidade limite (Pa.s); k = Índice de consistência (Pa.sⁿ); n = Índice de comportamento de fluxo (adimensional).

E = erro.

R² = coeficiente de correlação.

Analisando as curvas de escoamento, verifica-se fluxo não-newtoniano (pseudoplástico) com comportamento tixotrópico e presença de histerese para todas as amostras. O comportamento pseudoplástico é observado pela diminuição da viscosidade conforme o aumento da taxa de deformação. Analisando as curvas de escoamento, nota-se comportamento tixotrópico, já que na curva de descida os valores de tensão de cisalhamento são inferiores ao da subida, comparando os na mesma taxa de deformação (BARNES; HUTTON; WALTERS, 1989). Além disso, a área formada entre estas curvas (subida e descida) indica a presença de histerese, a qual sofre ligeira diminuição conforme a adição das micropartículas na maionese, tendo como referência a amostra controle.

O comportamento reológico observado para as duas temperaturas avaliadas foi semelhante, sendo verificado nas amostras contendo óleo de chia e óleo de sementes de abóbora (Figuras 50 a 53) a tendência de um aumento na viscosidade e na tensão de cisalhamento conforme a adição destas partículas. Esta elevação ocorre nos sistemas poliméricos devido às interações intermoleculares dos diferentes componentes da mistura, formando uma rede tridimensional. Comportamento semelhante foi observado no estudo da interação entre micropartículas poliméricas adicionadas a maionese, onde os autores (CHANG et al., 2017) verificaram que a presença dos polímeros aumentou as interações entre as partículas, promovendo o aumento da viscosidade.

Nos sistemas contendo óleo de barú (Figuras 54 e 55), a tendência ao aumento da tensão de cisalhamento e da viscosidade na presença das partículas é percebida, porém nota-se que nas amostras com 7,5% de óleo ocorreu uma redução nestes parâmetros quando comparados às demais concentrações (2,5 e 5%).

Nos sistemas analisados à 25 °C (Figuras 50, 52 e 54), conforme há o aumento na concentração das partículas verificou-se uma redução na taxa de deformação alcançada durante a medida reológica. Nesta temperatura, o sistema se encontra em uma viscosidade maior quando comparado às medidas a 37 °C, a qual limita a leitura do equipamento em taxas mais elevadas. A exceção ocorreu apenas na amostra contendo 7,5% de óleo de barú (Figura 54), devido a sua menor viscosidade. O efeito da temperatura pode ser notado nos ensaios a 37°C (Figuras 51, 53 e 55) onde a redução na taxa de deformação não ocorreu devido a sua menor viscosidade.

Para a obtenção dos modelos matemáticos foram utilizadas as voltas das curvas (descida) e pequenas variações nos valores podem estar relacionadas às variações nos valores lidos (Tabelas 9 e 10). Também é importante ressaltar que o modelo de Hurschel-Bulkley (HB) o mais confiável, pois possui menores erros de ajuste e melhores coeficientes de correlação. Para esse modelo se observa um aumento no índice de consistência (K) quando se compara a amostra controle com os sistemas contendo as partículas. Li et al. (2014) analisaram a aplicação de géis na maionese e observaram resultados semelhantes no índice de comportamento dos sistemas contendo os géis quando comparados às amostras controle.

Na análise dos parâmetros, também é possível notar que os valores do índice de consistência (K) foram menores para as análises realizadas a 37°C, confirmando os gráficos obtidos nas curvas de escoamento. Na temperatura de 25°C (Tabela 9) os parâmetros do modelo HB referentes ao índice de consistência aumenta conforme a elevação da concentração de micropartículas. Para as partículas de baru, esse mesmo comportamento ocorreu até a adição de 5% de partículas, sendo que para a amostra contendo 7,5% de micropartículas verificou-se uma queda na tensão de cisalhamento, para ambas as temperaturas estudadas. Este fenômeno pode estar relacionado à desestruturação da rede tridimensional da microestrutura da maionese acarretando na queda da tensão. Comportamento semelhante foi identificado por Liu, Xu e Guo (2007) quando avaliaram as propriedades reológicas de quatro formulações de maionese com diminuição de gordura, verificando, para uma das formulações, uma diminuição drástica na viscosidade, que foi justificada pelo aumento das moléculas dispersas no sistema.

Para todas as amostras a 25 °C, esses mesmos autores verificaram comportamento não-newtoniano, tixotropia e histerese, obtendo melhor ajuste pelo método de Herschel-Bulkley. Na temperatura de 37 °C (Tabela 10), a influência das concentrações das partículas no índice de consistência não seguiu uma tendência, provavelmente porque a temperatura foi o fator determinante no valor da viscosidade.

5.5.1.5. Análise sensorial

O teste de ordenação de preferência foi aplicado aos provadores e os resultados foram estatisticamente tratados através do teste de Friedman, onde verificou, ao nível de 5% de significância, que as amostras de maionese não diferiram do controle para a adição de 2,5% e 5% de partículas contendo óleo de chia, óleo de semente de abóbora e óleo de café verde, indicando que a adição de 5% de partículas contendo esses óleos se mostra promissora para agregação nutricional neste tipo de alimento sem afetar na sua qualidade sensorial.

Mattia et al. (2015) avaliaram sensorialmente maioneses formulada com óleo de girasol (controle), óleo de amendoim, azeite de oliva refinado, azeite de oliva e quatro diferentes azeites de oliva extra virgem, utilizando provadores treinados, a partir da análise quantitativa descritiva. As amostras controle, óleo de amendoim, azeite refinado e azeite de oliva se mantiveram semelhantes para a maioria dos atributos, sendo os azeites extra virgens caracterizados como odor de grama fresca, amargo, picante e adstringente, que foram associados aos altos teores de compostos fenólicos presentes neste tipo de óleo.

Kishk e Elsheshetawy (2013) formularam maionese adicionada de gengibre, devido às suas propriedades antioxidantes, em concentrações de 0,5%, 0,75%, 1,0% e 1,25% e avaliaram sensorialmente pelo teste de preferência utilizando escala hedônica para as características sensoriais do produto e aceitação global, verificando diferença significativa entre as amostras adicionadas de gengibre e o controle, sendo as amostras adicionadas de 1% e 1,25% as mais preferidas pelos provadores.

5.5.2. *Whey Protein*

5.5.2.1. Composição centesimal

O *whey protein* sem adição das micropartículas foi submetido à análise de composição centesimal conforme Tabela 11.

Tabela 11. Composição centesimal do *whey protein*

Umidade (%)	Cinzas (%)	Proteínas (%)	Lipídios totais (%)	Carboidratos (%)	Valor energético (kcal/g)
4,58±0,03	1,09±0,02	77,51±0,01	2,98±0,06	13,90±0,01	3,92±0,01

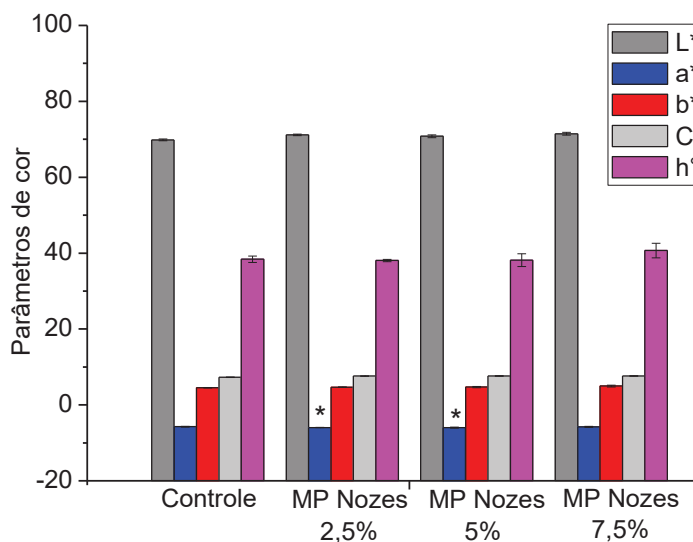
Fonte: Autoria própria.

Os valores encontrados foram semelhantes aos indicados na tabela nutricional do rótulo do produto, demonstrando ser um produto com alto teor proteico.

5.5.2.2. Cor

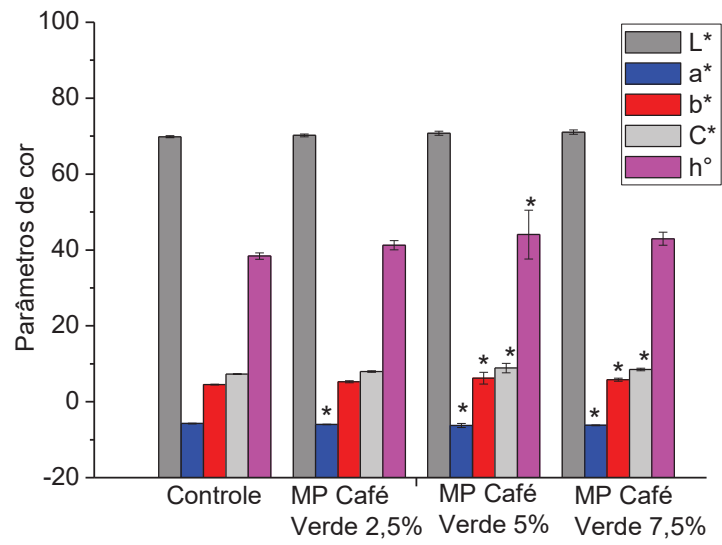
As amostras de *whey protein* adicionadas de micropartículas, bem como o *whey protein* controle (sem adição de micropartículas), foram analisadas em colorímetro, avaliadas estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) e estão representadas nas Figuras 56 e 57 abaixo. As imagens das formulações do *whey protein* estão indicados nas figuras 58 a 60.

Figura 56. Parâmetros de cor para *whey protein* adicionado de partículas de óleo de nozes nas proporções de 2,5%, 5% e 7,5%. Amostras estatisticamente diferentes do controle pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) estão representadas com asterisco.



Fonte: Autoria própria.

Figura 57. Parâmetros de cor para *whey protein* adicionado de partículas de óleo de nozes nas proporções de 2,5%, 5% e 7,5%. Amostras estatisticamente diferentes do controle pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) estão representadas com asterisco.



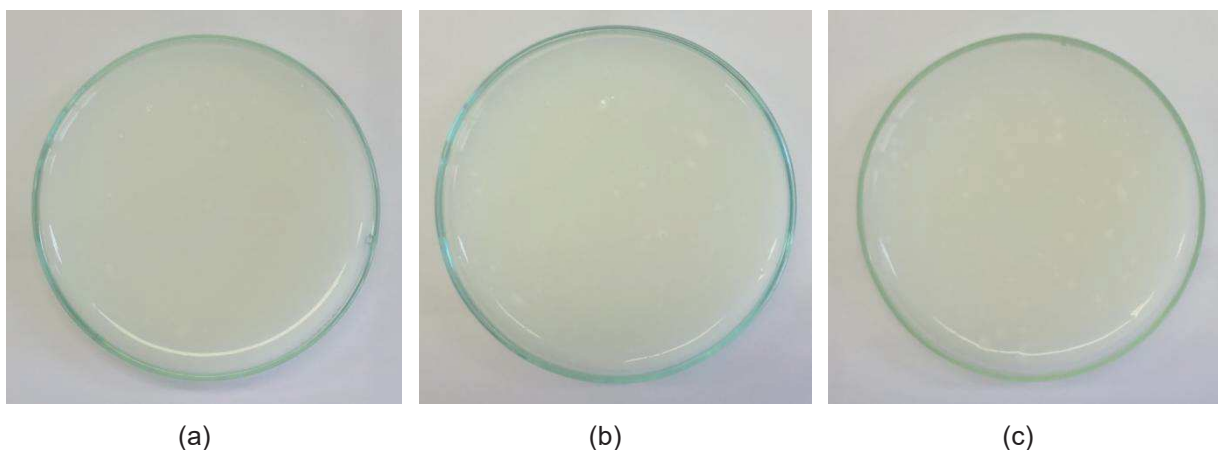
Fonte: Autoria própria.

Figura 58. Imagem do *whey protein* controle.



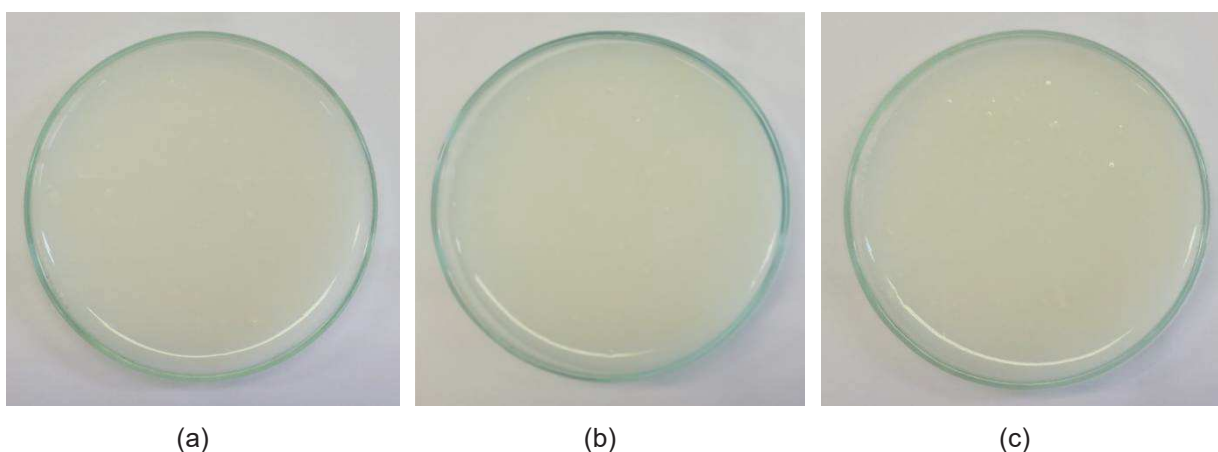
Fonte: Autoria própria.

Figura 59. Imagem do *whey protein* adicionado de (a) 2,5%, (b) 5% e (c) 7,5% de micropartículas contendo óleo de nozes.



Fonte: Autoria própria.

Figura 60. Imagem do *whey protein* adicionado de (a) 2,5%, (b) 5% e (c) 7,5% de micropartículas contendo óleo de café verde.



Fonte: Autoria própria.

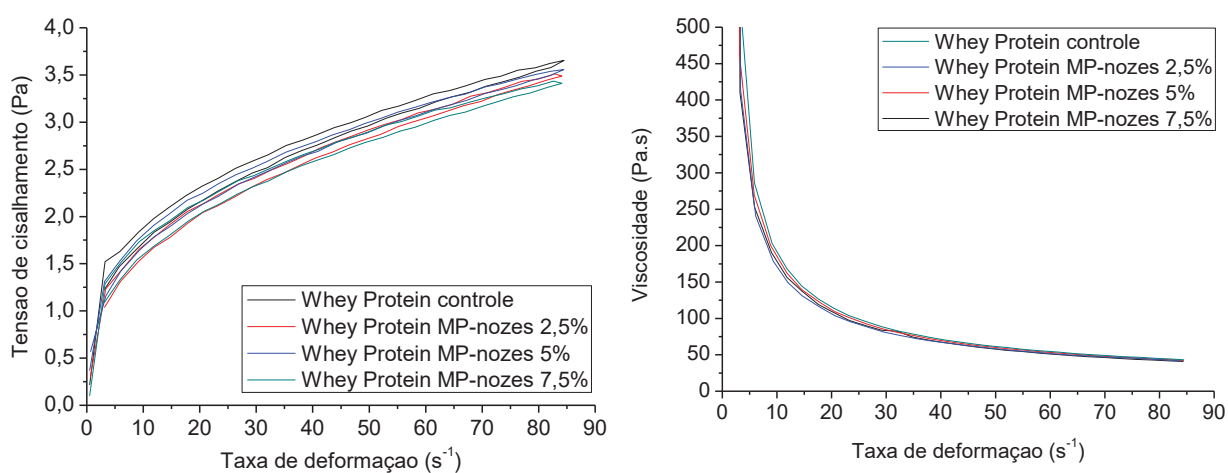
Para todas as amostras foi observado alta luminosidade, baixa tendência ao amarelo (+ b^*), baixa tendência ao verde (- a), baixa intensidade de cor (C^*), ângulo hue tendendo ao alaranjado (40°). As amostras adicionadas de 2,5% e 5% micropartículas de óleo de nozes diferiram estatisticamente do controle no parâmetro a^* , entretanto, esta diferença foi mínima e não perceptível visualmente. No caso das amostras adicionadas de micropartículas de óleo de café verde, as amostras adicionadas de 5% e 7,5% de partículas diferiram estatisticamente do controle em mais de 50% dos parâmetros colorimétricos analisados, indicando que a adição de micropartículas de café verde acima de 5% neste tipo de produto causa alterações significativas na coloração no ponto de vista instrumental. Visualmente, é

possível constatar que as micropartículas de café verde promoveram a alteração na cor do produto, mais pronunciadamente na concentração de 7,5% de micropartículas adicionadas.

5.5.2.3. Reologia

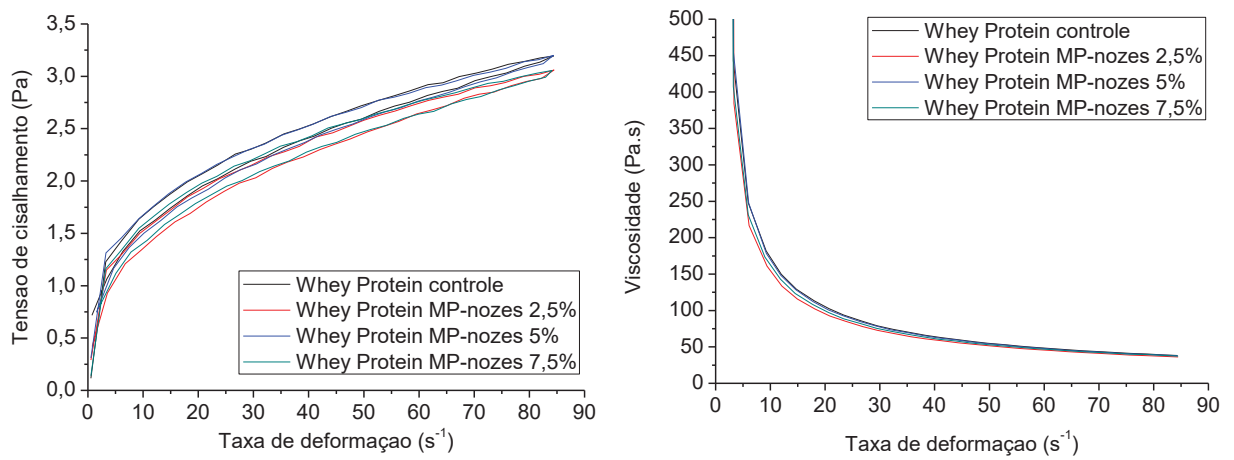
As curvas de escoamento e de viscosidade para o *whey protein* controle e o *whey protein* contendo micropartículas a 25 e a 37°C podem ser verificadas nas Figuras 61 a 64. Os parâmetros reológicos encontrados pelos modelos matemáticos de Casson, Bingham e Hurschel-Bulkley estão indicados nas Tabelas 12 e 13.

Figura 61. Curva de escoamento e viscosidade a 25°C do *whey protein* adicionado de micropartículas de óleo de nozes



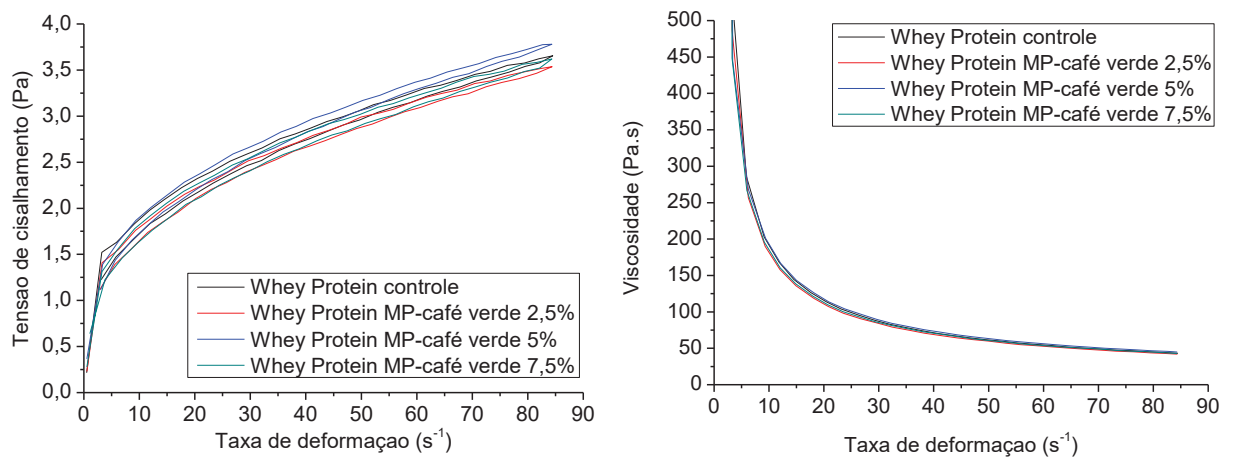
Fonte: Autoria própria.

Figura 62. Curva de escoamento e viscosidade a 37°C do *whey protein* adicionado de micropartículas de óleo de nozes



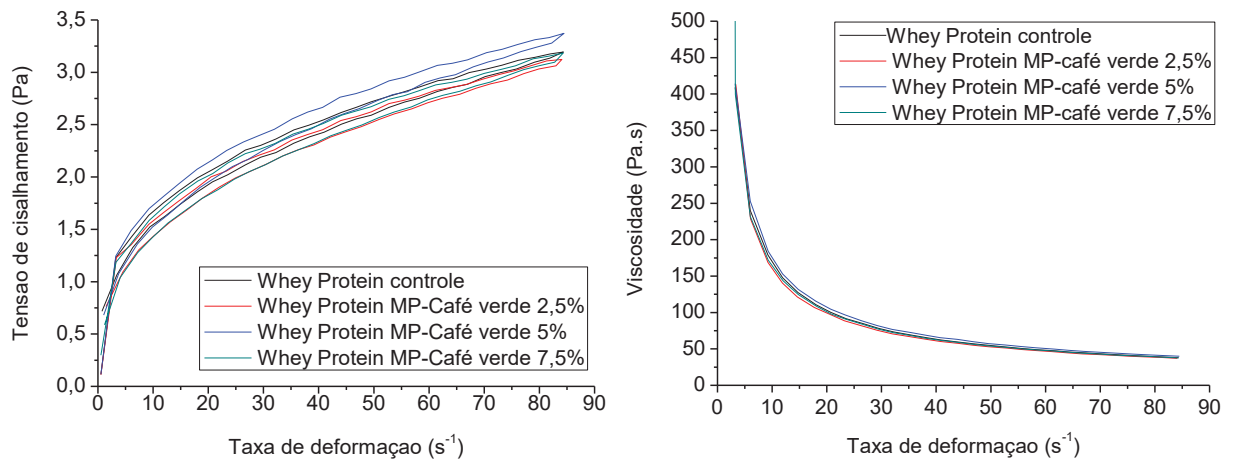
Fonte: Autoria própria.

Figura 63. Curva de escoamento e viscosidade a 25°C do *whey protein* adicionado de micropartículas de óleo de café verde



Fonte: Autoria própria.

Figura 64. Curva de escoamento e viscosidade a 37°C do *whey protein* adicionado de micropartículas de óleo de café verde



Fonte: Autoria própria.

Tabela 12. Parâmetros reológicos do *whey protein* adicionado de micropartículas contendo os óleos a 25°C.

Whey Protein	Modelo matemático												
	Casson				Bingham				Hurschel-Bulkley				
	σ_0 (Pa) ^{0,5}	K_c (Pa.s) ^{0,5}	E	R ²	σ_0 (Pa)	η_a (Pa.s)	E	R ²	σ_0 (Pa)	K (Pa.s ⁿ)	n	E	R ²
Controle	1,0152	0,0987	0,0017	0,9923	1,5591	0,0264	0,0010	0,9604	0,5286	0,4275	0,4458	0,0069	0,9998
MP-Nozes 2,5%	0,9408	0,1034	0,0021	0,9902	1,3968	0,0269	0,0011	0,9581	0,2769	0,4775	0,4294	0,0064	0,9998
MP-Nozes 5%	0,9984	0,0983	0,0020	0,9895	1,5165	0,0259	0,0011	0,9555	0,3174	0,5295	0,4061	0,0082	0,9997
MP-Nozes 7,5%	0,9686	0,0979	0,0020	0,9892	1,4365	0,0254	0,0011	0,9542	0,2958	0,5039	0,4099	0,0060	0,9998
MP-Café verde 2,5%	0,9874	0,9903	0,0020	0,9897	1,4835	0,0262	0,0011	0,9546	0,3666	0,4905	0,4186	0,0078	0,9997
MP-Café verde 5%	0,9938	0,1054	0,0022	0,9894	1,5350	0,0287	0,0012	0,9554	0,3003	0,5406	0,4178	0,0091	0,9996
MP-Café verde 7,5%	0,9849	0,1004	0,0017	0,9927	1,5008	0,0264	0,0010	0,9645	0,4556	0,4236	0,4492	0,0113	0,9995

Fonte: Autoria própria.

 σ_0 = Tensão inicial (Pa); k_c = Viscosidade a taxa de deformação infinita (Pa.s); η_a = Viscosidade limite (Pa.s); k = Índice de consistência (Pa.sⁿ); n = Índice de comportamento de fluxo (adimensional).

E = erro.

R² = coeficiente de correlação.

Tabela 13. Parâmetros reológicos do *whey protein* adicionado de micropartículas contendo os óleos a 37°C.

Whey Protein	Modelo matemático												
	Casson				Bingham				Hurschel-Bulkley				
	σ_0 (Pa) ^{0,5}	K_c (Pa.s) ^{0,5}	E	R ²	σ_0 (Pa)	η_a (Pa.s)	E	R ²	σ_0 (Pa)	K (Pa.s ⁿ)	n	E	R ²
Controle	0,9360	0,0946	0,0026	0,9816	1,3073	0,0243	0,0013	0,9286	0,2808	0,5015	0,3937	0,0076	0,9994
MP-Nozes 2,5%	0,8845	0,0952	0,0019	0,9902	1,2332	0,0230	0,0009	0,9594	0,2257	0,4273	0,4234	0,0113	0,9994
MP-Nozes 5%	0,9202	0,0957	0,0025	0,9828	1,2927	0,0241	0,0012	0,9383	0,1367	0,5570	0,3798	0,0116	0,9990
MP-Nozes 7,5%	0,9018	0,0932	0,0023	0,9850	1,2458	0,0228	0,0010	0,9443	0,1610	0,5071	0,3885	0,0123	0,9990
MP-Café verde 2,5%	0,9040	0,0956	0,0024	0,9844	1,2537	0,0237	0,0011	0,9404	0,1905	0,4984	0,3964	0,0077	0,9996
MP-Café verde 5%	0,9141	0,1020	0,0028	0,9814	1,2963	0,0264	0,0013	0,9333	0,1292	0,5627	0,3906	0,0079	0,9995
MP-Café verde 7,5%	0,9144	0,0951	0,0018	0,9913	1,3068	0,0233	0,0009	0,9626	0,2913	0,4220	0,4294	0,0128	0,9993

Fonte: Autoria própria.

 σ_0 = Tensão inicial (Pa); k_c = Viscosidade a taxa de deformação infinita (Pa.s); η_a = Viscosidade limite (Pa.s); k = Índice de consistência (Pa.sⁿ); n = Índice de comportamento de fluxo (adimensional).

E = erro.

R² = coeficiente de correlação.

A partir das curvas de escoamento, verifica-se fluxo não-newtoniano (pseudoplástico), comportamento tixotrópico e pequena histerese para todas as amostras, sendo o Hurschel-Bulkley o modelo com melhor coeficiente de correlação e menores valores de erro, indicando ser o modelo mais apropriado para representar as amostras.

O sistema possui alta fluidez para ambas as temperaturas estudadas, bem como baixa tensão de cisalhamento, com intervalo máximo de 0 a 4Pa (Figuras 61 a 64). A baixa viscosidade é uma característica reológica das proteínas do leite quando não gelificadas (KILARA; VANGHELA, 2017). O baixo valor da tensão de cisalhamento e da viscosidade também pode ser visualizado nos parâmetros K_c , η_a e K apresentados nas Tabelas 12 e 13. Zhang et al. (2016) obtiveram comportamento semelhante para *whey proteín* parcialmente desnaturado, verificando comportamento não newtoniano e baixa viscosidade (800 a 10 Pa.s nas curvas de viscosidade por taxa de deformação).

As curvas de escoamento da amostra controle e dos sistemas contendo micropartículas (Figuras 61 a 64) ficaram muito próximas entre si e não apresentaram nenhuma tendência de comportamento que direcionasse ao aumento ou redução da viscosidade conforme o acréscimo das micropartículas contendo os óleos de nozes e café verde. Devido aos valores baixos e por apresentarem sobreposição das curvas, optou-se por realizar uma análise estatística pelo método de Tukey, com o intuito de verificar uma real diferença significativa entre os valores de viscosidade e de tensão de cisalhamento obtidos nas análises gráficas. Pela análise estatística, com nível de confiança 95%, foi possível observar que não há diferença significativa entre os parâmetros reológicos, concluindo que o acréscimo de micropartículas não alterou suas características reológicas.

5.5.2.4. Análise Sensorial

O teste de Friedman não indicou diferença significativa para as amostras adicionadas de partículas de óleo de nozes nas proporções de 2,5% e 5% em relação a amostra controle. Entretanto, para as amostras adicionadas de micropartículas contendo óleo de café verde, a amostra controle se mostrou a mais preferida pelos provadores, seguido da amostra com 2,5% de micropartículas e a

menos preferida aquela contendo 5% de micropartículas. Além disso, pode-se notar na análise colorimétrica, que as formulações de *whey protein* adicionada de partículas contendo óleo de café verde diferiram significativamente do controle, o que pode ser um indício de que a cor pode ter influenciado na preferência dos consumidores.

Não foram encontradas na literatura estudos de análise sensorial de *whey protein*, já que maioria das pesquisas tratam dos efeitos nutricionais e digestibilidade desse tipo de produto, não sobre a preferência dos consumidores.

6. CONCLUSÕES

A microencapsulação dos óleos de chia, semente de abóbora, café verde, nozes e baru utilizando o ácido esteárico como material encapsulante apresentou eficiências de encapsulação satisfatórias para os ácidos graxos insaturados ômega 3 e 6. As demais análises de caracterização das partículas demonstraram a efetiva encapsulação dos óleos na matriz lipídica. Através das análises de Calorimetria Diferencial de Varredura foi observado um aumento nas energias de ativação e na temperatura de indução da oxidação dos óleos microencapsulados, constatando uma efetiva proteção e retardo da reação de oxidação.

A adição das micropartículas contendo os óleos de chia, semente de abóbora e baru, nas proporções de 2,5%, 5% e 7,5% em maionese ocasionou aumento na viscosidade do produto, entretanto não indicou diferenças no comportamento reológico, nos parâmetros de cor, textura e na avaliação sensorial, quando comparados com a amostra controle (maionese sem adição de micropartículas).

No caso do *whey protein*, foram adicionadas partículas contendo óleo de nozes e óleo de café verde, nas proporções de 2,5%, 5% e 7,5%. Para as partículas de nozes, foi verificada diferença em apenas um dos parâmetros da análise colorimétrica e não houve diferença estatisticamente significativa na avaliação sensorial. Para as formulações adicionadas de micropartículas de café verde, houve diferenças significativas na cor, nas concentrações a partir de 5%, e houve diferença sensorial, sendo a amostra controle a mais preferida, seguida de 2,5% de partículas e a menos preferida com 5% de partículas. Nas análises reológicas do *whey protein* não houve diferença no comportamento e viscosidade do produto para ambas as micropartículas adicionadas em concentrações até 7,5%, não alterando as características estruturais originais do produto.

Os resultados demonstraram que a encapsulação dos óleos de alto valor nutricional escolhidos e sua utilização na formulação de alimentos de grande aceitação como a maionese e o *whey protein* é uma estratégia viável para a obtenção de produtos alimentícios com propriedades nutricionais melhoradas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADHVARYU, A. et al. Oxidation kinetic studies of oils derived from unmodified and genetically modified vegetables using pressurized differential scanning calorimetry and nuclear magnetic resonance spectroscopy. **Thermochimica Acta**, v. 364, n. 1–2, p. 87–97, 2000.

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.

ALBERTINI, B. et al. New spray congealing atomizer for the microencapsulation of highly concentrated solid and liquid substances. **European journal of pharmaceutics and biopharmaceutics : official journal of Arbeitsgemeinschaft für Pharmazeutische Verfahrenstechnik e.V**, v. 69, n. 1, p. 348–57, maio 2008.

ALEMÁN, M. et al. Antioxidative effect of lipophilized caffeic acid in fish oil enriched mayonnaise and milk. v. 167, p. 236–244, 2015.

ALIMENTARIUS, C. No Title No Title. **Codex Standard for Edible Fats and Oils Not Covered By Individual Standards.**, v. Roma: FAO:, 1999.

ALTUNKAYA, A. et al. Oxidative stability and chemical safety of mayonnaise enriched with grape seed extract. **Food & Function**, v. 4, n. 11, p. 1647–1653, 2013.

AMARAL, J. S. et al. Determination of Sterol and Fatty Acid Compositions, Oxidative Stability, and Nutritional Value of Six Walnut (*Juglans regia* L.) Cultivars Grown in Portugal. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, n. 26, p. 7698–7702, 2003.

AMATO, M. et al. Nutritional quality of seeds and leaf metabolites of Chia (*Salvia hispanica* L.) from Southern Italy. **European Food Research and Technology**, v. 241, n. 5, p. 615–625, 2015.

ANDJELKOVIC, M. et al. Phenolic compounds and some quality parameters of pumpkin seed oil. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 112, n. 2, p. 208–217, 2010.

ARAIN, S. et al. Thermochemica Acta Oxidative stability assessment of Bauhinia purpurea seed oil in comparison to two conventional vegetable oils by differential scanning calorimetry and Rancimat methods. v. 484, p. 1–3, 2009.

BARNES, H. A.; HUTTON, J. F.; WALTERS, K. **An introduction to rheology**. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1989.

BAUER, J. M. et al. Effects of a Vitamin D and Leucine-Enriched Whey Protein Nutritional Supplement on Measures of Sarcopenia in Older Adults, the PROVIDE Study: A Randomized, Double-Blind, Placebo-Controlled Trial. **Journal of the American Medical Directors Association**, v. 16, n. 9, p. 740–747, 2015.

BERTRAND, B. et al. Comparison of the effectiveness of fatty acids, chlorogenic acids, and elements for the chemometric discrimination of coffee (*Coffea arabica* L.) varieties and growing origins. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 56, n. 6, p. 2273–2280, 2008.

BRESCIANI, L. et al. Phenolic composition, caffeine content and antioxidant capacity of coffee silverskin. **Food Research International**, v. 61, p. 196–201, 2014.

BUDRYN, G. et al. Influence of roasting conditions on fatty acids and oxidative changes of Robusta coffee oil. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 114, n. 9, p. 1052–1061, 2012.

CAHILL, J. P. Ethnobotany joseph p. cahill of chia,. **Economic Botany**, v. 57, n. 4, p. 604–618, 2003.

CALVO, P. et al. Effects of microcapsule constitution on the quality of microencapsulated walnut oil. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 113, n. 10, p. 1273–1280, 2011.

CALVO, P. et al. In-vitro evaluation of the availability of π {variant}-3 and π {variant}-6 fatty acids and tocopherols from microencapsulated walnut oil. **Food Research International**, v. 48, n. 1, p. 316–321, 2012.

CAPITANI, M. I. et al. Physicochemical and functional characterization of by-products from chia (*Salvia hispanica* L.) seeds of Argentina. **LWT - Food Science and**

Technology, v. 45, n. 1, p. 94–102, jan. 2012.

CARVALHO, A. G. S.; SILVA, V. M.; HUBINGER, M. D. Microencapsulation by spray drying of emulsified green coffee oil with two-layered membranes. **Food Research International**, v. 61, p. 236–245, 2014.

CHANG, C. et al. Effect of protein microparticle and pectin on properties of light mayonnaise. **LWT - Food Science and Technology**, v. 82, p. 8–14, 2017.

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.

CHRISTOPOULOS, M. V.; TSANTILI, E. Oil composition in stored walnut cultivars-quality and nutritional value. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 117, n. 3, p. 338–348, 2015.

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.

CIPRIOTI, S. V.; PACIULLI, M.; CHIAVARO, E. Review Article Application of different thermal analysis techniques to characterize oxidized olive oils. v. 1600074, p. 1–16, 2017.

COMMISSION, E. **COMMISSION REGULATION (EU) No 116/2010 Official Journal of the European Union**, 2010.

COMMISSION, E. **COMMISSION REGULATION (EU) No 432/2012**, 2012.

DE AZEVEDO, A. B. A. et al. Extraction of green coffee oil using supercritical carbon dioxide. **Journal of Supercritical Fluids**, v. 44, n. 2, p. 186–192, 2008.

DI MATTIA, C. et al. Physical and structural properties of extra-virgin olive oil based mayonnaise. **LWT - Food Science and Technology**, v. 62, n. 1, p. 764–770, 2015.

DORDEVIC, V. et al. Trends in Encapsulation Technologies for Delivery of Food Bioactive Compounds. **Food Eng.**, v. 7, p. 452–490, 2015.

FLYNN, J. H.; WALL, L. A. A quick, direct method for the determination of activation energy from thermogravimetric data. **Journal of Polymer Science Part B: Polymer Letters**, v. 4, n. 5, p. 323–328, maio 1966.

FRANKEL, E. N. Recent Advances in Lipid Oxidation. **Journal of Science of Food and Agriculture**, v. 54, n. April 1990, p. 495–511, 1991.

FRASCARELI, E. C. et al. Effect of process conditions on the microencapsulation of coffee oil by spray drying. **Food and Bioproducts Processing**, v. 90, n. 3, p. 413–424, jul. 2012.

FREIBERGER, E. B. et al. Encapsulation of roasted coffee oil in biocompatible nanoparticles. **LWT - Food Science and Technology**, v. 64, n. 1, p. 381–389, 2015.

FRIZON, F. et al. Dissolution rate enhancement of loratadine in polyvinylpyrrolidone K-30 solid dispersions by solvent methods. **Powder Technology**, v. 235, p. 532–539, 2013.

FUCHS, R. H. B. et al. Enhancement of the nutritional status of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) croquettes by adding flaxseed flour. **LWT - Food Science and Technology**, v. 54, n. 2, p. 440–446, 2013.

GALLARDO, G. et al. Microencapsulation of linseed oil by spray drying for functional food application. **Food Research International**, v. 52, n. 2, p. 473–482, 2013.

GARDETTE, J. L.; BABA, M. FTIR and DSC studies of the thermal and photochemical stability of *Balanites aegyptiaca* oil (Toogga oil). **Chemistry and Physics of Lipids**, v. 170–171, p. 1–7, 2013.

GARRIDO, B. C. et al. Proteomics in quality control: Whey protein-based supplements. **Journal of Proteomics**, v. 147, p. 48–55, 2016.

GETACHEW, A. T.; CHUN, B. S. Optimization of coffee oil flavor encapsulation using response surface methodology. **LWT - Food Science and Technology**, v. 70, p. 126–134, 2016.

GHARIBZAHEDI, S. M. T. et al. Evaluation of physicochemical properties and antioxidant activities of Persian walnut oil obtained by several extraction methods.

Industrial Crops and Products, v. 45, p. 133–140, 2013.

GONZÁLEZ, A. et al. Study of the preparation process and variation of wall components in chia (*Salvia hispanica* L.) oil microencapsulation. **Powder Technology**, v. 301, p. 868–875, 2016.

GRAMPONE, M. A. et al. Assessing the Oxidative Stability of Commercial Chia Oil. **Journal of Food Science and Engineering**, v. 3, p. 349–356, 2013.

GROSSI, M. et al. A novel electrochemical method for olive oil acidity determination. **Microelectronics Journal**, v. 45, n. 12, p. 1701–1707, 2014.

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.

GUINDANI, C. et al. Valorization of chia (*Salvia hispanica*) seed cake by means of supercritical fluid extraction. **Journal of Supercritical Fluids**, v. 112, p. 67–75, 2016.

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

HERNÁNDEZ-SANTOS, B. et al. Ultrasonics Sonochemistry Effect of oil extraction assisted by ultrasound on the physicochemical properties and fatty acid profile of pumpkin seed oil (*Cucurbita pepo*). v. 31, p. 429–436, 2016.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos. p. 1020, 2008.

ISO 8587. Sensory analysis — Methodology — Ranking. **INTERNATIONAL STANDARD ISO 8587**, 2006.

IXTAINA, V. Y. et al. Characterization of chia seed oils obtained by pressing and solvent extraction. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 24, n. 2, p. 166–174, 2011a.

IXTAINA, V. Y. et al. Supercritical Carbon Dioxide Extraction and Characterization of Argentinean Chia Seed Oil. **Journal of the American Oil Chemists Society**, v. 88,

n. 2, p. 289–298, 2011b.

JASMINE ALIMENTOS. **Imagem sementes de abóbora.** Disponível em: [<https://www.jasminealimentos.com/wikinatural/beneficios-semente-abobora/](https://www.jasminealimentos.com/wikinatural/beneficios-semente-abobora/)

> Acesso em: 02 de março de 2018.

JIAO, J. et al. Microwave-assisted aqueous enzymatic extraction of oil from pumpkin seeds and evaluation of its physicochemical properties, fatty acid compositions and antioxidant activities. **Food Chemistry**, v. 147, p. 17–24, 2014.

KAIJSER, A.; DUTTA, P.; SAVAGE, G. Oxidative stability and lipid composition of macadamia nuts grown in New Zealand. **Food Chemistry**, v. 71, n. 1, p. 67–70, 2000.

KERKHOF, S. et al. Mayonnaise production in batch and continuous process exploiting magnetohydrodynamic force. **Journal of Food Engineering**, v. 106, n. 1, p. 35–39, 2011.

KILARA, A.; VANGHELA, M. N. **Whey Proteins - Proteins in Foods Processing.** Second Edi ed. [s.l.] Woodhead Publishing, 2017.

KISHK, Y. F. M.; ELSHESHETAWY, H. E. Effect of ginger powder on the mayonnaise oxidative stability, rheological measurements, and sensory characteristics. **Annals of Agricultural Sciences**, v. 58, n. 2, p. 213–220, 2013.

KRAMER, I. F. et al. Both basal and post-prandial muscle protein synthesis rates, following the ingestion of a leucine-enriched whey protein supplement, are not impaired in sarcopenic older males. **Clinical Nutrition**, v. 36, n. 5, p. 1440–1449, 2017.

LANCASTER, J. E.; LISTER, C. E. Influence of Pigment Composition on Skin Color in a Wide Range of Fruit and Vegetables. **Journal of American Society Horticultural Science**, v. 4, p. 594–598, 1997.

LAR NATURAL. **Imagem castanha de baru.** Disponível em: [<https://lar-natural.com.br/beneficios-e-usos-da-castanha-de-baru/](https://lar-natural.com.br/beneficios-e-usos-da-castanha-de-baru/)> Acesso em: 02 de março de 2018.

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.

LI, J. et al. Application of micronized konjac gel for fat analogue in mayonnaise. **Food Hydrocolloids**, v. 35, p. 375–382, 2014.

LITWINIENKO, G.; KASPRZYCKA-GUTTMAN, T. A DSC study on thermoxidation kinetics of mustard oil. **Thermochimica Acta**, v. 319, n. 1–2, p. 185–191, 1998.

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.

MA, Z.; BOYE, J. Advances in the Design and Production of Reduced-Fat and Reduced-Cholesterol Salad Dressing and Mayonnaise: A Review. **Food and bioprocess Technol.**, n. 6, p. 648–670, 2013.

MACKENZIE-SHALDERS, K. L. et al. The effect of a whey protein supplement dose on satiety and food intake in resistance training athletes. **Appetite**, v. 92, p. 178–184, 2015.

MADHAVA NAIDU, M. et al. Studies on extraction and antioxidant potential of green coffee. **Food Chemistry**, v. 107, n. 1, p. 377–384, 2008.

MARQUES, F. G. et al. Identification of terpenes and phytosterols in *Dipteryx alata* (baru) oil seeds obtained through pressing. **Brazilian Journal of Pharmacognosy**, v. 25, n. 5, p. 522–525, 2015.

MARTÍNEZ-MONTEAGUDO, S. I.; SALDAÑA, M. D. A.; KENNELLY, J. J. Kinetics of non-isothermal oxidation of anhydrous milk fat rich in conjugated linoleic acid using differential scanning calorimetry. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 107, n. 3, p. 973–981, 2012.

MARTÍNEZ, M. et al. Sensory characterisation and oxidative stability of walnut oil. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 46, n. 6, p. 1276–1281, 2011.

MARTÍNEZ, M. L. et al. Chia (*Salvia hispanica* L.) oil extraction: Study of processing

parameters. **LWT - Food Science and Technology**, v. 47, n. 1, p. 78–82, 2012.

MEXIS, S. F. et al. Effect of packaging and storage conditions on quality of shelled walnuts. **Food Control**, v. 20, n. 8, p. 743–751, 2009.

MICIĆ, D. M. et al. Kinetics of blackberry and raspberry seed oils oxidation by DSC. **Thermochimica Acta**, v. 601, p. 39–44, 2015.

MITCHAM, E. et al. **Radio frequency heating of walnuts and sweet cherries to control insects after harvest**. Acta Horticulturae. **Anais...**2005

MITRA, P.; RAMASWAMY, H. S.; CHANG, K. S. Pumpkin (*Cucurbita maxima*) seed oil extraction using supercritical carbon dioxide and physicochemical properties of the oil. **Journal of Food Engineering**, v. 95, n. 1, p. 208–213, 2009.

MUNDO BOA FORMA. **Imagem café verde**. Disponível em: <http://www.mundoboforma.com.br/cafe-verde-emagrece-mesmo-como-funciona-e-dicas/>
> Acesso em: 02 de março de 2018.

MUNDO BOA FORMA. **Imagem nozes**. Disponível em: <http://www.mundoboforma.com.br/14-beneficios-das-nozes-para-que-serve-e-propriedades/>
> Acesso em: 02 de março de 2018.

NATURAL CURA. **Imagem semente de chia**. Disponível em: <https://www.naturalcura.com.br/beneficios-da-chia/>> Acesso em: 02 de março de 2018.

NAZZARO, F. et al. Microencapsulation in food science and biotechnology. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 23, n. 2, p. 182–186, 2012.

NEDERAL, S. et al. Variance of quality parameters and fatty acid composition in pumpkin seed oil during three crop seasons. **Industrial Crops and Products**, v. 60, p. 15–21, 2014.

NOSARI, A. B. F. L. et al. Improved green coffee oil antioxidant activity for cosmetical purpose by spray drying microencapsulation. **Brazilian Journal of Pharmacognosy**, v. 25, n. 3, p. 307–311, 2015.

OSTROWSKA-LIGEZA, E. et al. Kinetics of commercial olive oil oxidation: Dynamic

differential scanning calorimetry and Rancimat studies. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 112, n. 2, p. 268–274, 2010.

OZAWA, T. Kinetic Analysis of Derivate Curves in Thermal Analysis. **Journal of Thermal Analyses**, v. 2, p. 301–324, 1970.

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.

PARDAUIL, J. J. R. et al. Bioresource Technology Determination of the oxidative stability by DSC of vegetable oils from the Amazonian area. v. 102, p. 5873–5877, 2011.

PINELI, L. et al. Tracing chemical and sensory characteristics of baru oil during storage under nitrogen. **LWT - Food Science and Technology**, v. 62, n. 2, p. 976–982, 2015a.

PINELI, L. DE L. DE O. et al. Use of baru (Brazilian almond) waste from physical extraction of oil to produce flour and cookies. **LWT - Food Science and Technology**, v. 60, n. 1, p. 50–55, 2015b.

PROCIDA, G. et al. Chemical composition and functional characterisation of commercial pumpkin seed oil. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 93, n. 5, p. 1035–1041, 2013.

RAHMATI, K.; TEHRANI, M. M.; DANESHVAR, K. Soy milk as an emulsifier in mayonnaise: physico-chemical, stability and sensory evaluation. **Food Science Technology**, v. 51, n. November, p. 3341–3347, 2014.

RAUDSEPP, P. et al. Oxidative stabilization of mixed mayonnaises made with linseed oil and saturated medium-chain triglyceride oil. **Food Chemistry**, v. 152, p. 378–385, 2014.

REYES-CAUDILLO, E.; TECANTE, A.; VALDIVIA-LÓPEZ, M. A. Dietary fibre content and antioxidant activity of phenolic compounds present in Mexican chia (*Salvia hispanica* L.) seeds. **Food Chemistry**, v. 107, n. 2, p. 656–663, 2008.

ROBARDS, K. et al. Headspace gas analysis as a measure of rancidity in corn chips. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 65, n. 10, p. 1621–1626, 1988.

ROCKWELL, P. L. et al. Various-sourced pectin and polyethylene oxide electrospun fibers. **Carbohydrate Polymers**, v. 107, n. 1, p. 110–118, 2014.

RODRÍGUEZ, J. et al. Current encapsulation strategies for bioactive oils: From alimentary to pharmaceutical perspectives. **Food Research International**, v. 83, p. 41–59, 2016.

ROSENTHAL, A. J. TEXTURE PROFILE ANALYSIS – HOW IMPORTANT ARE THE PARAMETERS ? **Journal of Texture Studies**, v. 41, n. 0, p. 672–684, 2010.

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, R. D. DOS et al. Sociedade Brasileira de Cardiologia. Diretriz sobre o consumo de Gorduras e Saúde Cardiovascular. **Arq Bras Cardiol**, v. 100, p. 1–40, 2013.

SARTORI, T. et al. Ascorbic acid microencapsulation by spray chilling: Production and characterization. **LWT - Food Science and Technology**, v. 63, n. 1, p. 353–360, 2015.

SATO, K. Crystallization behaviour of fats and lipids — a review. **Chemical Engineering Science**, v. 56, n. 7, p. 2255–2265, 2001.

SEGURA-CAMPOS, M. R. et al. Physicochemical characterization of chia (*Salvia hispanica*) seed oil from Yucatán , México. **Agricultural Sciences**, v. 5, n. 3, p. 220–226, 2014.

SENHORINI, G. A. et al. Microparticles of poly (hydroxybutyrate- co - hydroxyvalerate) loaded with andiroba oil: Preparation and characterization. **Materials Science & Engineering C**, v. 32, n. 5, p. 1121–1126, 2012.

SHEIKHOESLAMI VATANI, D.; AHMADI KANI GOLZAR, F. Changes in antioxidant status and cardiovascular risk factors of overweight young men after six weeks

supplementation of whey protein isolate and resistance training. **Appetite**, v. 59, n. 3, p. 673–678, 2012.

SIANO, F. et al. Physico-chemical properties and fatty acid composition of pomegranate, cherry and pumpkin seed oils. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 96, n. 5, p. 1730–1735, 2016.

SILVA, V. D. et al. Oxidative stability of Baru (*Dipteryx alata* Vogel) oil monitored by fluorescence and absorption spectroscopy. **Journal of Spectroscopy**, v. 2015, 2015.

SILVA, V. M.; VIEIRA, G. S.; HUBINGER, M. D. Influence of different combinations of wall materials and homogenisation pressure on the microencapsulation of green coffee oil by spray drying. **Food Research International**, v. 61, p. 132–143, 2014.

SØRENSEN, A. D. M.; NIELSEN, N. S.; JACOBSEN, C. Oxidative stability of fish oil-enriched mayonnaise-based salads. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 112, n. 4, p. 476–487, 2010.

SOUZA, M. F. et al. Fatty acids profile of chia oil-loaded lipid microparticles. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, p. 1–22, 2015.

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.

TAN, C. P. et al. Comparative studies of oxidative stability of edible oils by differential scanning calorimetry and oxidative stability index methods. v. 76, p. 385–389, 2002.

TURNER, R.; MCLEAN, C. H.; SILVERS, K. M. Are the health benefits of fish oils limited by products of oxidation? **Nutrition research reviews**, v. 19, n. 1, p. 53–62, 2006.

ULKOWSKI, M.; MUSIALIK, M.; LITWINIENKO, G. Use of differential scanning calorimetry to study lipid oxidation. 1. Oxidative stability of lecithin and linolenic acid. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, n. 23, p. 9073–9077, 2005.

ULLAH, R. et al. Fractionation of chia oil for enrichment of omega 3 and 6 fatty acids and oxidative stability of fractions. **Food Science and Biotechnology**, v. 25, n. 1, p.

41–47, 2016.

VIDAL, N. P. et al. Fourier transform infrared spectroscopy as a tool to study farmed and wild sea bass lipid composition. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 94, n. 7, p. 1340–1348, 2014.

VISENTAINER, J. V. Aspectos analíticos da resposta do detector de ionização em chama para ésteres de ácidos graxos em biodiesel e alimentos. **Química Nova**, v. 35, n. 2, p. 274–279, 2012.

WAGEMAKER, T. A L. et al. Green Coffea arabica L. seed oil influences the stability and protective effects of topical formulations. **Industrial Crops and Products**, v. 63, p. 34–40, 2015.

WONG, P. C. H.; HENG, P. W. S.; CHAN, L. W. Determination of solid state characteristics of spray-congealed ibuprofen solid lipid microparticles and their impact on sustaining drug release. **Molecular Pharmaceutics**, v. 12, n. 5, p. 1592–1604, 2015.

YAMAGISHI, K. et al. Serum α -linolenic and other n-3 fatty acids, and risk of disabling dementia: Community-based nested case-control study. **Clinical Nutrition**, v. 36, p. 1–5, 2017.

ZHANG, Z. et al. Properties of partially denatured whey protein products 2: Solution flow properties. **Food Hydrocolloids**, v. 56, p. 218–226, 2016.