

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÃO E
COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA- INPA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA NO
TROPICO UMIDO
PPG/ATU

EFEITO DA PRÉ-GELATINIZAÇÃO DA PROTEÍNA DE ERVILHA NAS
PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE ENCAPSULADOS DE ÓLEO DE
CUPUAÇU (*Theobroma grandiflorum*)

TASSO RAMOS TAVARES

Manaus, Amazonas
Setembro, 2022

TASSO RAMOS TAVARES

EFEITO DA PRÉ- GELATINIZAÇÃO DA PROTEINA DE ERVILHA NAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE ENCAPSULADOS DE ÓLEO DE CUPUAÇU (*Theobroma grandiflorum*).

ORIENTADORA: DR^a. FRANCISCA DAS CHAGAS DO AMARAL SOUZA

Projeto de Dissertação apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura no Trópico Úmido, do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agricultura no Trópico Úmido.

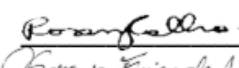
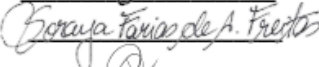

Manaus, Amazonas
Setembro, 2022

DEFESA PÚBLICA DE DISSERTAÇÃO

Ata da Defesa Presencial de Dissertação de Mestrado de Tasso Ramos Tavares, aluno do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Agricultura no Trópico Úmido, do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, realizada no dia 30 de setembro de 2022.

Aos 30 dias do mês de setembro de 2022, às 14h, realizou-se por videoconferência a Defesa Pública da Dissertação de Mestrado, intitulada: **"EFEITO DA PRÉ-GELATINIZAÇÃO DA PROTEÍNA DE ERVILHA NAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE ENCAPSULADOS DE ÓLEO DE CUPUAÇU (*Theobroma Grandiflorum*)"** do aluno **Tasso Ramos Tavares**, sob a orientação do Profa. Dra. Francisca das Chagas do Amaral Souza em conformidade com o Artigo 52 do Regimento Geral da Pós-Graduação do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (MCTI-INPA) e Artigo 60 do Regimento Interno do PPG-ATU como parte de suas atividades para conclusão e obtenção do título de **"MESTRE EM AGRICULTURA NO TRÓPICO ÚMIDO"**. A Banca Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: **ROSANY PICCOLOTTO CARVALHO (UFAM); SORAYA FARIAS DE ANDRADE FREITAS (UFAM); KEMILLA SARMENTO RIBEIRO (UFAM)**. O Presidente da Banca Examinadora deu início à sessão, convidando os membros e o Mestrando a tomarem seus lugares. Em seguida, O Sr. Presidente informou sobre o procedimento do exame. A palavra foi facultada ao Mestrando para apresentar uma síntese do seu estudo e responder às perguntas formuladas pelos membros da Banca Examinadora. Após a apresentação e arguição pelos membros da Banca Examinadora esta decidiu por Aprovar. **O Certificado de conclusão do Curso de mestrado e o Diploma o aluno receberá somente o título após cumprir as exigências do Art. 54 do Regulamento Geral dos programas de Pós-Graduação *Stricto Sensu* datado de 29 de fevereiro de 2008.** Serão conferidos ao aluno após a apresentação, um prazo máximo de 30 (trinta) dias após a Defesa da versão definitiva contendo as modificações sugeridas pela Banca e impressa em 02 (duas) cópias e 1 (uma) cópia em meio digital (arquivo preferencialmente em .pdf, que inclua todo o texto, figuras e outras matérias que fazem parte da dissertação). Nada mais havendo, a sessão foi encerrada, foi lavrada a presente Ata, que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Banca Examinadora.

BANCA EXAMINADORA:

<u>Nome</u>	<u>Parecer</u>	<u>Assinatura</u>
ROSANY PICCOLOTTO CARVALHO (UFAM)	<input checked="" type="checkbox"/> Aprovado <input type="checkbox"/> Reprovado	
SORAYA FARIAS DE ANDRADE FREITAS (UFAM)	<input checked="" type="checkbox"/> Aprovado <input type="checkbox"/> Reprovado	
KEMILLA SARMENTO REBELO (UFAM)	<input checked="" type="checkbox"/> Aprovado <input type="checkbox"/> Reprovado	

com "Distinção"

com "Distinção e Louvor"

Manaus (AM), 30 de setembro de 2022.

Obs.:

Catálogo na Publicação (CIP-Brasil)

Tavares, Tasso Ramos

Efeito da pré- gelatinização da proteína de ervilha nas propriedades físico-químicas de encapsulados de óleo de cupuaçu (Theobroma Grandiflorum) / Tasso Ramos Tavares; orientadora Francisca das Chagas do Amaral Souza Manaus: [s.l.], 2022.

3.7 MB

71 p. :il. color

Dissertação (Mestrado- Programa de Pós-Graduação em Agricultura no Trópico Úmido-PPG- ATU) – Coordenação do Programa de Pós-Graduação, INPA, 2022.

1. Microencapsulação. 2. Cupuaçu. 3. Tecnologia de Alimentos.

I. Souza, Francisca Das Chagas do Amaral. II. Título

CDD 634.4

Sinopse:

Estudou-se o comportamento da proteína de ervilha em óleo extraído da semente do cupuaçu sobre diferentes temperaturas e avaliou-se o seu impacto no perfil nutricional através da técnica de microencapsulação.

Palavras-chaves: Microencapsulação, Óleo, Cupuaçu, Tecnologia de Alimentos

Dedicatória

*Dedico esta dissertação ao meu Querido pai (In memória)
que viu eu iniciar essa trajetória e na metade do
caminho precisou partir sem ver o fim,
A minha mãe e minhas irmãs pelo
apoio e é graças a elas que hoje
sou a pessoa que finalizou este trabalho,
apesar das inúmeras dificuldades.*

AGRADECIMENTO

Agradecer inicialmente Deus pela vida, pela proteção e por ter me dado força para chegar até aqui.

Aos meus pais Creuza Ramos e Luis Tavares (*in memoriam*) que me deram à luz da vida e sempre estiveram ao lado em cada etapa, cuidando, respeitando e apoiando minhas escolhas.

As minhas irmãs que mesmo perante tantas diferenças sempre também me apoiaram e me ajudaram.

A Deisiane Seixas que foi especial e companheira quando estive ausente em razão dos estudos.

A minha orientadora Dra. Francisca das Chagas do Amaral Souza pelo empenho e dedicação exemplar, além dos conselhos o meu muito obrigado!

Ao Pesquisador Jaime Paiva L. Aguiar responsável pelo Laboratório de Físico-química de Alimentos– LFQA pelo auxílio e colaboração nas análises.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura no Trópico Úmido PPG-ATU, pela grande oportunidade.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas-FAPEAM pelo fomento da bolsa.

A todos os amigos que cultivei ao longo dos anos e aos novos que encontrei, que me deram apoio de forma direta (em particular a Midori Nakamura) ou indiretamente ao longo do desenvolvimento dessa pesquisa. Infelizmente não poderei citar todos os nomes por restrições de espaços, mas deixo aqui minhas sinceras desculpas e imensa gratidão a vocês.

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo caracterizar o desempenho emulsificante da proteína de ervilha em óleo extraído da semente do cupuaçu, bem como o seu impacto no perfil nutricional em diferentes temperaturas. Inicialmente foi realizada a caracterização físico-química do óleo e concentrado proteico. As sementes foram adquiridas de pequenos produtores da cidade de Parintins, após o processo de despolpa dos frutos. Posteriormente, no laboratório foi feito o preparo das emulsões, processo de liofilização, caracterização das microcápsulas através um delineamento inteiramente casualizado (5x4), usando goma arábica com proteína de ervilha como material de parede sobre as seguintes respostas: pH, acidez titulável, teor de umidade, índice de peróxido e ácidos graxos. A partir dos resultados analisados, as médias de pH variaram entre 6,25 e 6,67. Os valores de acidez variaram entre 0,52 e 1,20 indicando que a temperatura não influenciou na acidez do óleo, além de estarem dentro dos padrões da legislação (até 4 mgKOH/g). Os valores das médias de umidade variaram entre 3,6850 e 4,5425 não apresentando diferença significativa entre os tratamentos. Os valores de índice de peróxidos se mantiveram abaixo do que determina a legislação (até 15 meq/Kg) durante as semanas analisadas indicando que os tratamentos mantiveram estáveis independente do grau de temperatura. Com relação aos ácidos graxos microencapsulados, os tratamentos não apresentaram diferenças ao longo das semanas analisadas, sendo os resultados iniciais parecidos com os obtidos na primeira e sexta semana de armazenamento. Conclui-se que é possível a técnica de microencapsulação do óleo da semente do cupuaçu com proteína de ervilha e goma arábica. Além disso, os presentes resultados indicam que os tratamentos submetidos a diferentes temperaturas (0°C, 60°C, 70°C, 80°C e 90°C) não apresentaram diferenças significativas, apontando que não causaram danos ao produto original e que tanto o óleo *in natura*, quanto os encapsulados podem ser caracterizados como ingredientes de excelente qualidade com potencial para se tornar alternativas ao uso em diversas formulações alimentícias, inclusive aquelas que atendam aos consumidores de dietas restritivas.

Palavras-chave: microencapsulação, óleo, cupuaçu e liofilização.

ABSTRACT

The present work aimed to characterize the emulsifying performance of pea protein in oil extracted from cupuaçu seeds, as well as its impact on the nutritional profile at different temperatures. Initially, the physicochemical characterization of the oil and protein concentrate was carried out. The seeds were acquired from small producers in the city of Parintins, after the pulping process of the fruits. Subsequently, in the laboratory, the preparation of the emulsions, lyophilization process, characterization of the microcapsules was carried out through a completely randomized design (5x4), using gum arabic with pea protein as wall material on the following responses: pH, titratable acidity, moisture, peroxide index and fatty acids. From the analyzed results, the pH averages varied between 6.25 and 6.67. The acidity values varied between 0.52 and 1.20 indicating that the temperature did not influence the acidity of the oil, in addition to being within the standards of the legislation (up to 4 mgKOH/g). The values of the average humidity varied between 3.6850 and 4.5425, showing no significant difference between treatments. The peroxide index values remained below what the legislation determines (up to 15 meq/Kg) during the analyzed weeks, indicating that the treatments remained stable regardless of the degree of temperature. Regarding the microencapsulated fatty acids, the treatments did not show differences over the analyzed weeks, and the initial results were similar to those obtained in the first and sixth weeks of storage. It is concluded that the technique of microencapsulation of cupuaçu seed oil with pea protein and arabic gum is possible. In addition, the present results indicate that the treatments submitted to different temperatures (0°C, 60°C, 70°C, 80°C and 90°C) did not present significant differences, indicating that they did not cause damage to the original product and that both in natura and encapsulated oil can be characterized as excellent quality ingredients with the potential to become alternatives for use in various food formulations, including those that meet consumers on restrictive diets.

Keywords: microencapsulation, oil, cupuaçu and lyophilization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização geográfica do INPA V8.....	22
Figura 2. Fluxograma do processamento do fruto do cupuaçu.....	23
Figura 3. Preparo da Amostra.....	23
Figura 4. Extração do óleo.....	24
Figura 5. Morfologia das microcápsulas T1.....	42
Figura 6. Morfologia das microcápsulas T2.....	42
Figura 7. Morfologia das microcápsulas T3.....	43
Figura 8. Morfologia das microcápsulas T4.....	43
Figura 9. Morfologia das microcápsulas T5.....	44
Figura 10. Média dos tratamentos sobre pH.....	45
Figura 11. Média dos tratamentos sobre acidez.....	46
Figura 12. Média dos tratamentos sobre atividade de água.....	47
Figura 13. Média dos tratamentos sobre umidade.....	48
Figura 14. Média dos tratamentos sobre índice de peróxido.....	49
Figura 15. Cromatograma do óleo in natura da semente do cupuaçu.....	50
Figura 16. Cromatograma do tratamento 1- semana 1.....	53
Figura 17. Cromatograma do tratamento 2- semana 1.....	53
Figura 18. Cromatograma do tratamento 3- semana 1.....	54
Figura 19. Cromatograma do tratamento 4- semana 1.....	54
Figura 20. Cromatograma do tratamento 5- semana 1.....	55
Figura 21. Cromatograma do tratamento 1- semana 6.....	55
Figura 22. Cromatograma do tratamento 2- semana 6.....	56
Figura 23. Cromatograma do tratamento 3- semana 6.....	56
Figura 24. Cromatograma do tratamento 4- semana 6.....	57
Figura 25. Cromatograma do tratamento 5- semana 6.....	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição química do chocolate de amêndoas de cupuaçu comparada com as amêndoas de cacau fermentadas, torradas, descascadas e moídas (licor)	16
Tabela 2. Composição centesimal das amêndoas fermentadas e secas de cupuaçu	16
Tabela 3. Descrição das análises da vida de prateleira do óleo in natura e encapsulado	33
Tabela 4. Valores encontrados relacionados a caracterização físico-química do óleo da semente do cupuaçu, concentrado proteico e estabilidade das emulsões.....	37
Tabela 5. Efeito dos tratamentos sobre a cor do óleo da semente do cupuaçu	38
Tabela 6. Média dos tratamentos sobre molhabilidade e higroscopicidade	39
Tabela 7. Média dos tratamentos sobre rendimento e eficiência Média dos tratamentos sobre molhabilidade e higroscopicidade	41
Tabela 8. Ácidos graxos do óleo <i>in natura</i> da semente do cupuaçu e ácidos graxos encontrados na 1 ^o semana e 6 ^o semana.....	52

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

aw: atividade de água

UR: umidade relativa

mm: milímetros

PE: Proteína de ervilha

mL: mililitro

rpm: rotação por minuto

cm: centímetros

µmHg: micrómetro de mercúrio

µm: micrómetro

Sumário

1. INTRODUÇÃO	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1. Caracterização agronômica e nutricional da Cupuaçu	15
2.2. Óleo da semente do Cupuaçu	17
2.3. Microencapsulação	18
2.4. Proteína de ervilha	19
2.5. Liofilização.....	20
3. OBJETIVOS	21
3.1. Objetivo Geral	21
3.2. Objetivos Específicos	21
4. MATERIAL E MÉTODOS	22
4.1. Local de estudo	22
4.2. Processamento do fruto de Cupuaçu	22
4.3. Extração do óleo	24
4.4. Caracterização físico-química do óleo	24
4.4.1. Determinação do índice de acidez titulável	25
4.4.2. Determinação da densidade relativa.....	25
4.4.3. Determinação do índice de peróxido	26
4.4.4. Ácido graxo... ..	26
4.5. Concentrado proteico.....	27
4.5.1. Determinação do teor Proteico	27
4.5.2. Capacidade de absorção de água e óleo	28
4.5.3. Solubilidade em água	29
4.6. Preparo das emulsões.....	30
4.6.1. Análise de estabilidade das emulsões.....	30
4.7. Preparação e otimização de microcápsulas.....	30
4.8. Caracterização das microcápsulas.....	31
4.8.1. Análise de cor.....	31
4.8.2. Molhabilidade	31
4.8.3. Higroscopicidade	31
4.8.4. Eficiência do encapsulamento	32
4.8.5. Morfologia.....	32

4.9. Caracterização e estabilidade das microcápsulas.....	32
4.9.1. Análise de pH	33
4.9.2. Atividade de água.....	33
4.9.3. Teor de umidade	33
4.9.4. Determinação da acidez titulavel e índice de peróxidos.....	34
4.9.5. Ácidos graxos.....	34
5. Análises Estatísticas	34
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
6.1. Caracterização físico-química do óleo, Concentrado Proteico, e Estabilidade das Emulsões... ..	35
6.2. Caracterização das microcápsulas.....	38
6.2.1. Efeito dos tratamentos sobre cor.....	38
6.2.2. Efeito dos tratamentos sobre molhabilidade e higroscopicidade.....	39
6.2.3. Efeito dos tratamentos sobre rendimento e eficiência	40
6.2.4. Morfologia das microcápsulas	42
6.3. Caracterização físico-química e estabilidade das microcápsulas.....	44
6.3.1. Efeito dos tratamentos e estabilidade sobre pH e acidez.....	44
6.3.2. Efeito dos tratamentos e estabilidade sobre atividade de água e umidade.....	46
6.3.3. Efeito dos tratamentos e estabilidade sobre índice de peróxido	48
6.3.4. Efeito dos tratamentos e estabilidade sobre os ácidos graxos.....	50
7. CONCLUSÃO	58
8. Referências bibliográficas	59
9. Anexos.....	68

1. INTRODUÇÃO

O estado do Amazonas apresenta uma enorme biodiversidade biológica de plantas com potencial oleaginoso que podem ser aproveitadas e dentre as frutas com esse potencial, destaca-se o Cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) especialmente pelas características do seu aroma, sabor e potencial de utilização agroindustrial. No Brasil, conforme os estudos de Beltrão e Oliveira (2007); Mobarak *et al.* (2014) e Santos (2021) as principais aplicações a partir do aproveitamento das oleaginosas são como lubrificantes para uso em correntes de motosserras, graxas, aplicações marítimas, óleo de dois tempos, além de serem usados por indústrias alimentícias e farmacêuticas.

O cupuaçuzeiro é uma árvore típica da região amazônica, cultivada nos estados do Pará, Rondônia, Acre, Maranhão, além do Amazonas, sendo uma das melhores frutíferas e promissoras da região. A parte do fruto frequentemente utilizada pela indústria é a polpa e as sementes que constituem cerca de 20% do volume do fruto apresentam alto valor nutritivo, entretanto, em grande parte do beneficiamento as mesmas são descartadas.

Conforme os estudos de Luccas (2001) e Marchese (2002) as sementes são compostas por uma gordura muito semelhante a manteiga do cacau, apresentando um fino e agradável aroma de similaridade ao do chocolate após serem fermentadas, secas e torradas.

As sementes de cupuaçu por conterem boas concentrações de proteína (38,7 kDa), podem ser utilizadas não somente para a produção de um produto como o chocolate, mas também originar um alimento alternativo com boas qualidades nutricionais. De acordo com os achados de Lopes (2000) o valor biológico das amêndoas oriundas do cupuaçu é superior as encontradas no cacau, onde o mesmo sugere que novos produtos à base dessas sementes sejam criados e testados visando a comercialização.

Para Carlos *et al.* (2019) os consumidores nos dias atuais estão cada vez mais exigentes e nesse contexto estão buscando adotar um estilo de vida mais saudável. Dessa forma, a indústria vem buscando e estudando formas de incorporar novos ingredientes que sejam mais saudáveis e auxiliem na redução calórica proveniente de fontes de gordura e açúcares.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Caracterização agrônômica e nutricional do Cupuaçu

O cupuaçuzeiro é uma árvore pertencente ao reino Plantae, da divisão Magnoliophyta, classe Magnoliopsida, ordem Malvales, família Malvaceae, do gênero *Theobroma* (DUCKE, 1953). Segundo Gondim *et al.* (2001) e Martim (2012) o nome cupuaçu é de origem indígena da língua Tupi, kupu= parecido com o cacau, uasu= grande e as cultivares popularmente conhecidas são denominadas de cupuaçu redondo (frutas com extremidades arredondadas), cupuaçu mamorana (frutas com extremidades alongadas) e cupuaçu sem sementes (sem caroço). De acordo com os estudos de Venturieri e Aguiar (1988), o cupuaçuzeiro além de estar difundido em toda a extensão da bacia Amazônica, pode também ser encontrado em outros países como Colômbia, Equador, Venezuela e Costa Rica. O cupuaçuzeiro pode se adaptar à alta umidade, com temperaturas que variam entre 24°C e 28°C, umidade relativa de 64% a 93% e precipitações anuais de 1900 a 3100mm (Venturieri, 1993). O fruto é composto por casca lisa, de cor verde recoberta de pelos marrons, polpa tem sabor ácido de coloração creme e sementes que variam entre 20 e 50 unidades com peso em média de 1,5 kg (LORENZI, 2002). Para Martin (2013) o cupuaçu pode atingir até 15 metros de altura, podendo ser plantado em consorciamento com outras espécies frutíferas ou madeiráveis em pequenas propriedades colaborando com a renda dos produtores. Conforme os estudos de Souza (2007), a árvore de cupuaçu tem seu desenvolvimento melhor expressado em condições de temperatura média de 21 a 27 °C, UR 77% a 88% com volume pluviométrico de 1.900 a 3.100 mm ao ano.

Souza (2007) e Gondim *et al.* (2001) descrevem que o início de produção do cupuaçu ocorre após os 18 a 24 meses, sendo desejável que a maturação do fruto aconteça de forma completa na árvore. A colheita ocorre após os frutos maduros caírem exalando um cheiro característico, ressaltando que quanto menor for o tempo transcorrido entre a queda e coleta, a chance de contaminação também será menor. Alfaia e Ayres (2004) relata que o cultivo do cupuaçu na região Amazônica tem grande importância econômica e social, apresentando grande potencial de produção e aplicações. Segundo Vriesmann *et al.* (2010) o fruto do cupuaçu contém uma gama de nutrientes e micronutrientes essenciais como: minerais, fibras, vitaminas e diversos

compostos fenólicos, tornando-se assim uma boa alternativa para a indústria de alimentos devido a boa quantidade de componentes bioativos. Além disso, a casca do cupuaçu apresenta razoáveis teores de potássio, ferro e manganês, podendo ser utilizada na forma de adubos orgânicos (MARTIM, 2013).

Para Cuatrecasas (1964) as sementes do cupuaçu são ótima fonte matéria-prima para a elaboração de chocolate branco de fina qualidade apresentando em média teor amido (15%), proteína (15%) e gordura (50%). Venturieri e Aguiar (1988), estudando a composição do chocolate caseiro após receberem os mesmos tratamentos quando comparada as amêndoas do cacau, encontraram os resultados apresentados na tabela 1.

Composição	Chocolate de cupuaçu	Licor de cacau
Umidade g/100g	2,7	2
Proteína g/100g	13,1	10,8
Gordura g/100g	58,5	55
Cinzas g/100g	2,4	2,68
Carboidratos g/100g	23,3	8,9
Energia cal./100g	672,1	573,8
Zinco mg/ g/100g	36,6	
Cálcio mg/100g	26	
Ferro mg/100g	6,73	

Tabela 1. Composição química do chocolate de amêndoas de cupuaçu comparada com as amêndoas de cacau fermentadas, torradas, descascadas e moídas (licor).

A tabela 2 apresenta a composição centesimal das amêndoas fermentadas e secas de cupuaçu conforme os estudos de Lopes (2000) e Marietto (2001).

Compostos (% em base seca)	Lopes (2000)	Marietto (2001)
Umidade (%)	5,35	4,69
Proteína (%)	9,8	9,76
Gordura (%)	63,13	60,25
Fibras (%)	3,31	3,44
Cinzas (%)	2,32	2,26
CHO e outros componentes	16,9	19,6

Tabela 2 - Composição centesimal das amêndoas fermentadas e secas de cupuaçu.

2.2. Óleo da semente do Cupuaçu

O homem ingere o percentual lipídico através de sua dieta por meio de fontes vegetais (ex: óleos de sementes) e animais (ex: tecido adiposo ou leite). No caso dos vegetais, os lipídeos são estocados na forma de trigliceróis e esses óleos contêm quantidade variável de compostos bioativos. As sementes do cupuaçu compõem cerca de 20% do peso do fruto e vêm despertando o interesse de pesquisadores para o seu aproveitamento industrial devido as suas potencialidades. Estudos relacionados ao óleo da semente do fruto do cupuaçu de acordo com Lopéz (2015) estão mais voltados a indústria de cosméticos em forma de creme para a pele, o que vem favorecendo o aparecimento de novas agroindústrias com geração de novos empregos diretos e indiretos.

De acordo com Homma (2001), a manteiga extraída das sementes do cupuaçu possui em média 45% de lipídeo com qualidade superior a “manteiga” do cacau” e tal óleo apresenta uma composição equilibrada de ácidos graxos saturados e insaturados. Conforme os estudos de Gurr (1984) os ácidos graxos encontrados, predominantemente, nos óleos vegetais comerciais são o palmítico, esteárico, oleico e linoleico. Para Chlebarov (1990); Muller *et al.* (1995) o óleo da semente do cupuaçu possui alta capacidade de absorver água, maior que alguns esteróis de origem animal e vegetal e devido a isso pode auxiliar na estabilidade das emulsões que pode ser atribuído as pontes de hidrogênio formadas entre as moléculas de água e os fitoesteróis. Por conta disso, se torna essencial na área cosmética, pois proporciona maciez e suavidade a epiderme, além de recuperar a umidade e elasticidade natural da pele de pessoas que apresentam peles secas e maltratadas. Além dessas qualidades, o óleo da semente de cupuaçu tem sido empregado como base lipídica em preparação de Nanopartículas Lipídicas Sólidas (NLS), pelo fato de apresentar características físico-químicas e biocompatibilidade na aquisição para carreadores fármacos de uso tópico (Santos *et al.*, 2012).

Inicialmente, as NLS foram desenvolvidas em 1991, como um sistema alternativo de encapsulamento e mais recentemente são aplicadas no transporte de fármacos ou em substâncias de interesse clínico, terapêutico, cosmético e alimentar devido a sua eficiência, já que os tratamentos convencionais nem sempre atendem a esses requisitos (Bonifácio *et al.*, 2014).

2.3. Microencapsulação

A encapsulação é uma técnica de empacotamento de partículas (ex: compostos de sabor, pigmentos, acidulantes, nutrientes, enzimas, conservantes) em cápsulas que podem ser comestíveis (Turchiuli e Dumoulin, 2019). Conforme os estudos de Jackson e Lee (1991); Azeredo (2008) a técnica de microencapsulação tem por finalidade transformar o produto líquido em material sólido de maneira que facilite o uso pelo manipulador, facilitar o transporte e formulações.

Conforme Depypere *et al.* (2003) e Arriola (2017) a encapsulação se torna uma técnica importante e objetiva evitar reações prematuras de um substrato, mascarar compostos de sabor indesejável. Além disso, promove a liberação controlada do ativo encapsulado, reduz a toxicidade, volatilidade de líquidos, serve também como proteção de luminosidade, umidade, calor e ajuda a aumentar a vida de prateleira. De acordo com F. Gibbs (1999), o material encapsulado é denominado de recheio ou pode ser chamado de núcleo, e o material que forma a cápsula, é chamado de encapsulante, cobertura ou parede. O material encapsulado pode ter dimensões que podem variar entre micrometro até milímetros e podem também apresentar formas diferenciadas conforme a técnica empregada para sua obtenção. As cápsulas podem ser classificadas por padrão segundo o tamanho que pode ser encontrada em 3 categorias: macro- (>5000 m), micro- (0,2-5000 m) e nanocápsulas (<0,2 m) (AZEREDO, 2008).

Para a obtenção de resultados satisfatórios, Alexander e King (1985); Shahidi e Han (1993) relatam que a microencapsulação deve atender algumas etapas como a escolha do material apropriado que irá ser encapsulado, preparo adequado das emulsões que é composta por solução do material de parede mais o óleo, além da homogeneização completa da emulsão e por fim a secagem da emulsão. Segundo Costa *et al.* (2020) hidrocoloides de goma vegetal, amidos modificados, gelatina, lipídeos, dextrinas carboidratos, emulsificante são os mais usados na microencapsulação. Segundo Thies (1994) existem algumas propriedades das microcápsulas que são importantes para sua caracterização sendo elas: tamanho e distribuição do tamanho das partículas, composição da parede e do recheio, rendimento e atividade do encapsulado.

2.4 Proteína de ervilha

As proteínas de origem vegetal conforme Członka *et al.* (2018) despertaram bastante interesse da indústria alimentícia no começo do século XXI como um substituto alternativo para proteínas com origem animal, por serem menos onerosas e conterem propriedades nutritivas e funcionais. As sementes de ervilhas possuem alto teor de proteínas e os ingredientes que possuem na sua composição se tornam atraentes para a indústria alimentícia devido ao valor nutricional e também pelo fato de apresentarem baixo teor de alergenicidade (CHEN *et al.*, 2019; BARAC *et al.*, 2010).

Corroborando Tsai e She (2006); Žilić *et al.* (2012) o grupo de proteínas mais encontrados são as globulinas, albuminas, glutelinas e estão sempre associadas com o benefício da saúde por realizarem atividades antioxidantes e anticancerígena. De acordo com Carmo *et al.* (2016) em seus estudos envolvendo a proteína de ervilha em associação com alto conteúdo de lipídeos, sugere que a mesma pode ser empregada como uma estratégia para inibir a atividade da lipase e, portanto, reduzir a absorção de triglicerídeos para o controle da obesidade.

Segundo os estudos de Raymundo *et al.* (2005) a proteína de ervilha apresenta boa capacidade de formação de gel e também característica emulsificante. Para Liu *et al.* (2010), as proteínas de ervilha quando são associadas a carboidratos ocorre uma melhora na solubilidade, aumento na formação de espuma e dessa forma tornando a emulsão mais estável com melhor distribuição e aumento na eficiência na microencapsulação. Além disso, compostos bioativos também podem ser microencapsulados de forma positiva e por este fato depois do trigo e soja tornou-se a proteína mais estudada na atualidade.

Nesse contexto, alguns estudos envolvendo diferentes combinações usando a PE Pierucci *et al.* (2007); (Costa *et al.*, 2015) e Jansen-Alves *et al.* (2019); usando a técnica de spray-drying para encapsulação, obtiveram elevada eficiência na encapsulação, assim como Bittencourt *et al.* (2013) usando micropartículas à base de PE contendo sulfato ferroso observou uma melhora nas características sensoriais e de biodisponibilidade do ferro.

2.5. Liofilização

O termo “liófilo” segundo os estudos de Baruffaldi e Oliveira (1998) significa amigo do solvente, e por conta disso se define com segurança as propriedades dos produtos que são liofilizados, sendo altamente higroscópicos e de fácil dissolução em meio aquoso. O processo de Liofilização descrito por Azeredo (2008); Suave *et al.* (2006) é um método baseado em uma desidratação por sublimação. Para Santos *et al.* (2019) esta técnica envolve a redução dos níveis de água contido nas amostras até que alcance um nível adequado, além de ser aplicada para garantir a preservação da qualidade físico-química do produto a ser armazenado durante um longo período de tempo.

A liofilização é considerada como sendo um dos melhores métodos para o processo de microencapsulação. Tal método consiste na etapa de congelamento, conforme Gonçalves (2015) em temperatura abaixo de -18 °C para que toda água existente fique no estado sólido para não ocasionar a formação de espuma no momento em que for realizado a aplicação do vácuo. Após essa etapa, segundo Fellows (2009); (Garcia, 2009) no liofilizador ocorre o processo de sublimação onde o alimento é inserido em uma câmara ao qual é aplicado vácuo fazendo com que a água evapore diretamente sem passar pelo estado líquido. Nesta fase, segundo Charm (1971) cerca de 80% - 90% da umidade presente é eliminada sendo acumulada no condensador. Por fim, a etapa de dessorção que vem eliminar os 10% de água e que ao final irá resultar num produto com cerca de 2% de umidade valor suficiente que impede a ação bacteriana (CHARM, 1971; DESOBRY *et al.*, 1997; MARQUES, 2008; VIVAS *et al.*, 2019). O processo de liofilização gera produtos de excelente qualidade, pelo fato de minimizar as alterações associadas a temperaturas elevadas possibilitando assim a manutenção das propriedades organolépticas e nutricionais contida no produto (LOKSUWAN,2007).

Desobry *et al.* (1997), observaram que o processo de encapsulação por liofilização apresentou menor degradação do composto (β - caroteno) que foi em torno de 8%, quando comparado com outras técnicas (atomização 11% e secagem por tambor 14%). Sendo, portanto, uma técnica ideal para avaliar a propriedades funcionais relacionadas à composição química de frutos.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo Geral

- Caracterizar o desempenho emulsificante da proteína de ervilha em óleo extraído da semente do cupuaçu.

3.2. Objetivos Específicos

- Avaliar o impacto da formação do emulsificante, bem como sua estabilidade
- Avaliar a retenção e as características do perfil nutricional das emulsões do óleo do cupuaçu.
- Caracterizar as microcápsulas obtidas pela técnica da emulsificação/gelificação.
- Avaliar a influência da microencapsulação sobre o perfil nutricional do óleo do Cupuaçu.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Local de estudo

As sementes do fruto do cupuaçu tiveram como procedência coletas que foram realizadas na cidade de Parintins Latitude: -2.62835, Longitude: -56.7365, 2° 37' 42" Sul, 56° 44' 11" Oeste, distando cerca de 370 km da capital do estado entre os meses de fevereiro e março. O processamento do fruto, análises físico-químicas e algumas técnicas envolvendo o Cupuaçu foram realizados no Laboratório de Físico-Química de Alimentos (LFQA) Latitude: -3.092028, Longitude: -59.993534 (Figura 1) do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA/MCTI) localizado na Av. André Araújo, 2936, Aleixo, Manaus, Amazonas, Brasil.



Figura 1. Localização geográfica do INPA V8.

Fonte: Google Earth

4.2. Processamento do fruto do cupuaçu

Foi adquirida a quantidade de 30 kg de frutos do Cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) oriundos da industrialização da fruta, ou seja, dos resíduos que seriam descartados pelos produtores e processadores de polpa para a realização das atividades conforme o fluxograma (figura 2). Logo após a despolpa, as sementes do cupuaçu foram postas para fermentar por 5 dias em caixas de madeira contendo orifícios sendo revolvidas 2 vezes ao dia. Após a fermentação, as sementes foram secadas ao sol por 3 dias e depois levadas a estufa a 150 °C para completar o processo de secagem total. Feito isso, as sementes foram trituradas e levadas para a extração do óleo constituindo a matéria-prima como mostra a figura 3.

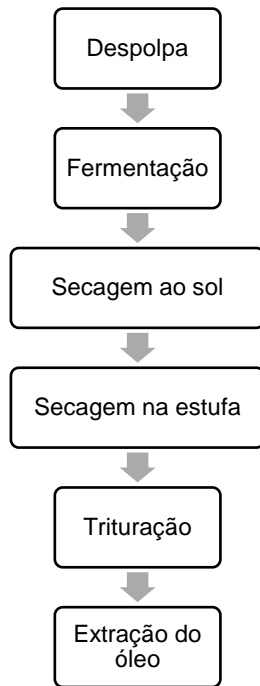


Figura 2. Fluxograma do processamento do fruto do cupuaçu.
Fonte: Tavares, 2022.



Figura 3. Preparo da Amostra. A) Pós despolpa do fruto e secagem das sementes ao sol. B) Secagem em estufa à 105°C. C) Trituração das sementes.
Fonte: Tavares, 2021.

4.3 Extração do óleo

O óleo da semente do cupuaçu foi obtido através da hidrodestilação em aparelho graduado Clevenger, usando-se 500 g de amostra, em 5000 mL de água destilada, em temperatura máxima de 100 °C até atingir a fervura, reduzindo-se posteriormente para 75 °C, por um período de aproximadamente 2 h, variando de acordo com a espécie em questão.

Ao final, os óleos essenciais foram transferidos para um béquer afim de facilitar a manipulação, coletados com uma pipeta, centrifugados com remoção do sobrenadante e armazenados em tubos (50 mL) protegidos da luz com papel alumínio.

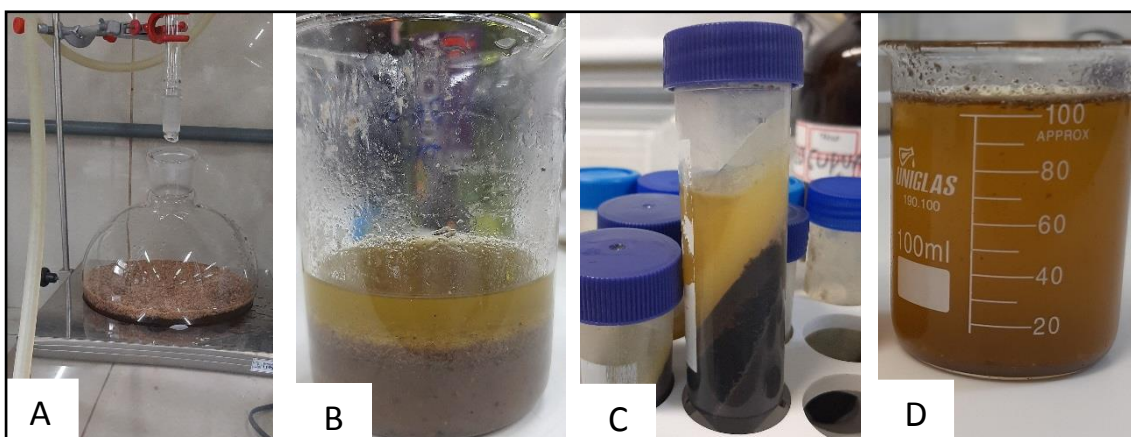


Figura 4. Extração do óleo. A) Hidrodestilação. B) Transferência e coleta do óleo. C) Pós centrifugação. D) Óleo da semente do cupuaçu.
Fonte: Tavares, 2021.

4.4 Caracterização físico-química do óleo

As determinações realizadas em análise de óleos e gorduras são geralmente denominadas de índices, que expressam as propriedades físico-químicas destes. No presente estudo, conforme Aoac (2016) foi realizada a determinação do índice de peróxidos e de acidez titulável, além da determinação da densidade relativa (métodos volumétricos). Todos os ensaios foram realizados em triplicata.

4.4.1. Determinação do índice de acidez titulável

Pesou-se 2 g do óleo da semente do cupuaçu em frasco Erlenmeyer de 125 mL. Adicionou-se 25 mL da solução de éter:álcool (2:1) neutra. Posteriormente, com a adição de 2 gotas de solução de fenolftaleína, foi realizada a titulação com solução de hidróxido de sódio 0,01 M padronizada, até o surgimento da coloração rósea conforme Aoac (2016). A coloração persistiu por mais de 30 segundos. O índice de acidez titulável foi determinado pela equação:

$$\text{Índice de Acidez} = (V \times F \times 5,610) / P$$

Onde:

V = nº de mL de solução de hidróxido de sódio 0,1 M gasto na titulação;

F = fator da solução de hidróxido de sódio;

P = nº de g da amostra.

4.4.2 Determinação da densidade relativa

Para a determinação da densidade relativa foi utilizado picnômetro de vidro limpo e seco conforme Aoac (2016). Primeiramente, foi pesado o picnômetro vazio, em seguida pesou-se com água destilada e por fim com óleo da semente do cupuaçu. O valor da densidade da amostra foi obtido através da equação abaixo:

$$\text{Densidade Relativa} = M2 - M0 / M1 - M0$$

Onde:

M0= peso do picnômetro vazio;

M1= peso do picnômetro com água;

M2= peso do picnômetro com óleo.

4.4.3 Determinação do índice de peróxidos

Pesou-se 5 g do óleo da semente do cupuaçu em frasco Erlenmeyer de 125 mL. Adicionou-se 30 mL da solução de ácido acético-clorofórmio (3:2) e agitou-se a solução até a dissolução total do óleo. Foram adicionados 0,5 mL de solução saturada de iodeto de potássio e toda a mistura foi colocada em repouso, ao abrigo da luz por aproximadamente um minuto. Acrescentou-se 30 mL de água destilada, titulou-se esta solução com solução de tiosulfato de sódio 0,01 N em constante agitação, até que a coloração amarela tivesse quase desaparecida conforme Aoac (2016). Adicionou-se 0,5 mL de solução indicadora de amido e continuou-se a titulação até o completo desaparecimento da coloração azul. Foi realizada uma prova em branco nas mesmas condições de análise. O índice de peróxidos foi calculado pela equação abaixo:

$$\text{Índice de peróxidos} = ((A-B) \times N \times F \times 1000) / P$$

Onde:

A = nº de mL da solução de tiosulfato de sódio 0,1 (ou 0,01 N) gasto na titulação da amostra;

B = nº de mL da solução de tiosulfato de sódio 0,1 (ou 0,01 N) gasto na titulação do branco;

N = normalidade da solução de tiosulfato de sódio;

F = fator da solução de tiosulfato de sódio;

P = nº de g da amostra.

4.4.4 Ácidos Graxos

Os lipídios totais foram extraídos e identificados de acordo com os protocolos de Soxhlet, com *n*- Hexano (faixa de ebulição 68-70°C), seguida de sua remoção por evaporação conforme lupac (1992). Os ácidos graxos no óleo foram convertidos em ésteres metílicos de ácidos graxos e, em seguida, analisados usando cromatógrafo a gás por Espectrômetro de Massa / GC-2010 PLUS (Kyoto, Japão) modelo Shimadzu (GC) equipado com um detector de ionização de chama. Os compostos foram separados em uma coluna de sílica fundida capilar RTxR-5 de 30 m com um diâmetro interno de 0,25 mm e

uma espessura de filme de 0,25 µm. As condições de operação serão as seguintes: temperatura da coluna programada, 80–220 °C (5 °C/min); temperatura do injetor, 230 °C; temperatura do detector, 240 °C; gás portador, hidrogênio; velocidade linear do gás, 40 cm/s; proporção da amostra, 1:50. Os ácidos graxos foram identificados pela comparação dos tempos de retenção com os padrões e quantificados pela normalização das áreas dos picos. Os padrões de ácidos graxos utilizados (Sigma Supelco) foram ácido hexanóico (C6: 0), ácido octanóico (C8: 0), ácido decanóico (C10: 0), ácido undecanóico (C11: 0), ácido dodecanóico (C12: 0), tetradecanóico ácido (C14: 0), ácido cis-9-tetradecenóico (C14: 1), ácido hexadecanóico (C16: 0), ácido cis-9-hexadecenóico (C16: 1), ácido heptadecanóico ácido (C17: 0), 8- ácido heptadecanóico (C17: 1), ácido octadecanóico (C18: 0), ácido trans-9-octadecenóico (C18: 1), ácido cis-9-octadecenóico (C18: 1), ácido cis-9, trans-11-octadecaenóico ácido (C18: 2), ácido cis-9, cis-12-octadecadienóico (C18: 2), ácido 9,12,15-octadecatrienóico (C18: 3), ácido 6,9,12-octadecatrienóico (C18: 3) ácido ácido eicosanóico (C20: 0), ácido cis-9-eicosenóico (C20: 1), ácido 8,11-ácido eicosanóide (C20: 2), ácido 5,8,11-eicosatrienóico (C20: 3), docosanóico ácido (C22: 0), ácido 5,8,11,14,17-eicosapentaenóico (C20: 5), ácido cis-13-docenósico (C22: 1), ácido tetracosanóico (C24: 0), cis-15-tetracosenóico (C24: 1).

4.5. Concentrado proteico

O concentrado proteico de ervilha foi adquirido por compra virtual da empresa Growth Supplements Produtos Alimentícios Eireli (www.gsuplementos.com.br). Foram realizadas análises para caracterizar o concentrado proteico. Todos os ensaios foram realizados em triplicata.

4.5.1. Determinação do teor proteico

A determinação de proteínas totais foi realizada pelo método de *Kjeldahl*, pesando 1 g dos concentrados proteicos em papel de seda. Transferiu-se este para um tubo digestor, adicionou-se 5 mL de ácido sulfúrico e 2 g da mistura

catalítica (94 g de sulfato de potássio e 5 g de sulfato de cobre). Os tubos foram levados ao bloco digestor em capela, até que a solução se tornasse azul esverdeada. Deixou-se esfriar e posteriormente adicionou-se 10 mL de água destilada. O tubo foi levado ao destilador automático, onde se neutralizou a solução com 15 mL de hidróxido de sódio 50%. O fruto da destilação foi recolhido em Erlenmeyer com 5 mL de solução de ácido bórico 2% e o indicador misto (vermelho de metila e verde de bromocresol). Titulou-se a solução com ácido clorídrico 0,02 N, até a coloração rósea. O mesmo processo foi realizado para uma prova em branco. Os valores para determinação de nitrogênio das amostras foram expressos em m/m de acordo com a equação abaixo:

$$\text{Proteínas por cento m/m} = ((V_a - V_b) \times N \times F \times 0,014 \times 100) / P_A$$

Onde:

V_a = Volume de ácido clorídrico gasto na titulação com a amostra;

V_b = Volume de ácido clorídrico gasto na titulação do branco;

N = Normalidade de ácido clorídrico;

F = Fator da solução de ácido clorídrico;

P_A = Peso da amostra.

4.5.2. Capacidade de absorção de água e óleo

Para avaliar a capacidade de absorção de água pesou-se 0,5 g dos concentrados proteicos em tubos graduados e adicionou-se 5 mL de água destilada. Para a capacidade de absorção de óleo pesou-se 0,5 g dos concentrados proteicos em tubos graduados e adicionou-se 3 g de óleo.

Todos os tubos foram deixados em repouso por 30 minutos a temperatura ambiente, em seguida foram centrifugados por 30 minutos a 2600 rpm. A água e o óleo retidos após a centrifugação foram considerados absorvidos. Separou-se o sobrenadante e pesou-se apenas o sedimento do fundo conforme Glória e Regitano-D'arce (2000). A capacidade de absorção de água (CAA) foi calculada pela expressão:

$$\% \text{ CAA} = (\text{PS} / \text{PA}) \times 100$$

Onde:

PS = Peso do sobrenadante em gramas;

PA = Peso da amostra seca em gramas.

A capacidade de absorção em óleo (CAO) foi calculada pela expressão:

$$\% \text{ CAO} = (\text{PS} / \text{PA}) \times 100$$

Onde:

PS = Peso do sobrenadante em gramas;

PA = Peso da amostra seca em gramas.

4.5.3. Solubilidade em água

A solubilidade em água foi avaliada de acordo com o método proposto por Fernandes *et al.* (2014). Os pós foram pesados (1 g) e agitados em 25 mL de água destilada por 5 minutos, utilizando um agitador magnético. A solução foi centrifugada a 760 x g durante 10 min (Z-200, Hermle, Wehingen, Alemanha). Uma alíquota de 20 mL do sobrenadante foi transferida para uma placa de Petri previamente pesada, e submetida à secagem em estufa a 105 °C por 6 horas. A solubilidade foi calculada como a porcentagem de sobrenadante seco em relação à quantidade de pó inicial.

$$\% \text{ solubilidade} = (\text{P2} / \text{P1}) \times 100$$

Onde:

P2 = Quantidade de pó final

P1 = Quantidade de pó inicial.

4.6. Preparo das emulsões

Inicialmente, 225 g de goma arábica e 150 g de proteína de ervilha foram diluídos em 1050 mL de água destilada. Esta mistura permaneceu em repouso por 12 horas em ambiente refrigerado (aproximadamente -10° C). Posteriormente, foram adicionados 75 g de óleo e as misturas foram homogeneizadas em Homogeneizador Digital Ultra-Turrax® por 5 minutos a 10.000 rpm. As proporções de material de parede e do óleo foram utilizadas de acordo com adaptações dos trabalhos de Azeredo (2008). Foram empregados 5 tratamentos (0 °C, 60 °C, 70 °C, 80 °C e 90 °C). Para cada tratamento foi usada a quantidade equivalente a 5 g de óleo da semente do cupuaçu, 10 g de proteína de ervilha, 15 g de goma arábica e 70 mL de água.

4.6.1. Análise de estabilidade das emulsões

Para avaliar a estabilidade da emulsão utilizou-se o protocolo de Sarkar e Singhal (2011) com algumas modificações. Imediatamente após o preparo das emulsões, alíquotas de 25 mL de cada amostra foram transferidas para provetas graduadas de 25 mL, seladas, estocadas em local plano e longe de vibrações, a temperatura ambiente por 7 dias. A estabilidade foi medida através da equação abaixo:

$$\text{Estabilidade da Emulsão (\%)} = (1 - (V / V_t)) * 100$$

Onde:

V = volume de separação de fase;

V_t = o volume total da solução.

4.7. Preparação e otimização de microcápsulas

As microcápsulas de óleo de cupuaçu foram preparadas pelo método de liofilização onde foram produzidas microcápsulas a partir de 20 formulações, como definidas no delineamento experimental inteiramente casualizado 5x4. As polpas foram processadas e congeladas em bandejas (inox) em camadas finas (0,5 cm) e dispostas em ultrafreezer a -50 °C, durante 24 horas.

As amostras foram dispostas na torre do liofilizador, modelo LS 3000 da marca Terroni, acoplado a bomba de vácuo durante 48 horas até pressão final de 35 μmHg . Após o término da liofilização foram feitas compressões nas amostras com auxílio de almofariz e pistilo até que as mesmas adquirissem aspecto de pó. Além disso, o rendimento da microencapsulação do óleo da semente do cupuaçu foi calculado pela razão entre o total de pó produzido e quantidade de material seco contido na emulsão.

4.8. Caracterização das microcápsulas

4.8.1. Análise de cor

A cor das amostras foi medida usando um colorímetro (WSF-J, Shanghai Precision & Scientific Instrument Co. Ltd., China) com base em três coordenadas de cor, ou seja, L^* , a^* , b^* em temperatura ambiente. Os valores de cor foram expressos em L^* (altura ou brilho / escuridão), a^* (vermelhidão / esverdeado) e b^* (amarelecimento / azulado).

4.8.2. Molhabilidade

A molhabilidade do pó produzido a partir da liofilização das emulsões, foi realizada pelo método descrito por Fuchs *et al.* (2006) com algumas adaptações. Onde se pesou 1 g de cada pó, que foi polvilhado sobre a superfície de 100 mL de água destilada, a temperatura ambiente e sem agitação. O tempo necessário para as partículas do pó desaparecerem da superfície da água foi medido através de um cronômetro digital.

4.8.3. Higroscopicidade

A determinação da higroscopicidade foi feita de acordo com a metodologia descrita por Cai e Corke (2000) com algumas modificações. Cerca de 1 g de amostra foi disposto em um recipiente hermético contendo uma solução saturada de NaCl (umidade relativa de 75,29%). Após uma semana, as amostras foram pesadas e a higroscopicidade foi expressa como a quantidade de umidade absorvida por 100 g de amostra (g/100 g).

4.8.4. Eficiência do encapsulamento

A quantidade de óleo superficial foi quantificada de acordo com o método descrito por Bae e Lee (2008) com algumas modificações. Aproximadamente 1 g dos produtos liofilizados foi misturado a 10 mL de hexano em frascos de vidro com tampa. Estes foram agitados manualmente por 2 minutos, a temperatura ambiente para extração do óleo livre. A mistura foi filtrada em papel Whatman número 1. O pó coletado foi lavado com 10 mL de hexano e exposto ao calor em estufa (60 °C), para evaporação do solvente retido em papel, até alcançar o peso constante. A quantidade de óleo superficial foi expressa pela relação de massa inicial e final, determinada pela equação abaixo:

$$EE\% = ((OT - OS) / OT) \times 100$$

Onde:

EE% = é a eficiência de encapsulação em percentual;

OT = é a quantidade de óleo total em gramas;

OS = é a quantidade de óleo superficial em gramas.

4.8.5. Morfologia

A morfologia da superfície externa das microcápsulas foi avaliada por microscopia óptica utilizando um microscópio acoplado a uma câmera fotográfica (Nikon Eclipse – 200). As amostras de cada formulação foram fixadas em lâminas, recobertas com lamínulas e obtidas as fotomicrografias. Partículas visivelmente aglomeradas foram descartadas.

4.9. Caracterização e estabilidade das microcápsulas

Para aferir a qualidade, os níveis de degradação, além do desempenho dos produtos gerados pela microencapsulação do óleo da semente do cupuaçu, foram realizados testes físico-químicos divididos em um período total de 6 semanas, conforme a tabela 3. As amostras foram armazenadas a temperatura ambiente sob abrigo da luz.

Análises	Tempo de armazenamento em semanas					
	1	2	3	4	5	6
pH	x	x	x	x	x	x
Acidez Titulável	x	x	x	x	x	x
Atividade de Água	x	x	x	x	x	x
Umidade	x	x	x	x	x	x
Índice de Peróxido	x	x	x	x	x	x
Ácido Graxo	x					x

Tabela 3. Descrição das análises da vida de prateleira do óleo *in natura* e encapsulado

4.9.1. Análise de pH

Para determinar o pH do pó, um medidor de pH digital (Mettler FE20, Mettler Toledo, Xangai, China) foi usado segundo metodologia da AOAC (2016). Antes do uso, o medidor de pH foi calibrado com soluções tampão comerciais de pH 7,0 e pH 4,0. Posteriormente foi pesado 2,5 g do material liofilizado em Becker, adicionou-se 25 mL de água destilada e, após a homogeneização foram realizadas as leituras no aparelho.

4.9.2. Atividade de água

A atividade de água (aw) foi medida por leitura direta de, aproximadamente, 1 g de amostra das MEP no equipamento (Aqualab Novasina, Brasil) de acordo com a AOAC (2016).

4.9.3. Teor de umidade

Para o cálculo do teor de umidade, a massa de sólido seco (dos produtos liofilizados) foi levada à estufa a 105 °C por 6 horas em formas de alumínio, previamente taradas, até o peso constante, de acordo com as normas estabelecidas pela AOAC (2016).

4.9.4. Determinação da acidez titulável e índice de peróxidos

Com o intuito de se perceber diferenças significativas que alteram a estabilidade química do óleo da semente do cupuaçu, foram realizadas também nas microcápsulas análises de determinação do índice de peróxido (descrito no item 4.4.1) e de acidez titulável (descrito no item 4.4.2).

4.9.5. Ácido graxos

Os lipídios totais foram extraídos e identificados de acordo com os protocolos de Soxhlet, conforme mencionado no item 4.4.4.

5. Análises Estatísticas

Para a análise de médias e desvio padrão foi utilizada análise de variância (ANOVA), e aplicação do teste de Tukey ($p < 0,05$) entre as médias, utilizando o software Sisvar versão 5.3.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Caracterização físico-química do óleo, Concentrado Proteico e Estabilidade das Emulsões

Quanto à oxidação do óleo, o índice de peróxido encontrado no óleo da semente de cupuaçu foi de 1,55 meq/kg (Tabela 4), similar aos encontrados por Mendonça *et al.* (2020) no óleo da andiroba (*Carapa surinamensis* e *Carapa guianensis*) que foram em torno de 1,44 e 2,26 meq/kg respectivamente. Resultado desigual foi encontrado por Oliveira *et al.* (2021) ao analisar gordura do cupuaçu, que foi superior (11,63 meq/kg) ao encontrado nesse estudo. Esses resultados diferenciados podem estar ligados a colheita, modo de processamento, temperatura, luz e armazenamento que impedem a formação de radicais livres responsáveis pela oxidação. A análise do índice de peróxidos é usada como parâmetro de qualidade para estimar a formação de produtos primários da oxidação em óleos e gorduras. O *Codex Alimentarium Commission* (2009) estabelece para índice de peróxidos para óleos brutos ou prensados a frio o valor máximo de 15 meq/kg. O valor de peróxido do óleo da semente analisada está abaixo desse limite.

O valor encontrado de acidez é mostrado na Tabela 4 e foi menor que os encontrados por Ferreira *et al.* (2009) que foi de $5,47 \pm 0,01$ KOH/g no óleo do tucumã. Para Canuto *et al.* (2010), as farinhas de semente de cupuaçu são menos ácidas do que a polpa do fruto e nesse contexto, conforme sua pesquisa, o teor de acidez titulável encontrado para a polpa de cupuaçu foi de 3,5 mg de ácido cítrico/ 100 g de polpa.

Para o índice de acidez regulamentado pelo *Codex Alimentarium Commission* (2009), o limite estabelecido para óleos e gorduras prensados a frio e não-refinados é de no máximo 4,0 mg de KOH/g. Conforme Moretto (1998) a análise de acidez de um óleo com procedência vegetal é essencial como indicador de qualidade, pois está diretamente ligado as formas de armazenamento, além das condições de extração e de manipulação. Segundo Farhoosh *et al.* (2009), a análise do índice de acidez é um importante parâmetro para se avaliar o estado de conservação de um produto alimentício pelo fato de estar diretamente relacionado com a natureza e qualidade da matéria-prima, pois a acidificação desempenha um papel inibidor no crescimento microbiano.

A densidade relativa do óleo da semente de cupuaçu foi de 0,9 g mL⁻¹ (tabela 4) similar aos encontrados no óleo de babaçu (0,914 g mL⁻¹) por Machado *et al.* (2006), óleo essencial de camomila (0,922 g mL⁻¹) por (Borsato *et al.*, 2008) e óleo essencial da flor e do fruto de *Myrcia guianensis* (Aubl.) DC. (0,901 g mL⁻¹) por Menezes Filho *et al.* (2020).

Os valores encontrados nesta pesquisa voltados ao índice de acidez e índice de peróxido, são indicativos de estarem em um bom estado de conservação do óleo da semente, demonstrando que o processo de extração do óleo não causou muitos danos ligados a oxidação.

Para Lu *et al.* (2020) a proteína de ervilha quando comparada com outras proteínas vegetais, apresenta alta digestibilidade, baixa alergenicidade, baixo custo de produção e alto valor nutricional.

O valor encontrado de proteína bruta para proteína de ervilha foi de 69,09% ±0,0. Segundo Brasil (2005) a Resolução RDC nº 268, de 22 de setembro de 2005, os valores encontrados caracterizam esses produtos como concentrados proteicos.

A capacidade de absorção de água e óleo revelam o grau de hidrofobicidade das moléculas conforme os resultados encontrados, contidos na tabela 4, onde pode-se perceber que houve uma maior absorção de água em relação ao óleo. A capacidade de absorção de água foi equivalente a 365,17% e a capacidade de absorção de óleo foi de 127,51%. Resultado similar foi encontrado por (Oliveira, 2019) ao microencapsular o óleo da castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa*) com concentrados proteicos vegetais.

A proteína de ervilha apresentou baixa solubilidade (<40%) corroborando com Oliveira (2019), o qual relata que a baixa solubilidade pode estar ligada aos diferentes processos de extração que podem modificar as frações solúveis de um concentrado proteico. Labuschagne (2018) testando proteínas vegetais em água fria também encontrou baixa solubilidade. Após aplicação de testes térmicos (Chen *et al.*, 2019) observaram maior solubilidade dos concentrados proteicos, diferente dos resultados encontrados neste estudo.

Caracterização físico-química do óleo	
Análise	%
I.P	1,55 ±0,07
A.T	1,60 ±0,0
D.R	0,90 ±1,23
Caracterização físico-química do concentrado proteico	
Análise	%
P.B	69,09±0,0
C.A.A	365,17 ±1,23
C.A.O	127,51 ±1,0
A.S	30,0 ±0,0
E.E	40,0 ±1,0

Tabela 4. Valores encontrados relacionados a caracterização físico-química do óleo da semente do cupuaçu, concentrado proteico e estabilidade das emulsões.

I.P: Índice de Peróxido; A.T: Acidez Titulável; D.R: Densidade Relativa PB: Proteína Bruta; C.A.A: Capacidade de Absorção de Água; C.A.O: Capacidade de Absorção de Óleo; S.A: Solubilidade em Água; E.E: Estabilidade das Emulsões.

Concentrados usados isoladamente formam emulsões instáveis, o que poderia prejudicar a eficiência de encapsulação, desta forma, fez-se necessário a adição de goma arábica para garantir maior eficiência de encapsulação. Para Rusli *et al.* (2006) é comum a associação de carboidratos e proteínas em processos de microencapsulação, podendo gerar aumento da capacidade emulsificante. Nesse contexto, emulsão com o concentrado proteico de ervilha apresentou $40 \pm 1\%$ de índice de estabilidade similar aos encontrados por Oliveira (2019) ao encapsular o óleo da castanha-do-Brasil que foi de $42 \pm 2\%$. Le Priol *et al.* (2019) ao avaliar o índice de estabilidade de diferentes proteínas em diferentes condições, encontrou um percentual acima de 90% para o isolado proteico de arroz distinto dos valores encontrados supracitados.

Conforme Silva e Soares (1996) e Álvarez *et al.* (2007) os valores podem ser encontrados de forma distinta pois, os resultados podem estar associados ao tempo de aquecimento, temperatura e ambiente de estocagem.

6.2. Caracterização das microcápsulas

6.2.1. Efeito dos tratamentos sobre cor

A tabela 5 apresenta o resultado dos parâmetros de cor para as microcápsulas do óleo do cupuaçu controle e demais tratamentos liofilizados.

Tratamentos	L*	a*	b*
1	84,3100 a	1,4725 a	13,0400 a
2	83,6125 a	1,5575 a	13,0425 a
3	83,4675 a	1,5050 a	13,2825 a
4	84,9500 a	1,4925 a	12,3450 a
5	84,3775 a	1,4850 a	12,6850 a
Cv	1,56	7,91	3,41

Tabela 5. Efeitos dos tratamentos sobre a cor do óleo da semente do cupuaçu.

Médias de tratamentos seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Em relação a luminosidade (L*) das microcápsulas, não houve diferença entre os tratamentos com valores próximos de 100. Dessa forma é possível inferir que as diferentes temperaturas não influenciaram na claridade das amostras analisadas. Em todo os tratamentos, houve predominância da intensidade do vermelho (+a*) não havendo diferença também entre os tratamentos, assim como valores positivos que correspondem a coloração amarela (+b*). Dessa forma, observa-se que a temperatura não interferiu significativamente na coloração das microcápsulas o que era esperado.

De acordo com Stringheta *et al.* (2009) essa tonalidade tem relação com os teores de carotenoides presentes nos frutos, a luteína carotenoide macular é a responsável pela pigmentação amarela, é um potente antioxidante que previne danos causados por radicais livres nos tecidos. Conforme Alves Rodrigues e Shao (2004); Krinsky e Johnson (2005) podem atuar em benéfico de diversas formas como por exemplo, na proteção contra a aterosclerose, a catarata, o câncer e outras doenças. Passos (2013) em seus estudos envolvendo proteína de ervilha relata que no atributo cor não houve diferença significativa entre os produtos testados corroborando com os encontrados nessa pesquisa.

6.2.2. Efeito dos tratamentos sobre molhabilidade e higroscopicidade

A molhabilidade é definida como a capacidade de reidratação de um pó em água. A higroscopicidade é capacidade de absorção de água de um determinado material. Na área alimentícia, esses parâmetros podem influenciar em algumas características que estão ligadas ao revestimento, dispersabilidade e também na solubilidade.

Pelo teste de Tukey é possível observar que para ambas as análises houve diferença significativa em pelo menos um dos valores obtidos. Os tratamentos testemunha (0°C) e tratamento 3 (70°C), comparado aos demais, foi que apresentaram maior resistência ao líquido, conforme observa-se na tabela 6. Isso demonstra que conforme se eleva a temperatura poderá ocorrer diminuição da resistência das partículas em meio líquido, dessa forma ficando mais vulnerável a oxidação.

trat	Molhabilidade (%)	Higroscopicidade (%)
1	23,5000 a	0,127500 ba
2	22,5000 ba	0,125700 ba
3	25,0000 a	0,151275 a
4	18,0000 cb	0,120125 b
5	16,5000 c	0,123575 ba
CV%	10,88	10,95

Tabela 6. Média dos tratamentos sobre molhabilidade e higroscopicidade

Médias de tratamentos seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Resultados diferentes foi encontrado por Oliveira (2019), que obteve valores que oscilaram entre 9,4 e 15,7 min, ao avaliar diferentes proteínas vegetais com goma arábica. Conforme os estudos de Bae e Lee (2008) os tempos elevados podem estar relacionados a exposição de grupos hidrofóbicos na superfície das partículas que podem acontecer durante o processo de liofilização.

Relacionado a higroscopicidade, o tratamento 3 (70°C) foi o que apresentou maior resistência e o tratamento 4 (80°C) apresentou menor grau de resistência quando comparado aos demais, dessa forma aferimos que diferentes temperaturas têm efeito sobre a higroscopicidade das partículas

microencapsuladas, além de disso, os pós gerados a partir da mistura indicam baixa retenção de água. Conforme encontrado, essa baixa higroscopicidade facilita a preservação da cor e dos compostos bioativos.

A baixa higroscopicidade foi observada também em produtos liofilizados por Saikia *et al.* (2015), isto pode ser explicado pelo tamanho das partículas, que em processos de liofilização são ligeiramente maiores que em outros processos. Segundo os estudos de Tonon *et al.* (2012) e (Rezende *et al.*, 2018) quanto maior o tamanho da partícula, menor é a área de superfície exposta, por consequência tem-se menor absorção de água. Ortiz *et al.* (2009) encontraram valores elevados de higroscopicidade em microcápsulas com isolado proteico de soja, distinto do presente estudo. Possivelmente a interação entre o concentrado proteico de ervilha e a goma arábica influenciou na redução da higroscopicidade. Dessa forma, devido à baixa higroscopicidade, as micropartículas são adequadas ao armazenamento conforme os dados encontrados.

6.2.3. Efeito dos tratamentos sobre rendimento e eficiência

O rendimento deste procedimento foi calculado de acordo a relação entre a quantidade de pó obtido ao final do processo e o que foi inserido nas emulsões. O rendimento obtido para as microcápsulas formadas a partir do concentrado de ervilha e goma como demonstrado na tabela 8, bem como através da ANOVA (anexo 9) que não houve diferença significativa ($p > 0,05$) entre os valores de rendimentos gerados por liofilização estando estes acima de 70% demonstrando que a temperatura não influenciou nos resultados. Valores de rendimento alto é característico do método de liofilização, pelo fato de apresentar menores índices de perda dos ingredientes. O processo de secagem de materiais por liofilização conforme Santo *et al.* (2013), possui rendimentos superiores ao processo de secagem por *spray drying*, o que vem a se assemelhar com os valores elevados neste estudo.

trat	Rendimento %	Eficiência%
1	74,5717 a	95,3800 a
2	74,5760 a	94,1875 a
3	73,9683 a	93,1950 a
4	73,8411 a	94,8075 a
5	74,4252 a	94,8625 a
CV%	0,56	1,66

Tabela 7. Média dos tratamentos sobre rendimento e eficiência

Médias de tratamentos seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Jafari *et al.* (2008) citam que a eficiência de encapsulação é um dos parâmetros mais importantes nos processos de microencapsulação, pois é a partir deste parâmetro é que conhecemos a quantidade de material ficou retido no núcleo e o quanto foi perdido no processo.

A eficiência da microencapsulação do óleo do cupuaçu com proteína de ervilha e goma arábica dispostos na tabela 7, variaram entre 93,19% e 95,38% e por meio da análise de variância percebe-se que não houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre os tratamentos (anexo 9).

Esses valores indicam que a temperatura não influenciou na eficiência de encapsulação do óleo da semente de cupuaçu. Ao realizarem a microencapsulação do óleo de girassol com diferentes isolados proteicos por atomização, Le Priol *et al.* (2019) obtiveram para isolado proteico 88% de eficiência de encapsulação inferior dos valores apresentados neste trabalho. Essas diferenças podem estar relacionadas a concentração de proteínas presente na matéria-prima, além do método empregado, que neste estudo foi aplicado a técnica de liofilização para encapsular o óleo da semente do cupuaçu.

Ao avaliarem diferentes trabalhos com proteínas vegetais, Nesterenko *et al.* (2012) salientaram que a eficiência da encapsulação, dentre outras propriedades, pode ser influenciada por alguns parâmetros como técnica de encapsulação, temperatura e concentração do material de parede, além do pH.

6.2.4. Morfologia das Microcápsulas

Observa-se nas imagens abaixo a formação de filme em que as partículas não apresentam uma estrutura definida e com tamanho muito variável.

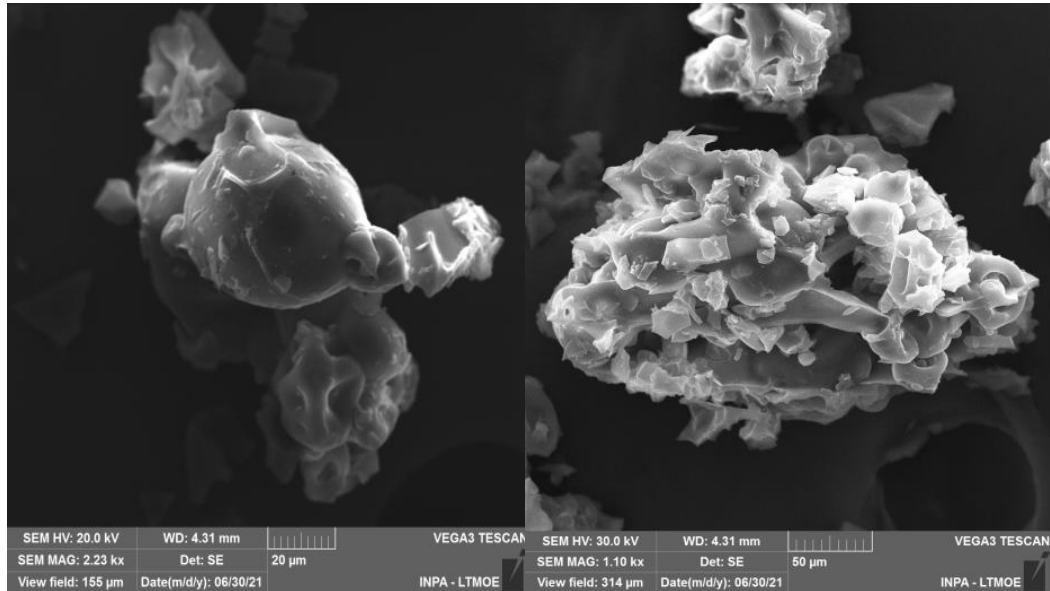


Figura 5. Morfologia das microcápsulas T1
Fonte: INPA-LTMOE

A característica esponjosa comum em processos de liofilização, foi observada com maior expressão nos tratamentos 1, 3, 4 e 5.

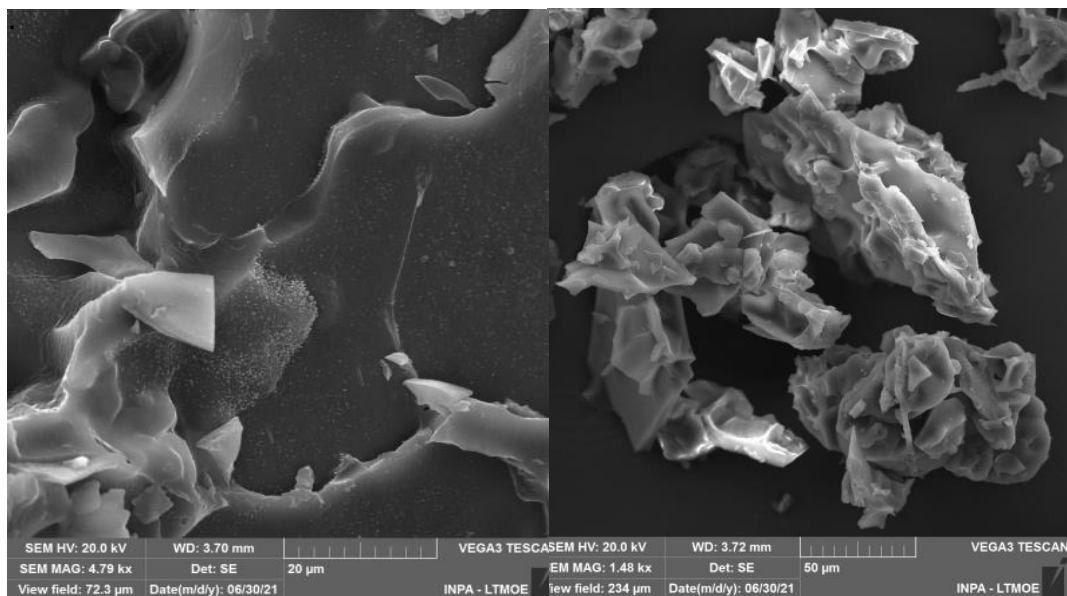


Figura 6. Morfologia das microcápsulas T2
Fonte: INPA-LTMOE

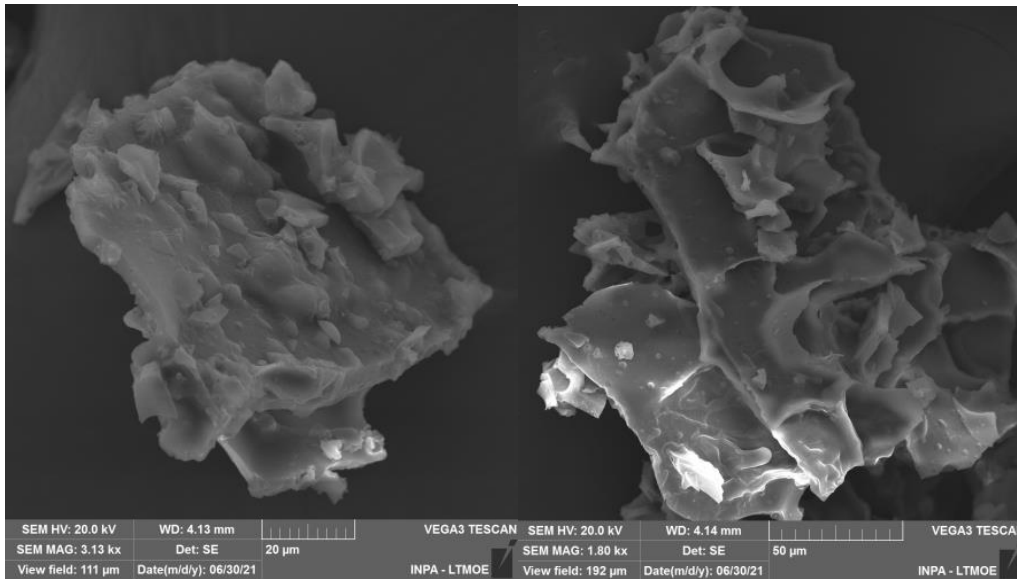


Figura 7. Morfologia das microcápsulas T3
 Fonte: INPA-LTMOE

As microcápsulas obtidas no processo de microencapsulação, conforme mostram as imagens apresentam variações em suas morfologias superficiais corroborando com alguns estudos Anandharamakrishnan *et al.* (2010); Ezhilarasi *et al.* (2013) para microcápsulas liofilizadas.

Em seus estudos Kalab (1979) sugeriu que as depressões são formadas pelo encolhimento das partículas durante a secagem e resfriamento.

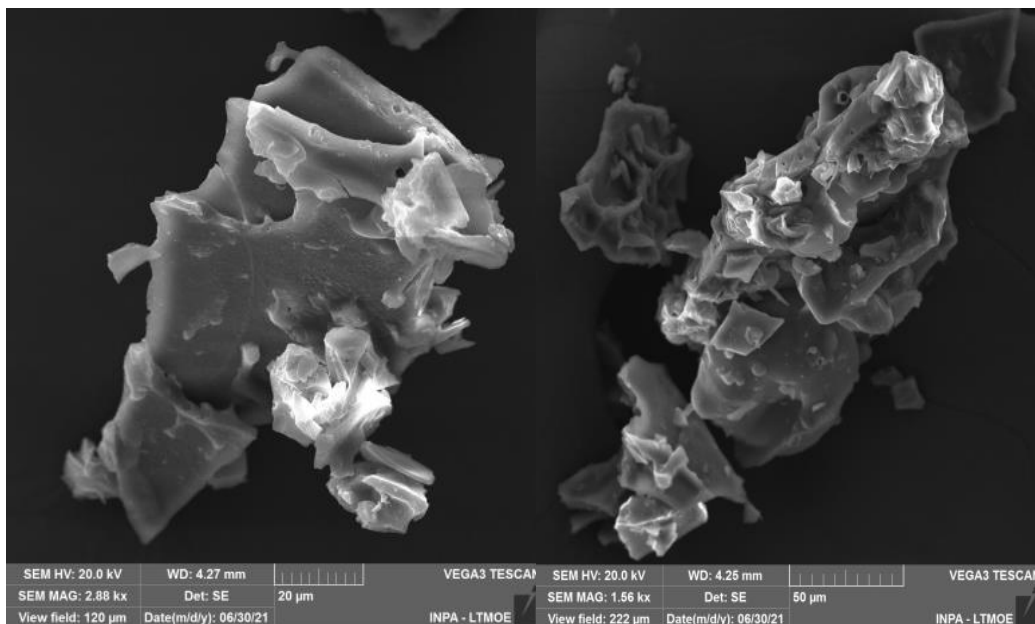


Figura 8. Morfologia das microcápsulas T4
 Fonte: INPA-LTMOE

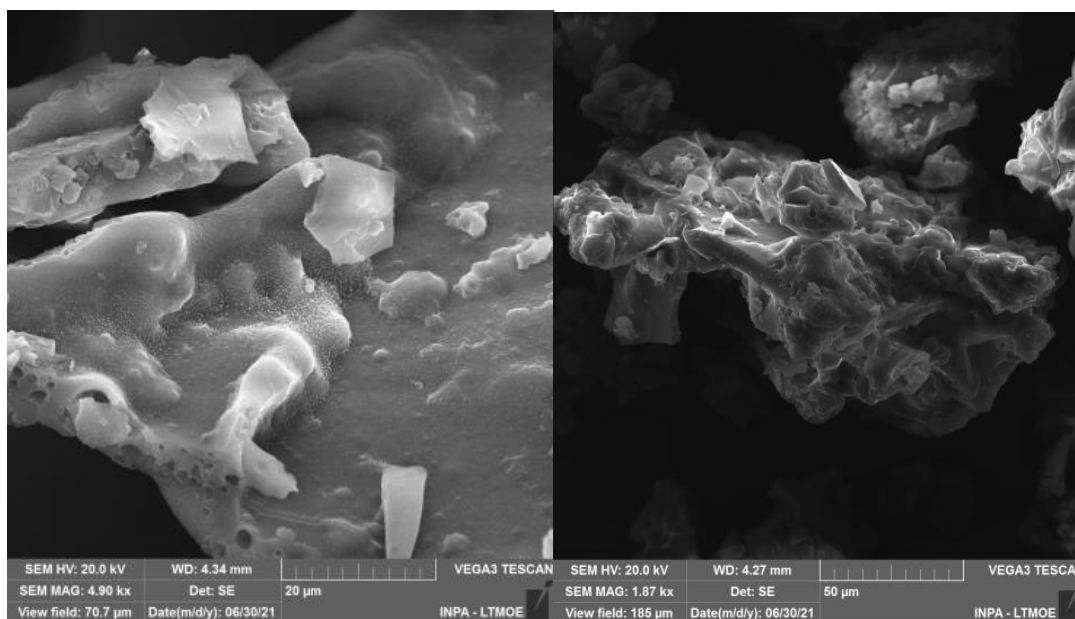


Figura 9. Morfologia das microcápsulas T5

Fonte: INPA-LTMOE

Segundo os estudos de Righetto (2003), o que leva a formação de superfícies porosas, rugosas ou com partes rugosas são matérias com baixa capacidade encapsulante, resultando em produtos instáveis.

6.3. Caracterização físico-química e estabilidade das microcápsulas

6.3.1. Efeito dos tratamentos e estabilidade sobre pH e acidez

De acordo com os valores encontrados, as medias variaram entre 6,25 e 6,67 não havendo diferença significativa entre os tratamentos ao longo das semanas, ou seja, as diferentes temperaturas não influenciaram no pH das microcápsulas conforme mostra a figura abaixo.

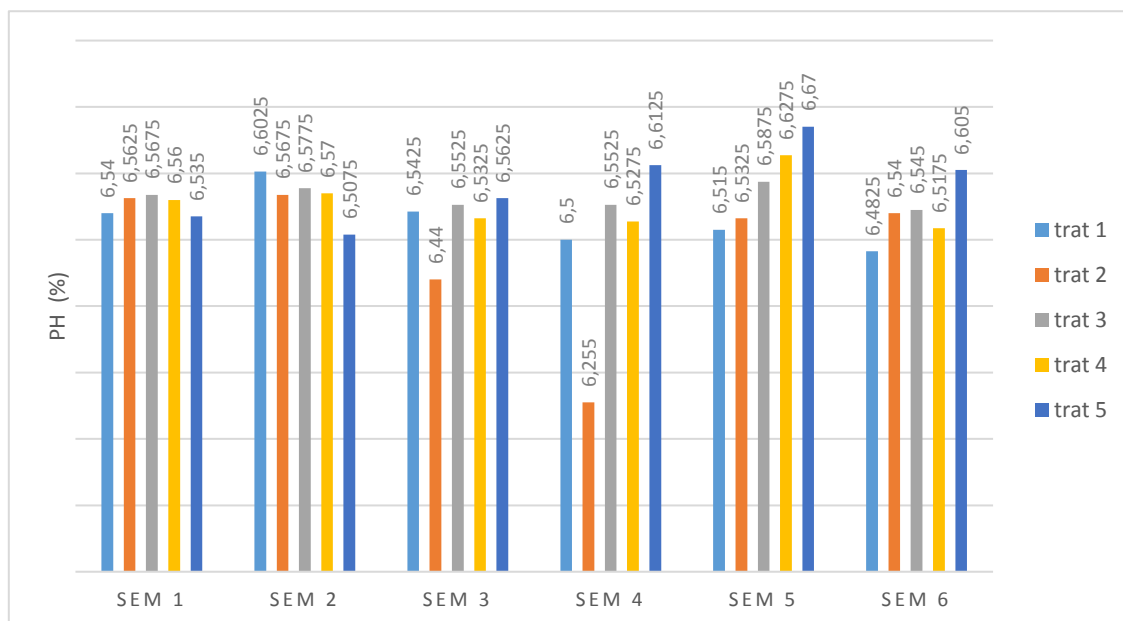


Figura 10. Média dos tratamentos sobre pH
 Trat 1 (0°C); Trat 2 (60°C); Trat 3 (70°C); Trat 4 (80°C) e Trat 5 (90°C).

De acordo com Wang *et al.* (2014), em pH abaixo de 4 pode haver influência no rendimento das microcápsulas diferente dos encontrados nesse estudo. Para Nakagawa e Nagao (2012); Lv *et al.* (2013) a redução do pH causa intensa interação eletrostática entre as proteínas e polissacarídeos o que pode influenciar em diversos parâmetros. Na microencapsulação de leite de tigrina por liofilização Costa *et al.* (2020), o pH foi adotado como parâmetro para representar a vida de prateleira, porque segundo Corrales *et al.* (2012) pH inferior a 6 resulta na formação de gomas que podem prejudicar características sensoriais.

Na figura 12 é possível observar os valores obtidos para acidez do óleo encapsulado. O teste de Tukey (Anexo 9.2) foi utilizado e a partir do mesmo pode-se perceber que não houve diferença significativa entre os tratamentos ao longo das 6 semanas. Os valores variaram entre 0,52 e 1,20 mgKOH/g indicando que a temperatura não influenciou na acidez do óleo, além de estarem dentro dos padrões da legislação (até 4 mgKOH/g).

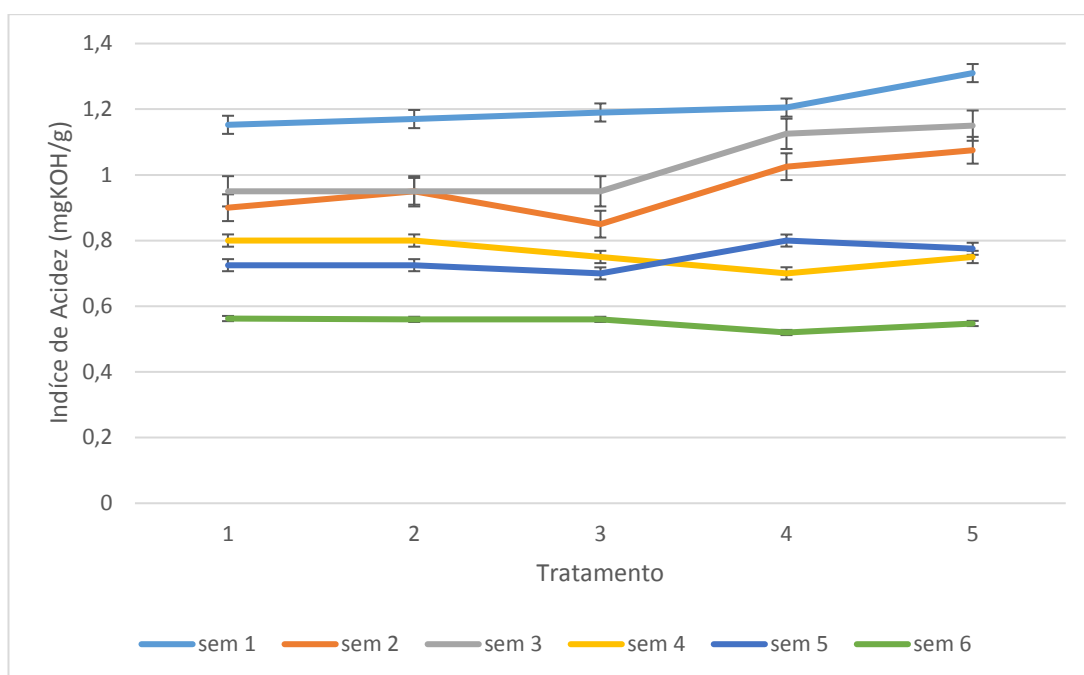


Figura 11. Média dos tratamentos sobre Acidez

Trat 1 (0°C); Trat 2 (60°C); Trat 3 (70°C); Trat 4 (80°C) e Trat 5 (90°C).

Oliveira (2019) usando proteína de ervilha encontrou na primeira semana de análise valores de acidez acima de 2 mgKOH/g, superior aos encontrados nesse estudo. Oliveira (2018) ao analisar o efeito dos métodos de conservação nas características físico-químicas dos frutos do Camapu (*Physalis angulata L.*) encontrou para produtos liofilizados acidez que variou entre 4,48 e 5,00 mgKOH/g.

6.3.2. Efeito dos tratamentos e estabilidade sobre atividade de água e umidade

O estudo voltado a atividade de água é de extrema importância para descrever o comportamento de alimentos em pó, como por exemplo a vida de prateleira. De acordo com Gichau *et al.* (2020) é desejável que a atividade dos alimentos esteja abaixo de 0,3 para uma melhor conservação.

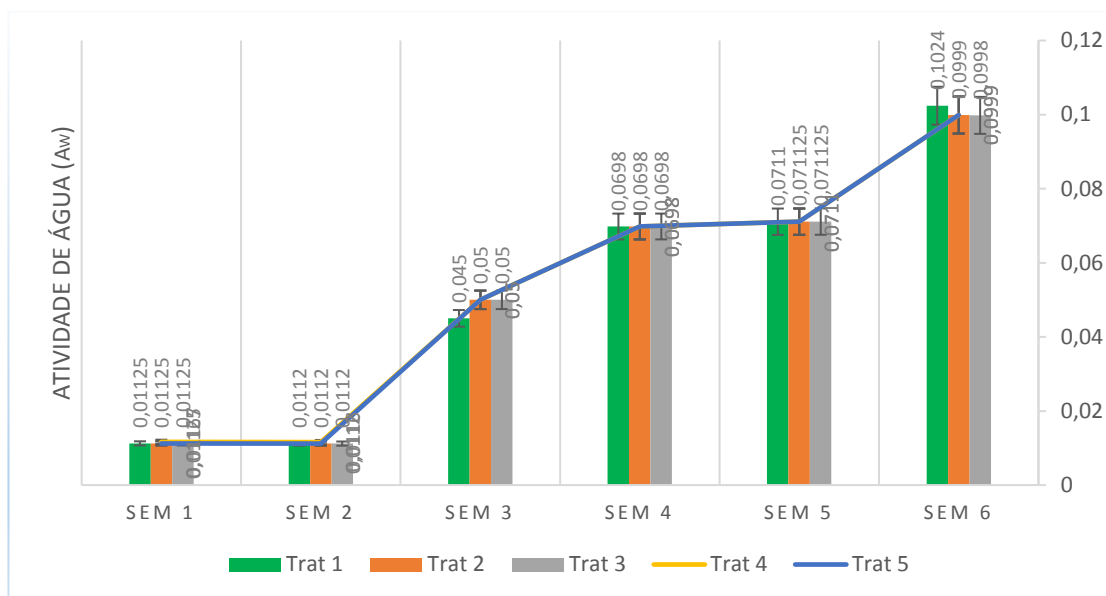


Figura 12. Média dos tratamentos sobre Atividade de Água
 Trat 1 (0°C); Trat 2 (60°C); Trat 3 (70°C); Trat 4 (80°C) e Trat 5 (90°C).

Nesse estudo os tratamentos apresentaram valores de atividade de água entre 0,01125 e 0,1024 (figura 13), abaixo dos limites recomendados para alimentos em pó (0,3) similar aos encontrados por Fernandes (2020) ao avaliar microencapsulados do óleo de abacate.

Nawas *et al.* (2019) estudando micropartículas de óleo de carpa usando GA, amido modificado, MD e IN como materiais de parede encontraram valores de atividade de água entre 0,16 a 0,21, assim como os achados de Oliveira (2019) para concentrados proteicos de ervilha que não ultrapassaram 0,21 superior aos valores mencionados neste estudo. Para Souza (2015) e Luz (2016) atividade de água com valores próximos a zero ou inferiores a 0,2 podem levar a um aumento das reações de oxidação. Ainda de acordo com o autor supracitado, o aumento da oxidação pode ser explicado pela formação de poros na matriz como resultado da perda de água. Nesse contexto, os baixos valores encontrados de atividade de água podem ser explicados pela morfologia percebida nas imagens de microscopia apresentadas na seção 6.4.2 deste trabalho.

A umidade é considerada um fator de importante, que demonstra o sucesso do processo de secagem de produtos que foram microencapsulados, sendo

assim um parâmetro essencial para conhecermos a perecibilidade do produto. As médias dos valores de umidade de encapsulados de óleo do cupuaçu para todos os testes constam na figura 14. Os valores das medias de umidade variaram entre 3,6850 e 4,5425 não apresentando diferença significativa entre os tratamentos, conforme o teste de Tukey, corroborando com os estudo de Pellicer *et al.* (2019) que encontraram umidade entre 3,9 a 4,1% em produtos encapsulados por liofilização. Klinkesorn *et al.* (2006) relatam que a especificação máxima de umidade para maior parte dos pós secos na indústria de alimentos está entre 3 e 4%.

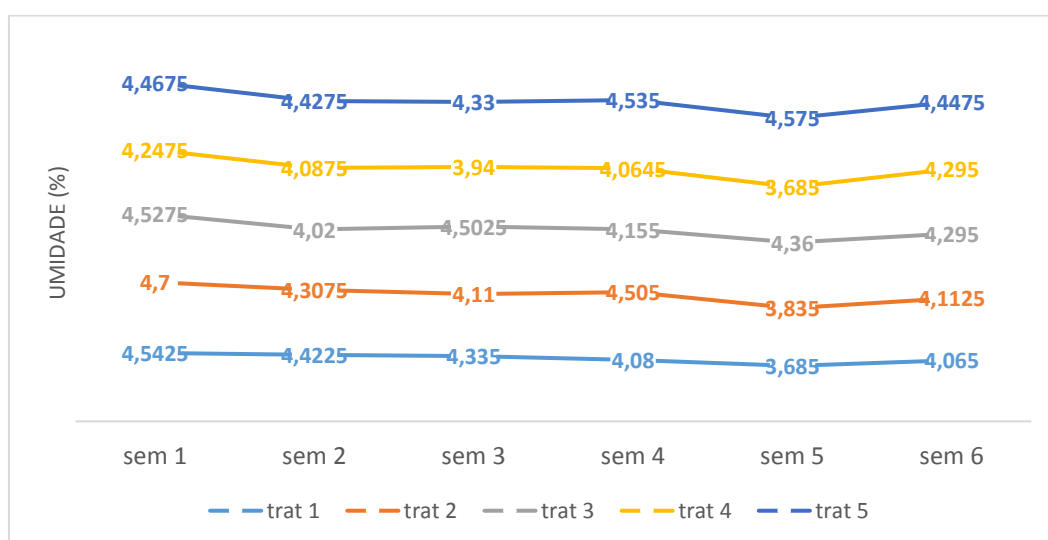


Figura 13. Média dos tratamentos sobre Umidade

Trat 1 (0°C); Trat 2 (60°C); Trat 3 (70°C); Trat 4 (80°C) e Trat 5 (90°C).

Para encapsulados do óleo da semente de castanha-do-Brasil contendo proteína de ervilha, Oliveira (2019) também encontrou valores em média de 3,5 % de umidade em todo o período de armazenamento.

6.3.3. Efeito dos tratamentos e estabilidade sobre índice de peróxido

Para o índice de peróxido, verificou-se através da análise de variância que as amostras encapsuladas não apresentam diferenças significativas entre os tratamentos, conforme pode ser observado na figura 15.

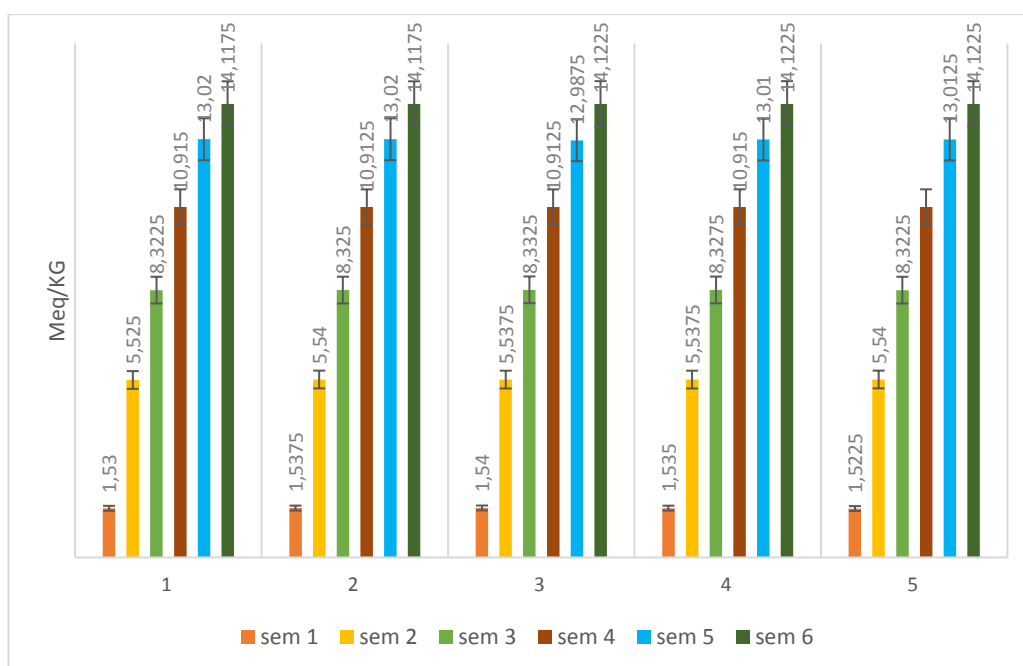


Figura 14. Média dos tratamentos sobre índice de peróxido
 Trat 1 (0°C); Trat 2 (60°C); Trat 3 (70°C); Trat 4 (80°C) e Trat 5 (90°C).

Os valores encontrados se mantiveram abaixo do que determina a legislação (até 15 meq/Kg) durante as semanas analisadas indicando que os tratamentos mantiveram estáveis independente do grau de temperatura. Dessa forma pode-se inferir que a matriz polimérica foi eficiente na migração do óleo interno para superfície onde fica mais vulnerável a oxidação. Ao encapsular óleo de peixe e armazená-lo a 25°C Botrel *et al.* (2017) observaram que nos primeiros 30 dias os óleos encapsulados tiveram um IP maior que o óleo a granel e que após a situação foi invertida, por ocasião da matriz polimérica provocar um atraso no processo de oxidação do óleo.

Estudos de Kagami *et al.* (2003) e Karaca *et al.* (2013) envolvendo diferentes condições de armazenamento de óleos microencapsulados apontam maior conservação do óleo em condições superiores aos recomendados pela legislação.

Durante as etapas de análise é comum que os óleos sofram oxidação. Para Serfert *et al.* (2009), a má condução de alguns procedimentos como por exemplo, a preparação e homogeneização são parâmetros que influenciam diretamente na oxidação lipídica logo após o processo de encapsulamento, o que não foi possível perceber durante as etapas de análise.

6.3.4. Efeito dos tratamentos e estabilidade sobre os ácidos graxos

No cromatograma abaixo e tabela 8, estão contidas as substâncias encontradas no óleo da semente do cupuaçu. O óleo *in natura* apresentou 4 tipos de ácidos graxos sendo eles: ácido palmítico (7,09%), ácido oleico (38,60%), ácido esteárico (51,74%) e ácido eicosanoico (2,57%). Os ácidos graxos que apresentaram maior concentração foram os ácidos oleico e ácido esteárico.

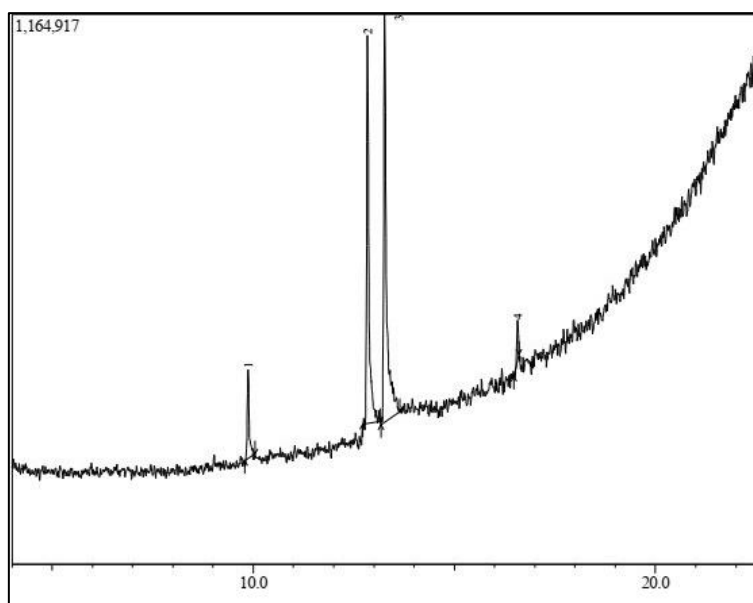


Figura 15. Cromatograma do óleo *in natura* da semente do cupuaçu

Fonte: Inpa, 2021.

Para Nelson e Cox (2018) entre as principais funções dos ácidos graxos estão o depósito de energia e a conformação das membranas celulares, transportadores de elétrons, sendo também precursores de substâncias, como as prostaglandinas, tromboxanos e leucotrienos. Ferreira (2015) em seus estudos relata que os ácidos graxos insaturados podem contribuir no combate a dislipidemia (gordura no sangue), desta forma podendo ajudar a reduzir os riscos de infarto e derrame cerebral, semelhantes aos encontrado no óleo *in natura* nesse estudo.

Os resultados dessa pesquisa também corroboram com os estudos de Luccas (2001) relata que a manteiga de cupuaçu quando comparada com a

manteiga de cacau se torna mais apreciada pelos consumidores pelo fato de ser mais macia e apresentar alto teor de ácidos graxos monoinsaturados, principalmente o ácido oleico. Os valores encontrados na semente do óleo *in natura* de ácido oleico foram acima de 35% enquanto de ácido palmítico foi de 7,09%. Por outro lado, Rogez *et al.* (2004) em seus estudos demonstra que o perfil de ácidos graxos da polpa de cupuaçu difere um pouco ao encontrado na semente, sendo composto por 55% de ácido palmítico na polpa e 18,8% de ácido oleico na semente.

O teor de ácido esteárico foi equivalente a 51,74% e 2,57 para ácido eicosanoico diferente dos encontrados por Pugliese (2010) que foi de 32% e 10% respectivamente. Para Cooper *et al.* (2008) o ácido oleico e o ácido esteárico tem um efeito neutro no nível lipídico do sangue, isto é, não aumentam o colesterol sanguíneo e por conta disso são considerados importantes ácidos graxos para a saúde humana.

Com relação aos ácidos graxos microencapsulados, os tratamentos não apresentaram diferenças ao longo das semanas analisadas (exceto para % de área), sendo os resultados iniciais parecidos com os obtidos na primeira e sexta semana de armazenamento conforme a tabela (9) e cromatogramas. Dessa forma podemos inferir que as diferentes temperaturas não influenciaram nas características do óleo *in natura*, bem como nas características dos microencapsulados.

Óleo <i>in natura</i>							
Peak	R. Time	% Área	Nome				
1	9,873	7,09c	Ácido palmítico				
2	12,839	38,60b	Ácido oleico				
3	13,266	51,74a	Ácido esteárico				
4	16,572	2,57d	Ácido eicosanoico				
Peak	R. Time	% Área	Semana 1- T1	Peak	R. Time	% Área	Semana 6- T1
1	9,866	9,30c	Ácido palmítico	1	9,860	11,17c	Ácido palmítico
2	12,836	41,87a	Ácido oleico	2	12,832	39,37b	Ácido oleico
3	13,260	40,64b	Ácido esteárico	3	13,258	49,45a	Ácido esteárico
4	16,575	8,19d	Ácido eicosanoico				
			Semana 1- T2				Semana 6-T2
1	9,865	7,85c	Ácido palmítico	1	9,869	6,65c	Ácido palmítico
2	12,834	47,68a	Ácido oleico	2	12,838	44,19b	Ácido oleico
3	13,259	38,50b	Ácido esteárico	3	13,262	44,84a	Ácido esteárico
4	16,570	5,98d	Ácido eicosanoico	4	16,570	4,32d	Ácido eicosanoico
			Semana 1- T3				Semana 6-T3
1	9,865	8,49c	Ácido palmítico	1	9,868	6,91c	Ácido palmítico
2	12,834	43,85a	Ácido oleico	2	12,839	41,84b	Ácido oleico
3	13,259	42,84b	Ácido esteárico	3	13,264	46,72a	Ácido esteárico
4	16,568	4,82d	Ácido eicosanoico	4	16,573	4,54d	Ácido eicosanoico
			Semana 1- T4				Semana 6-T4
1	9,866	6,59c	Ácido palmítico	1	9,873	6,94c	Ácido palmítico
2	12,834	43,71b	Ácido oleico	2	12,839	43,99b	Ácido oleico
3	13,260	45,25a	Ácido esteárico	3	13,264	45,92a	Ácido esteárico
4	16,567	4,45d	Ácido eicosanoico	4	16,573	3,16d	Ácido eicosanoico
			Semana 1- T5				Semana 6- T5
1	9,865	6,81c	Ácido palmítico	3	12,838	41,40a	Ácido oleico
2	12,834	44,86a	Ácido oleico	4	13,266	38,59b	Ácido palmítico
3	13,260	44,40b	Ácido esteárico	5	16,573	2,91c	Ácido eicosanoico
4	16,569	3,93d	Ácido eicosanoico				

Tabela 8. Ácidos graxos do óleo *in natura* da semente do cupuaçu e ácidos graxos encontrados na 1ª semana e 6ª semana. Trat 1 (0°C); Trat 2 (60°C); Trat 3 (70°C); Trat 4 (80°C) e Trat 5 (90°C).

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

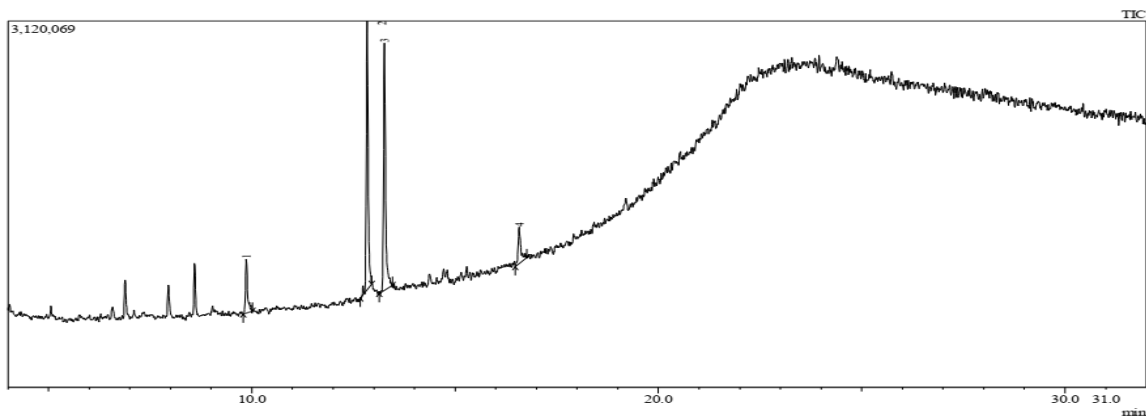


Figura 16. Cromatograma do tratamento 1- semana 1.

No tratamento da semana 1, os maiores picos foram de ácido oleico com um total de 41,87% e ácido esteárico correspondente a 40,64%, enquanto a concentração dos demais estiveram abaixo de 10%.

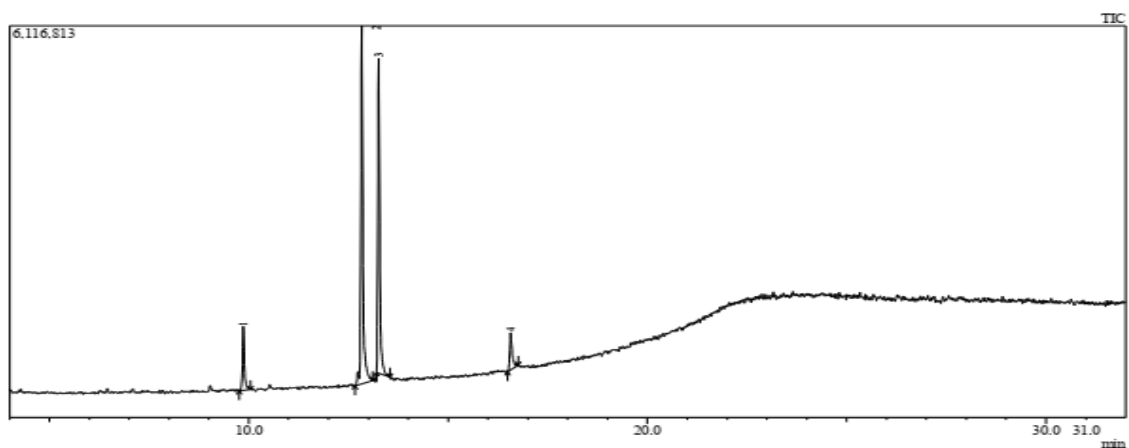


Figura 17. Cromatograma do tratamento 2- semana 1.

No tratamento 2, a concentração de ácido oleico foi de 47,68% e de ácido esteárico foi de 38,50%. A porcentagem de ácido palmítico foi de 7,85% e ácido eicosanoico foi equivalente a 5,98%.

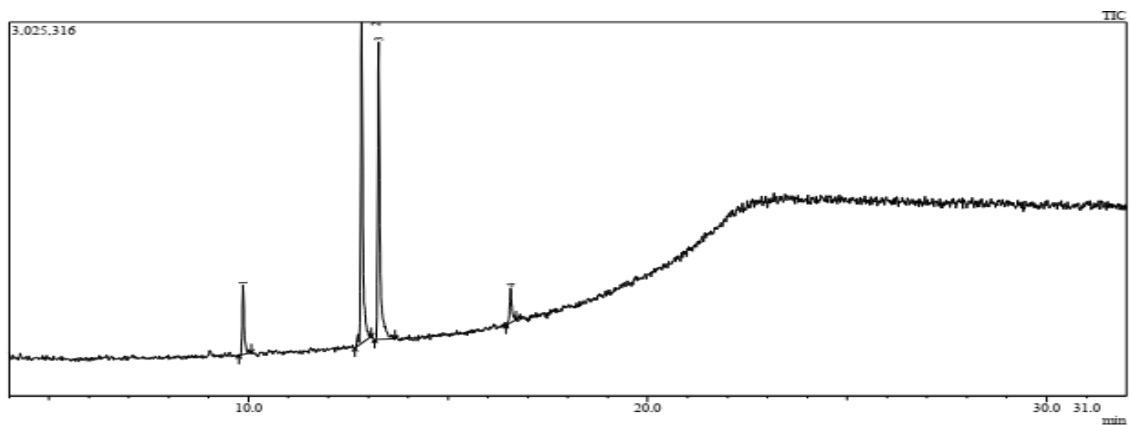


Figura 18. Cromatograma do tratamento 3- semana 1.

O percentual de ácido oleico e ácido esteárico no tratamento 3 foi de 43,85% e 42,84% respectivamente. Ácido palmítico foi de 8,49% e de ácido eicosanoico foi de 4,82%.

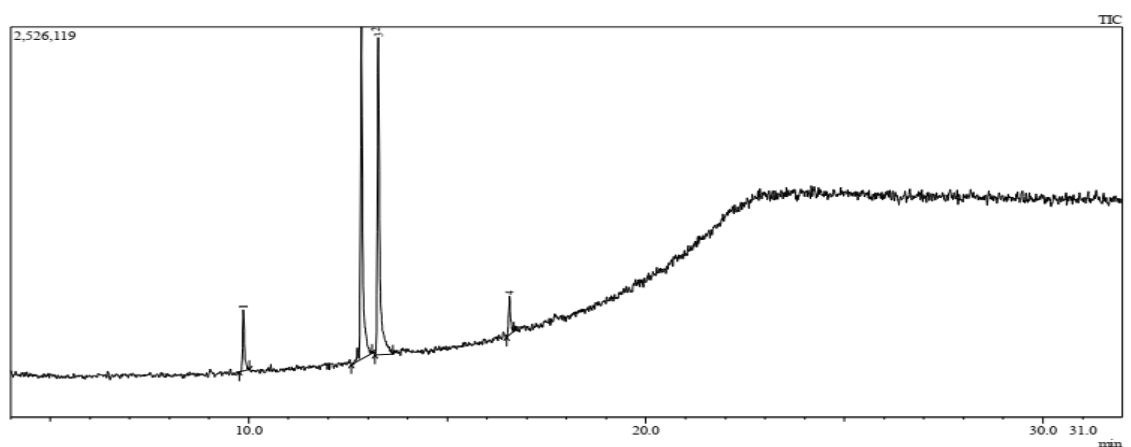


Figura 19. Cromatograma do tratamento 4- semana 1.

Com relação ao tratamento 4, a quantidade de ácido oleico foi igual a 43,71% e a quantidade de ácido esteárico foi um pouco maior (45,25%). 6,59% foi de ácido palmítico e 4,45% foi referente ao ácido eicosanoico.

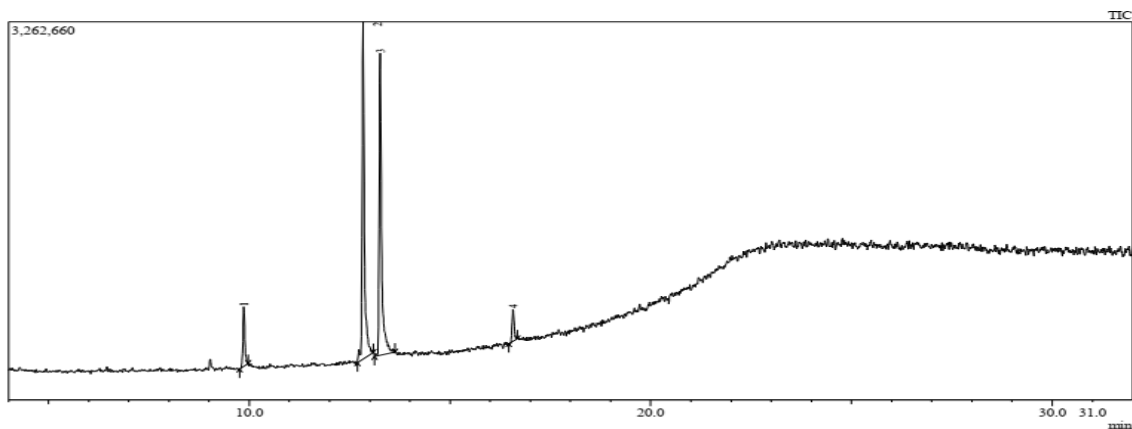


Figura 20. Cromatograma do tratamento 5- semana 1.

No tratamento 5 da semana 1, o percentual de ácido oleico foi de 44,86%, ácido esteárico 44,40%, ácido palmítico 6,81% e ácido eicosanoico 3,93%.

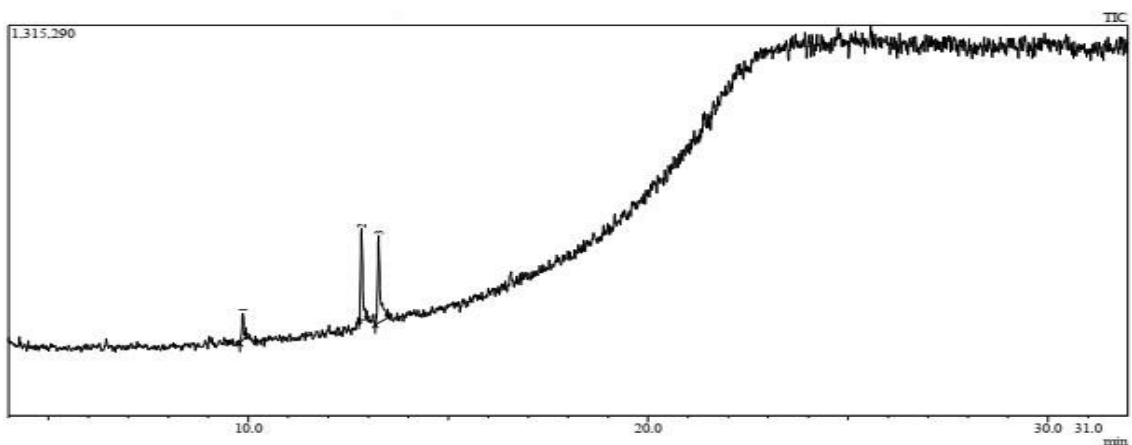


Figura 21. Cromatograma do tratamento 1- semana 6.

Na 6 semana, o tratamento 1 apresentou como resultado ao longo da análise 39,37% de ácido oleico, 49,45% de ácido esteárico e 11,17% de ácido palmítico.

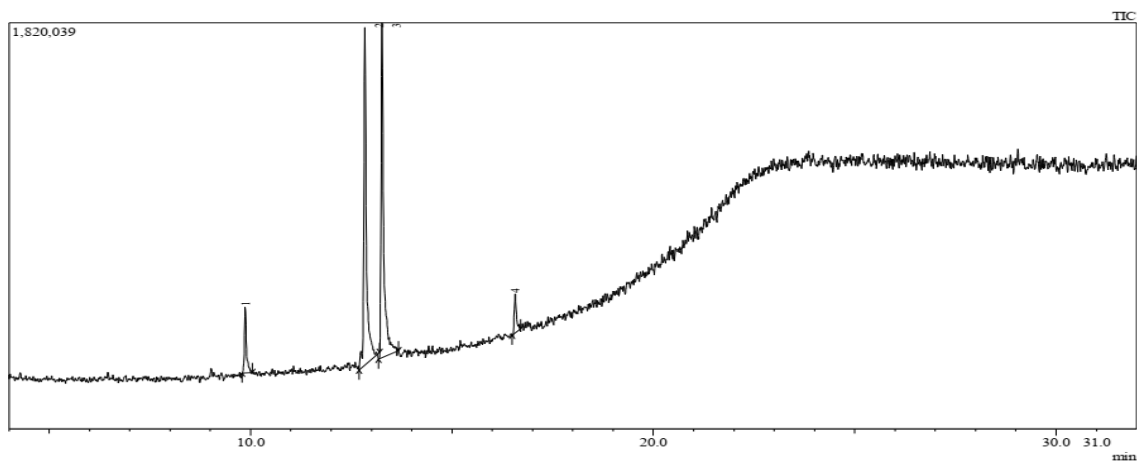


Figura 22. Cromatograma do tratamento 2- semana 6.

O tratamento 2 apresentou 44,19% de ácido oleico semelhante com a porcentagem de ácido esteárico (44,84%). A quantidade para ácido palmítico foi 6,65% e de ácido eicosanoico foi igual a 4,32%.

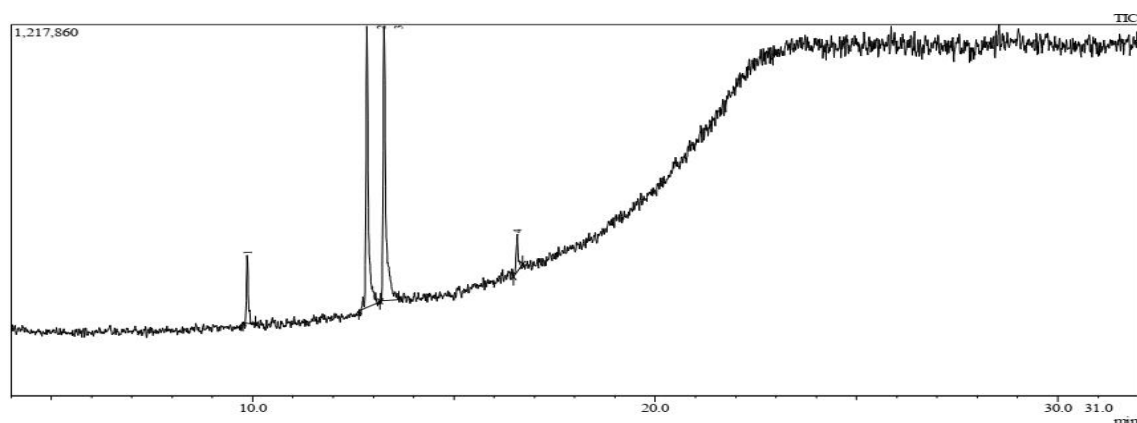


Figura 23. Cromatograma do tratamento 3- semana 6.

No tratamento 3, a porcentagem de ácido oleico foi de 41,84%, enquanto de ácido esteárico foi de 46,72%. Para ácido palmítico foi 6,91% e 4,54% de ácido eicosanoico.

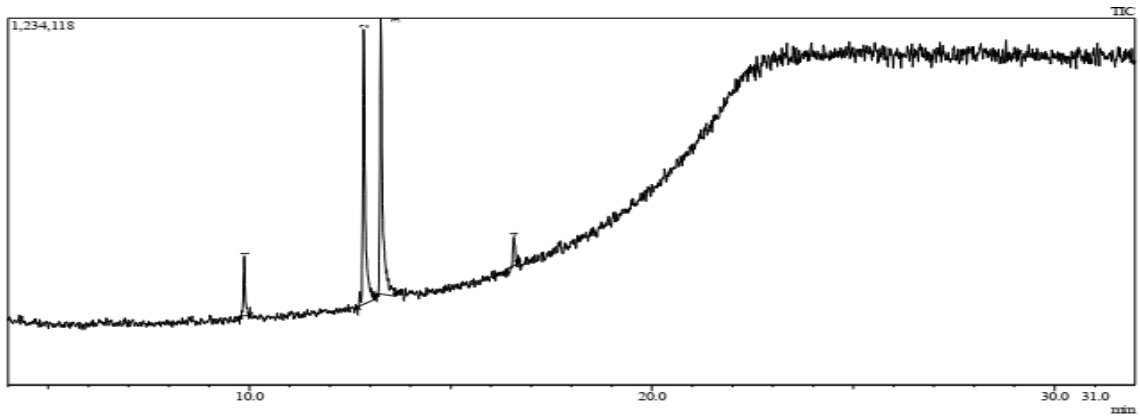


Figura 24. Cromatograma do tratamento 4- semana 6.

No tratamento 4 da semana, a quantidade de ácido oleico foi de 43,99%, 45,92% de ácido esteárico. Ácido palmítico foi de 6,94% e de ácido eicosanoico foi equivalente a 3,16% conforme o cromatograma.

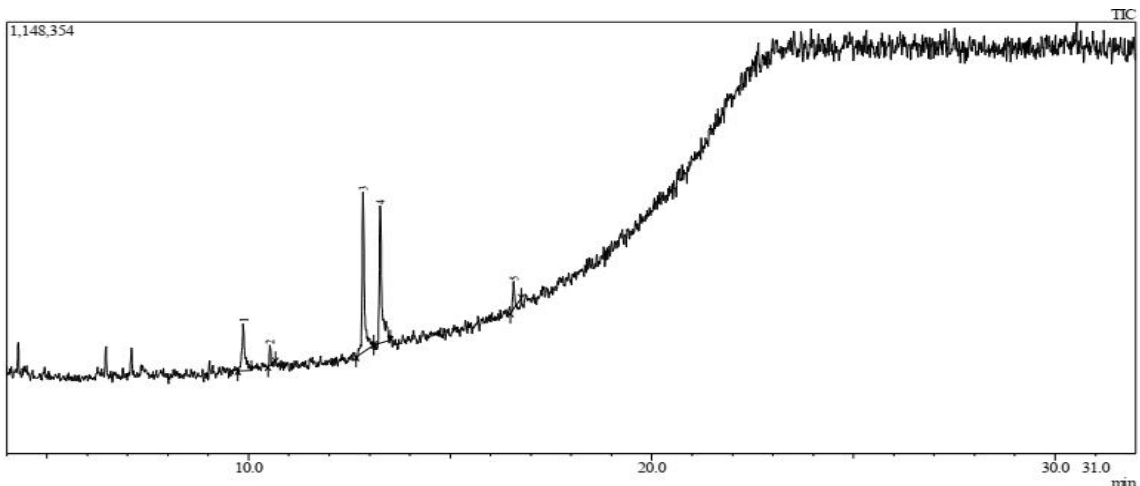


Figura 25. Cromatograma do tratamento 5- semana 6.

Em relação ao tratamento 5, a porcentagem de área foi bem semelhante aos demais tratamentos já mencionados. Para ácido oleico foi de 41,40%. Para ácido esteárico foi de 38,59% e ácido eicosanoico foi de 2,91%. Esses valores podem estar atrelados a antioxidantes presentes no óleo que podem retardar ou interromper o processo de deterioração oxidativa por um tempo determinado conforme Iqbal e Bhangar (2007), o que pode vim a justificar esses resultados encontrados.

7. CONCLUSÃO

O presente trabalho é uma contribuição para a literatura e de suma importância para a região amazônica, pelo fato de agregar valor à produção de uma semente regional, onde foi elaborado um produto em pó obtido pelo processo de liofilização.

Desta forma conclui-se que é viável a técnica de microencapsulação do óleo da semente do cupuaçu com proteína de ervilha e goma arábica, sendo possível afirmar que a proteína de ervilha juntamente com a goma arábica conferiu boa proteção e estabilidade ao óleo da semente do cupuaçu. Entretanto, quando comparado com o óleo *in natura* não apresentou diferenças significativas ao longo das semanas, pois os tratamentos submetidos a diferentes temperaturas (0°C, 60°C, 70°C, 80°C e 90°C) não causaram danos ao produto original e que tanto o óleo *in natura*, quanto os encapsulados podem ser caracterizados como ingredientes de excelente qualidade com potencial para se tornar alternativas ao uso em diversas formulações alimentícias, inclusive aquelas que atendam aos consumidores de dietas restritivas. Além disso, poderá levar a diminuição do desperdício e colaborar com o beneficiamento de resíduos, já que a semente é um subproduto do cupuaçu onde contém o óleo.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDER, K.; KING, C. J. Factors governing surface morphology of spray-dried amorphous substances. **Drying Technology**, v. 3, n. 3, p. 321-348, 1985. ISSN 0737-3937.

ALFAIA, S. S.; AYRES, M. I. D. C. Efeito de doses de nitrogênio, fósforo e potássio em duas cultivares de cupuaçu, com e sem sementes, na região da Amazônia Central. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 26, n. 2, p. 320-325, 2004.

ÁLVAREZ, D. et al. Prediction of meat emulsion stability using reflection photometry. **Journal of Food Engineering**, v. 82, n. 3, p. 310-315, 2007. ISSN 0260-8774.

ALVES RODRIGUES, A.; SHAO, A. The science behind lutein. **Toxicology letters**, v. 150, n. 1, p. 57-83, 2004. ISSN 0378-4274.

ANANDHARAMAKRISHNAN, C.; RIELLY, C. D.; STAPLEY, A. G. Spray-freeze-drying of whey proteins at sub-atmospheric pressures. **Dairy Science & Technology**, v. 90, n. 2, p. 321-334, 2010. ISSN 1958-5594.

AOAC. **Official methods of analysis of AOAC International**: AOAC International Rockville, MD, USA. 2016.

ARRIOLA, N. D. A. Encapsulação por extrusão através da gelificação iônica do extrato aquoso de folhas de estévia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) com alginato de sódio: caracterização física e impacto na composição fenólica. 2017.

AZEREDO, H. D. Encapsulação: aplicação à tecnologia de alimentos. **Alimentos e Nutrição Araraquara**, v. 16, n. 1, p. 89-97, 2008. ISSN 2179-4448.

BAE, E.; LEE, S. Microencapsulation of avocado oil by spray drying using whey protein and maltodextrin. **Journal of microencapsulation**, v. 25, n. 8, p. 549-560, 2008. ISSN 0265-2048.

BARAC, M. et al. Profile and functional properties of seed proteins from six pea (*Pisum sativum*) genotypes. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 11, n. 12, p. 4973-4990, 2010.

BARUFFALDI, R.; OLIVEIRA, M. N. D. **Fundamentos de tecnologia de alimentos**. São Paulo: Atheneu, 1998.

BELTRÃO, N. D. M.; OLIVEIRA, M. Oleaginosas potenciais do Nordeste para a produção de biodiesel. **Embrapa Algodão-Documentos (INFOTECA-E)**, 2007. ISSN 0103-0205.

BITTENCOURT, L. L. D. A. et al. Pea protein provides a promising matrix for microencapsulating iron. **Plant foods for human nutrition**, v. 68, n. 4, p. 333-339, 2013. ISSN 0921-9668.

BONIFÁCIO, B. V. et al. Nanotechnology-based drug delivery systems and herbal medicines: a review. **International journal of nanomedicine**, v. 9, p. 1, 2014.

BORSATO, A. et al. Propriedades físico-químicas do óleo essencial de camomila [*Chamomilla recutita* (L.) Rauschert] submetida à secagem em camada fixa. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 10, p. 24-30, 2008.

BOTREL, D. A. et al. Application of cashew tree gum on the production and stability of spray-dried fish oil. **Food Chemistry**, v. 221, p. 1522-1529, 2017. ISSN 0308-8146.

BRASIL. Regulamento técnico para produtos protéicos de origem vegetal (Resolução RDC nº 268, de 22 de setembro de 2005). **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, 2005.

CAI, Y.-Z.; CORKE, H. Production and properties of spray-dried *Amaranthus betacyanin* pigments. **Journal of food science**, v. 65, n. 7, p. 1248-1252, 2000. ISSN 0022-1147.

CANUTO, G. A. B. et al. Caracterização físico-química de polpas de frutos da Amazônia e sua correlação com a atividade anti-radical livre. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, p. 1196-1205, 2010. ISSN 0100-2945.

CARLOS, S. A. V. et al. Elaboração de sorvete de cupuaçu utilizando fibra de casca de maracujá como substituto de gordura. **Evidência**, v. 19, n. 1, p. 23-44, 2019. ISSN 2236-6059.

CARMO, C. S. D. et al. Formulation of pea protein for increased satiety and improved foaming properties. **RSC advances**, v. 6, n. 8, p. 6048-6057, 2016.

CHARM, S. E. **The fundamentals of food engineering**. Westport, Connecticut, USA: AVI Publishing Co., Inc., 1971. ISBN 0870550942.

CHEN, M. et al. Study on the emulsifying stability and interfacial adsorption of pea proteins. **Food Hydrocolloids**, v. 88, p. 247-255, 2019. ISSN 0268-005X.

CHLEBAROV, S. Die Kosmetischen Eigenschaften der Phytosterole. **TW Dermatologie**, v. 20, p. 228-237, 1990.

COMMISSION, C. A. Codex-Stan 210: codex standard for named vegetable oils. Roma: FAO. **WHO Food Standards**, 2009.

COOPER, K. A. et al. Cocoa and health: a decade of research. **British Journal of Nutrition**, v. 99, n. 1, p. 1-11, 2008. ISSN 1475-2662.

CORRALES, M. et al. Effects of the decontamination of a fresh tiger nuts' milk beverage (horchata) with short wave ultraviolet treatments (UV-C) on quality attributes. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 13, p. 163-168, 2012. ISSN 1466-8564.

COSTA, A. M. et al. Effective stabilization of CLA by microencapsulation in pea protein. **Food chemistry**, v. 168, p. 157-166, 2015. ISSN 0308-8146.

COSTA, J. D. P. D. et al. Assessing the use of arabic gum as a drying adjuvant for powdered shrimp obtained using a spray dryer. **Ciência Animal Brasileira**, v. 21, 2020. ISSN 1809-6891.

CUATRECASAS, J. **Cacao and its allies: a taxonomic revision of the genus Theobroma**. Smithsonian Institution, 1964.

CZŁONKA, S.; BERTINO, M. F.; STRZELEC, K. Rigid polyurethane foams reinforced with industrial potato protein. **Polymer Testing**, v. 68, p. 135-145, 2018. ISSN 0142-9418.

DEPYPERE, F. et al. Food powder microencapsulation: principles, problems and opportunities. **Applied Biotechnology, Food Science and Policy**, v. 1, n. 2, p. 75-94, 2003. ISSN 1175-9534.

DESOBRY, S. A.; NETTO, F. M.; LABUZA, T. P. Comparison of spray-drying, drum-drying and freeze-drying for β -carotene encapsulation and preservation. **Journal of Food Science**, v. 62, n. 6, p. 1158-1162, 1997. ISSN 0022-1147.

DUCKE, A. As espécies brasileiras do gênero Theobroma L. **Embrapa Amazônia Oriental-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 1953.

EZHILARASI, P. et al. Freeze drying technique for microencapsulation of Garcinia fruit extract and its effect on bread quality. **Journal of Food Engineering**, v. 117, n. 4, p. 513-520, 2013. ISSN 0260-8774.

F. GIBBS, S. K., INTEAZ ALLI, CATHERINE N. MULLIGAN, BERNARD. Encapsulation in the food industry: a review. **International journal of food sciences and nutrition**, v. 50, n. 3, p. 213-224, 1999. ISSN 0963-7486.

FARHOOSH, R.; EINAFSHAR, S.; SHARAYEI, P. The effect of commercial refining steps on the rancidity measures of soybean and canola oils. **Food chemistry**, v. 115, n. 3, p. 933-938, 2009. ISSN 0308-8146.

FELLOWS, P. J. **Food processing technology: principles and practice**. Elsevier, 2009. ISBN 1845696344.

FERNANDES, J. G. **Produção, caracterização e estabilidade de óleo de abacate microencapsulado usando goma arábica e inulina**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Biomateriais) Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais.

FERNANDES, R. V.; BORGES, S. V.; BOTREL, D. A. Gum arabic/starch/maltodextrin/inulin as wall materials on the microencapsulation of rosemary essential oil. **Carbohydrate polymers**, v. 101, p. 524-532, 2014. ISSN 0144-8617.

FERREIRA, E. D. S. et al. Caracterização físico-química do fruto e do óleo extraído de tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart). **Alimentos e Nutrição Araraquara**, v. 19, n. 4, p. 427-433, 2009. ISSN 2179-4448.

FERREIRA, J. D. P. S. Bioimperialismo e direito de propriedade intelectual: disputas pelo acesso ao cupuaçu e ao conhecimento tradicional. 2015.

FUCHS, M. et al. Encapsulation of oil in powder using spray drying and fluidised bed agglomeration. **Journal of Food Engineering**, v. 75, n. 1, p. 27-35, 2006. ISSN 0260-8774.

GARCIA, L. P. Liofilização aplicada a alimentos. **Disciplina de Seminários em Alimentos. Departamento de Ciência dos Alimentos. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas**, 2009.

GICHAU, A. W.; OKOTH, J. K.; MAKOKHA, A. Moisture sorption isotherm and shelf life prediction of complementary food based on amaranth–sorghum grains. **Journal of food science and technology**, v. 57, n. 3, p. 962-970, 2020. ISSN 0975-8402.

GLÓRIA, M. M. D.; REGITANO-D'ARCE, M. A. Concentrado e isolado protéico de torta de castanha do Pará: obtenção e caracterização química e funcional. **Food Science and Technology**, v. 20, p. 240-245, 2000. ISSN 0101-2061.

GONÇALVES, O. M. D. A. R. **Estudo comparativo de processos de desidratação por liofilização e secagem convencional**. 2015.

GONDIM, T. D. S. et al. Aspectos da produção de cupuaçu. **Embrapa Acre- Documentos (INFOTECA-E)**, 2001.

GURR, M. I. **Role of fats in food and nutrition**. Elsevier Applied Science Publishers Ltd., 1984. ISBN 0853342989.

HOMMA, A. K. O. O desenvolvimento da agroindústria no estado do Pará. **Embrapa Amazônia Oriental-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2001.

IQBAL, S.; BHANGER, M. Stabilization of sunflower oil by garlic extract during accelerated storage. **Food Chemistry**, v. 100, n. 1, p. 246-254, 2007. ISSN 0308-8146.

IUPAC, O. International union of pure and applied chemistry. **Standard Methods for the Analysis of Oils, Fats and Derivates**, 1992.

JACKSON, L. S.; LEE, K. Microencapsulation and the food industry. **Lebensm. Wiss. Technol**, v. 24, n. 4, p. 289-297, 1991.

JAFARI, S. M. et al. Encapsulation efficiency of food flavours and oils during spray drying. **Drying technology**, v. 26, n. 7, p. 816-835, 2008. ISSN 0737-3937.

JANSEN-ALVES, C. et al. Propolis microparticles produced with pea protein: Characterization and evaluation of antioxidant and antimicrobial activities. **Food Hydrocolloids**, v. 87, p. 703-711, 2019. ISSN 0268-005X.

KAGAMI, Y. et al. Oxidative stability, structure, and physical characteristics of microcapsules formed by spray drying of fish oil with protein and dextrin wall materials. **Journal of food science**, v. 68, n. 7, p. 2248-2255, 2003. ISSN 0022-1147.

KALAB, M. Microstructure of dairy foods. 1. Milk products based on protein. **Journal of Dairy Science**, v. 62, n. 8, p. 1352-1364, 1979. ISSN 0022-0302.

KARACA, A. C.; LOW, N.; NICKERSON, M. Encapsulation of flaxseed oil using a benchtop spray dryer for legume protein–maltodextrin microcapsule preparation. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 61, n. 21, p. 5148-5155, 2013. ISSN 0021-8561.

KLINKESORN, U. et al. Characterization of spray-dried tuna oil emulsified in two-layered interfacial membranes prepared using electrostatic layer-by-layer deposition. **Food Research International**, v. 39, n. 4, p. 449-457, 2006. ISSN 0963-9969.

KRINSKY, N. I.; JOHNSON, E. J. Carotenoid actions and their relation to health and disease. **Molecular aspects of medicine**, v. 26, n. 6, p. 459-516, 2005. ISSN 0098-2997.

LABUSCHAGNE, P. Impact of wall material physicochemical characteristics on the stability of encapsulated phytochemicals: A review. **Food Research International**, v. 107, p. 227-247, 2018. ISSN 0963-9969.

LE PRIOL, L. et al. Comparative study of plant protein extracts as wall materials for the improvement of the oxidative stability of sunflower oil by microencapsulation. **Food hydrocolloids**, v. 95, p. 105-115, 2019. ISSN 0268-005X.

LIU, S. et al. Effect of pH on the functional behaviour of pea protein isolate–gum Arabic complexes. **Food Research International**, v. 43, n. 2, p. 489-495, 2010. ISSN 0963-9969.

LOKSUWAN, J. Characteristics of microencapsulated β -carotene formed by spray drying with modified tapioca starch, native tapioca starch and maltodextrin. **Food hydrocolloids**, v. 21, n. 5-6, p. 928-935, 2007. ISSN 0268-005X.

LOPES, A. **Estudo químico e nutricional de amêndoas de cacau (Theobroma cacao L.) e cupuaçu (Theobroma grandiflorum Schum) em função do processamento. 2000, 112f.** 2000. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

LOPÉZ, P. A. B. Avaliação da cadeia produtiva do cupuaçu (theobroma grandiflorum (willd. ex spreng.) schum.) nos municípios de Itacoatiara, Presidente Figueiredo e Manaus. Dissertação, apresentado ao curso de pósgraduação em Agricultura no Trópico Úmido(ATU), do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA). p. 100, 2015.

LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil (368 p.). **São Paulo: Instituto Plantarum**, 2002.

LU, Z. et al. Composition, physicochemical properties of pea protein and its application in functional foods. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 60, n. 15, p. 2593-2605, 2020. ISSN 1040-8398.

LUCAS, V. **Fracionamento térmico e obtenção de gorduras de cupuaçu alternativas à manteiga de cacau para uso na fabricação de chocolate. 2001, 195p.** 2001. Tese (Doutorado em Engenharia Química). Faculdade de Engenharia Química, UNICAMP, Campinas.

LUZ, L. **Eficiência da encapsulação e estabilidade oxidativa do óleo de chia microencapsulado por spray drying.** 2016. Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LV, Y. et al. The study of pH-dependent complexation between gelatin and gum arabic by morphology evolution and conformational transition. **Food Hydrocolloids**, v. 30, n. 1, p. 323-332, 2013. ISSN 0268-005X.

MACHADO, G. C.; CHAVES, J. B. P.; ANTONIASSI, R. Composição em ácidos graxos e caracterização física e química de óleos hidrogenados de coco babaçu. **revista Ceres**, v. 53, n. 308, p. 463-470, 2006. ISSN 0034-737X.

MARCHESE, D. A. Estudo do processo de obtenção do pó de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum) alcalinizado. 2002.

MARQUES, L. **Liofilização de frutas tropicais. 255p.** 2008. Tese (Doutorado em Engenharia

MARTIM, S. R. Características físico-químicas e atividade da peroxidase e polifenoxidase em genótipos de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Willd ex-Spreng Schum) submetidos ao congelamento. 2012.

MARTIN, L. G. P. Estudo da secagem da polpa de cupuaçu por atomização. 2013.

MATTIETTO, R. D. A. Estudo comparativo das transformações estruturais e físico-químicas durante o processo fermentativo de amêndoas de cacau (*Theobroma cacao* L.) e cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum). 2001.

MENDONÇA, A. P. et al. Extração de óleo de andiroba por prensa: rendimento e qualidade de óleo de sementes submetidas a diferentes teores de água e temperaturas de secagem. **Sci. For.**, v. 48, n. 125, 2020.

MENEZES FILHO, A.; SOUSA, W.; CASTRO, C. Composição química, físico-química e atividade antifúngica dos óleos essenciais da flor e do fruto de *Myrcia guianensis* (Aubl.) DC. **Revista Principia**, v. 52, p. 92-104, 2020.

MOBARAK, H. et al. The prospects of biolubricants as alternatives in automotive applications. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 33, p. 34-43, 2014. ISSN 1364-0321.

MORETTO, E. **Tecnologia de óleos e gorduras vegetais na indústria de alimentos.** Varela, 1998. ISBN 858551941X.

MULLER, C. H. et al. **A cultura do cupuaçu.** EMBRAPA-SPI Brasília, 1995. ISBN 8585007540.

NAKAGAWA, K.; NAGAO, H. Microencapsulation of oil droplets using freezing-induced gelatin-acacia complex coacervation. **Colloids and surfaces A: physicochemical and engineering aspects**, v. 411, p. 129-139, 2012. ISSN 0927-7757.

NAWAS, T. et al. Impact of wall material on the physicochemical properties and oxidative stability of microencapsulated spray dried silver carp oil. **Journal of Aquatic Food Product Technology**, v. 28, n. 1, p. 49-63, 2019. ISSN 1049-8850.

NELSON, D. L.; COX, M. M. **Princípios de Bioquímica de Lehninger-7.** Artmed Editora, 2018. ISBN 858271534X.

NESTERENKO, A. et al. Influence of soy protein's structural modifications on their microencapsulation properties: α -Tocopherol microparticle preparation. **Food Research International**, v. 48, n. 2, p. 387-396, 2012. ISSN 0963-9969.

OLIVEIRA, A. A. D. L. A. **Caracterização agrônômica do camapu (*Physalis angulata* L.), qualidade pós colheita e aproveitamento tecnológico dos frutos.** 2018. Dissertação (Mestrado em Agricultura no Trópico Úmido)- Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus.

OLIVEIRA, M.; LUZIA, D. M. M.; JORGE, N. Caracterização físico-química de manteigas de frutos amazônicos. **ForScience**, v. 9, n. 2, p. e00979-e00979, 2021. ISSN 2318-6356.

OLIVEIRA, T. S. D. Microencapsulação e estabilidade oxidativa do óleo de castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa*) com concentrados proteicos vegetais. 2019.

ORTIZ, S. E. M. et al. Production and properties of casein hydrolysate microencapsulated by spray drying with soybean protein isolate. **LWT-Food Science and Technology**, v. 42, n. 5, p. 919-923, 2009. ISSN 0023-6438.

PASSOS, R. B. D. **Desenvolvimento de um produto alimentício para atletas rico em proteína de ervilha (*Pisum sativum* L.) e carboidratos**. 2013. Instituto de Nutrição Josué de Castro da Universidade Federal do Rio de Janeiro. 105 p.

PELLICER, J. A. et al. Stability of microencapsulated strawberry flavour by spray drying, freeze drying and fluid bed. **Powder Technology**, v. 347, p. 179-185, 2019. ISSN 0032-5910.

PIERUCCI, A. P. T. et al. Comparison of α -tocopherol microparticles produced with different wall materials: pea protein a new interesting alternative. **Journal of Microencapsulation**, v. 24, n. 3, p. 201-213, 2007. ISSN 0265-2048.

PUGLIESE, A. G. **Compostos fenólicos do cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) e do cupulate: Composição e possíveis benefícios**. 2010. Universidade de São Paulo

RAYMUNDO, A. et al. Fat mimetic capacity of *Chlorella vulgaris* biomass in oil-in-water food emulsions stabilized by pea protein. **Food Research International**, v. 38, n. 8-9, p. 961-965, 2005. ISSN 0963-9969.

REZENDE, Y. R. R. S.; NOGUEIRA, J. P.; NARAIN, N. Microencapsulation of extracts of bioactive compounds obtained from acerola (*Malpighia emarginata* DC) pulp and residue by spray and freeze drying: Chemical, morphological and chemometric characterization. **Food Chemistry**, v. 254, p. 281-291, 2018. ISSN 0308-8146.

RIGHETTO, A. M. Caracterização físico-química e estabilidade de suco de acerola verde microencapsulado por atomização e liofilização. Tese (Doutorado em Ciência da Nutrição) 200p. Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2003.

ROGEZ, H. et al. Chemical composition of the pulp of three typical Amazonian fruits: araçá-boi (*Eugenia stipitata*), bacuri (*Platonia insignis*) and cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*). **European Food Research and Technology**, v. 218, n. 4, p. 380-384, 2004. ISSN 1438-2385.

RUSLI, J. K.; SANGUANSRI, L.; AUGUSTIN, M. A. Stabilization of oils by microencapsulation with heated protein-glucose syrup mixtures. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 83, n. 11, p. 965-972, 2006. ISSN 0003-021X.

SAIKIA, S.; MAHNOT, N. K.; MAHANTA, C. L. Optimisation of phenolic extraction from *Averrhoa carambola* pomace by response surface methodology and its microencapsulation by spray and freeze drying. **Food chemistry**, v. 171, p. 144-152, 2015. ISSN 0308-8146.

SANTO, E. F. D. E. et al. Comparison between freeze and spray drying to obtain powder *Rubrivivax gelatinosus* biomass. **Food Science and Technology**, v. 33, p. 47-51, 2013. ISSN 0101-2061.

SANTOS, G. S. D. et al. Desenvolvimento e caracterização de nanopartículas lipídicas destinadas à aplicação tópica de dapsona. **Química Nova**, v. 35, n. 7, p. 1388-1394, 2012. ISSN 0100-4042.

SANTOS, N. et al. Study on drying of black rice (*Oryza sativa* L.) grains: Physical-chemical and bioactive quality. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 9, p. p203, 2019. ISSN 1916-9752.

SANTOS, T. A. D. AGROECOLOGIA E COMUNIDADES DA AMAZÔNIA: um estudo da inserção das comunidades de Bragança (PA) na produção agroecológica. **Acta Geográfica**, v. 15, n. 37, p. 94-123, 2021. ISSN 2177-4307.

SARKAR, S.; SINGHAL, R. S. Esterification of guar gum hydrolysate and gum Arabic with n-octenyl succinic anhydride and oleic acid and its evaluation as wall material in microencapsulation. **Carbohydrate Polymers**, v. 86, n. 4, p. 1723-1731, 2011. ISSN 0144-8617.

SERFERT, Y.; DRUSCH, S.; SCHWARZ, K. Chemical stabilisation of oils rich in long-chain polyunsaturated fatty acids during homogenisation, microencapsulation and storage. **Food Chemistry**, v. 113, n. 4, p. 1106-1112, 2009. ISSN 0308-8146.

SHAHIDI, F.; HAN, X. Q. Encapsulation of food ingredients. **Critical Reviews in Food Science & Nutrition**, v. 33, n. 6, p. 501-547, 1993. ISSN 1040-8398.

SILVA, E.; SOARES, I. Tecnologia de emulsões. **Cosmet. Toiletries**, v. 8, n. 5, p. 37-46, 1996.

SOUZA, A. **Boas práticas agrícolas da cultura do cupuaçuzeiro**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2007.

SOUZA, S. J. F. D. **Estudo da atividade de água em co-produtos da indústria de sucos: sementes de maracujá, casca de laranja e cascas de manga**. 2015. Tese (Doutorado em Ciências dos Alimentos) 86p. Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos, do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto.

STRINGHETA, P. C. et al. Luteína: propriedades antioxidantes e benefícios à saúde. **Alimentos e Nutrição Araraquara**, v. 17, n. 2, p. 229-238, 2009. ISSN 2179-4448.

SUAVE, J. et al. Microencapsulação: Inovação em diferentes áreas. **Revista Saúde e Ambiente/Health and Environment Journal**, v. 7, n. 2, p. 12-20, 2006.

THIES, C. **How to Make Microcapsules: Combined Lecture and Laboratory Manual**. Thies Technology, 1994.

TONON, R. V. et al. Microencapsulation of flaxseed oil by spray drying: Effect of oil load and type of wall material. **Drying Technology**, v. 30, n. 13, p. 1491-1501, 2012. ISSN 0737-3937.

TSAI, P.-J.; SHE, C.-H. Significance of phenol– protein interactions in modifying the antioxidant capacity of peas. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 54, n. 22, p. 8491-8494, 2006. ISSN 0021-8561.

TURCHIULI, C.; DUMOULIN, E. Encapsulation of aroma. **Applications of Encapsulation and Controlled Release**, p. 309, 2019. ISSN 1000566927.

VENTURIERE, G. Cupuaçu: a especie, sua cultura, usos e processamento. 1993.

VENTURIERI, G. A.; AGUIAR, J. P. L. Composição do chocolate caseiro de amêndoas de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* (WILLD EX SPRENG) SCHUM). **Acta Amazonica**, v. 18, n. 1-2, p. 3-8, 1988. ISSN 0044-5967.

VIVAS, E. S. M.-.; AYALA-APONTE, A. A.; SERNA-COCK, L. Ultrasonido y Deshidratación Osmótica como Pretratamientos a la Liofilización de Melón (*Cucumis melo* L.). **Información tecnológica**, v. 30, n. 3, p. 179-188, 2019. ISSN 0718-0764.

VRIESMANN, L. C.; SILVEIRA, J. L.; PETKOWICZ, C. L. D. O. Rheological behavior of a pectic fraction from the pulp of cupuassu (*Theobroma grandiflorum*). **Carbohydrate polymers**, v. 79, n. 2, p. 312-317, 2010.

WANG, T. et al. Green synthesized iron nanoparticles by green tea and eucalyptus leaves extracts used for removal of nitrate in aqueous solution. **Journal of cleaner production**, v. 83, p. 413-419, 2014. ISSN 0959-6526.

ŽILIĆ, S. et al. Effects of isolation, enzymatic hydrolysis, heating, hydration and Maillard reaction on the antioxidant capacity of cereal and legume proteins. **Food research international**, v. 49, n. 1, p. 1-6, 2012. ISSN 0963-9969.

9. Anexos

9.1 Análise de variância para a caracterização da matéria-prima e das microcápsulas

A nova sobre molhabilidade

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
trat	4	214.800000	53.700000	10.196	0.0003
erro	15	79.000000	5.266667		
Total corrigido	19	293.800000			
CV (%) =	10.88				
Média geral:	21.1000000	Número de observações:		20	

A nova sobre higroscopicidade

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
trat	4	0.002462	0.000615	3.054	0.0501
erro	15	0.003023	0.000202		
Total corrigido	19	0.005485			
CV (%) =	10.95				
Média geral:	0.1296350	Número de observações:		20	

A nova sobre rendimento

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	4	1.934004	0.483501	2.829	0.0623
erro	15	2.563330	0.170889		
Total corrigido	19	4.497334			
CV (%) =	0.56				
Média geral:	74.2764950	Número de observações:		20	

A nova sobre eficiência

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	4	11.200530	2.800132	1.144	0.3736
erro	15	36.703725	2.446915		
Total corrigido	19	47.904255			
CV (%) =	1.66				
Média geral:	94.4865000	Número de observações:		20	

9.2 Análise de variância para acidez e pH durante o armazenamento

Índice de acidez- semana 1					
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
trat	4	0.060920	0.015230	0.659	0.6297
erro	15	0.346575	0.023105		
Total corrigido	19	0.407495			
CV (%) =	12.61				
Média geral:	1.2055000	Número de observações:		20	

Índice de acidez- semana 2					
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
trat	4	0.133000	0.033250	1.096	0.3940
erro	15	0.455000	0.030333		
Total corrigido	19	0.588000			
CV (%) =	18.14				
Média geral:	0.9600000	Número de observações:		20	

Índice de acidez- semana 3					
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>F
trat	4	0.170000	0.042500	1.364	0.293
erro	15	0.467500	0.031167		
Total corrigido	19	0.637500			
CV (%) =	17.22				
Média geral:	1.0250000	Número de observações:		20	

Índice de acidez- semana 4					
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
trat	4	0.028000	0.007000	0.309	0.8676
erro	15	0.340000	0.022667		
Total corrigido	19	0.368000			
CV (%) =	19.81				
Média geral:	0.7600000	Número de observações:		20	

Índice de acidez- semana 5					
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
trat	4	0.027000	0.006750	0.335	0.8500
erro	15	0.302500	0.020167		
Total corrigido	19	0.329500			
CV (%) =	19.06				
Média geral:	0.7450000	Número de observações:		20	

Índice de acidez- semana 6					
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
trat	4	0.005050	0.001263	0.138	0.9650
erro	15	0.136750	0.009117		
Total corrigido	19	0.141800			
CV (%) =	17.36				
Média geral:	0.5500000	Número de observações:		20	

Ph-semana 1					
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	4	0.003370	0.000842	0.079	0.9877
erro	15	0.160650	0.010710		
Total corrigido	19	0.164020			
CV (%) =	1.58				
Média geral:	6.5530000	Número de observações:		20	

Ph-semana 2					
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
trat	4	0.019600	0.004900	0.768	0.5625
erro	15	0.095700	0.006380		
Total corrigido	19	0.115300			
CV (%) =	1.22				
Média geral:	6.5650000	Número de observações:		20	

Ph-semana 3					
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
trat	4	0.038980	0.009745	0.697	0.6057
erro	15	0.209700	0.013980		
Total corrigido	19	0.248680			
CV (%) =	1.81				
Média geral:	6.5260000	Número de observações:		20	

Ph- semana 4					
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
trat	4	0.029330	0.007332	0.702	0.6028
erro	15	0.156725	0.010448		
Total corrigido	19	0.186055			
CV (%) =	1.56				
Média geral:	6.5435000	Número de observações:		20	

Ph- semana 5					
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
trat	4	0.066730	0.016682	1.804	0.1806
erro	15	0.138725	0.009248		
Total corrigido	19	0.205455			
CV (%) =	1.46				
Média geral:	6.5865000	Número de observações:		20	

Ph- semana 6					
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
trat	4	0.032170	0.008043	0.506	0.7320
erro	15	0.238350	0.015890		
Total corrigido	19	0.270520			
CV (%) =	1.93				
Média geral:	6.5380000	Número de observações:		20	

9.3 Análise de variância para atividade de água e umidade durante o armazenamento

Atividade de água- semana 1					
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
trat	4	5.780000000E-0007	1.445000000E-0007	0.908	0.4843
erro	15	0.000002	1.59166667E-0007		
Total corrigido	19	0.000003			
CV (%) =	3.52				
Média geral:	0.0113350	Número de observações:		20	

Atividade de água- semana 2					
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
trat	4	1.200000000E-0008	3.00000000E-0009	1.500	0.2520
erro	15	3.00000000E-0008	2.00000000E-0009		
Total corrigido	19	0.000000			
CV (%) =	0.21				
Média geral:	0.0212300	Número de observações:		20	

Atividade de água- semana 3					
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
trat	4	0.000080	0.000020	1.000	0.4380
erro	15	0.000300	0.000020		
Total corrigido	19	0.000380			
CV (%) =	9.13				
Média geral:	0.0490000	Número de observações:		20	

Atividade de água- semana 4					
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
trat	4	2.00000000E-0009	5.00000000E-0010	0.158	0.9564
erro	15	4.75000000E-0008	3.16666667E-0009		
Total corrigido	19	0.000000			
CV (%) =	0.08				
Média geral:	0.0698550	Número de observações:		20	

Atividade de água- semana 5					
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
trat	4	3.00000000E-0009	7.50000000E-0010	0.750	0.5732
erro	15	1.50000000E-0008	1.00000000E-0009		
Total corrigido	19	0.000000			
CV (%) =	0.04				
Média geral:	0.0711100	Número de observações:		20	

Atividade de água- semana 6					
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
trat	4	0.000021	0.000005	1.054	0.4129
erro	15	0.000076	0.000005		
Total corrigido	19	0.000097			
CV (%) =	2.23				
Média geral:	0.1004150	Número de observações:		20	

Umidade- semana 1					
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
trat	4	0.225080	0.056270	0.631	0.6479
erro	15	1.337500	0.089167		
Total corrigido	19	1.562580			
CV (%) =	6.71				
Média geral:	4.4510000	Número de observações:		20	

Umidade- semana 2					
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
trat	4	0.575320	0.143830	1.726	0.1966
erro	15	1.249775	0.083318		
Total corrigido	19	1.825095			
CV (%) =	6.79				
Média geral:	4.2530000	Número de observações:		20	

Umidade- semana 3					
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
trat	4	0.771480	0.192870	1.556	0.2369
erro	15	1.859550	0.123970		
Total corrigido	19	2.631030			
CV (%) =	8.30				
Média geral:	4.2435000	Número de observações:		20	

Umidade- semana 4					
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
trat	4	0.867933	0.216983	2.241	0.1134
erro	15	1.452423	0.096828		
Total corrigido	19	2.320356			
CV (%) =	7.29				
Média geral:	4.2679000	Número de observações:		20	

Umidade- semana 5					
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
trat	4	2.345720	0.586430	2.196	0.1188
erro	15	4.005700	0.267047		
Total corrigido	19	6.351420			
CV (%) =	12.72				
Média geral:	4.0630000	Número de observações:		20	

Umidade- semana 6					
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
trat	4	0.383770	0.095943	0.390	0.8125
erro	15	3.689050	0.245937		
Total corrigido	19	4.072820			
CV (%) =	11.69				
Média geral:	4.2430000	Número de observações:		20	

9.4 Análise de variância para índice de peróxido durante o armazenamento

Índice de Peróxido- semana 1

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
trat	4	0.000770	0.000193	0.947	0.4643
erro	15	0.003050	0.000203		
Total corrigido	19	0.003820			
CV (%) =	0.93				
Média geral:	1.5330000	Número de observações:	20		

Índice de Peróxido- semana 2

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
trat	4	0.000870	0.000218	0.870	0.5045
erro	15	0.003750	0.000250		
Total corrigido	19	0.004620			
CV (%) =	0.29				
Média geral:	5.5370000	Número de observações:	20		

Índice de Peróxido- semana 3

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
trat	4	0.000320	0.000080	0.154	0.9583
erro	15	0.007800	0.000520		
Total corrigido	19	0.008120			
CV (%) =	0.27				
Média geral:	8.3280000	Número de observações:	20		

Índice de Peróxido- semana 4

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
trat	4	0.000030	0.000007	0.090	0.9842
erro	15	0.001250	0.000083		
Total corrigido	19	0.001280			
CV (%) =	0.08				
Média geral:	10.9140000	Número de observações:	20		

Índice de Peróxido- semana 5

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
trat	4	0.002850	0.000712	0.406	0.8017
erro	15	0.026350	0.001757		
Total corrigido	19	0.029200			
CV (%) =	0.32				
Média geral:	13.0100000	Número de observações:	20		

Índice de Peróxido- semana 6

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
trat	4	0.000120	0.000030	0.002	1.0000
erro	15	0.245975	0.016398		
Total corrigido	19	0.246095			
CV (%) =	0.91				
Média geral:	14.1205000	Número de observações:	20		