

INCORPORAÇÃO DE OLÉOS ESSENCIAIS EM SISTEMAS NANOESTRUTURADOS A BASE DE GORDURA CARVITÁRIA DE PEIXE

INCORPORATION OF ESSENTIAL OILS INTO NANOSTRUCTURED NANOSTRUCTURED SYSTEMS BASED ON FISH CHARCOAL FAT

INCORPORACIÓN DE ACEITES ESENCIALES EN SISTEMAS NANOESTRUTURADOS SISTEMAS NANOESTRUTURADOS A BASE DE GRASA DE CARBÓN DE PESCADO

Mateus da Silva Barros^{1*} ; Aldo Aparecido Proietti Junior²  Suelen Felix Pereira³  Manuele Guedes Queiroga⁴ 

¹Graduando do curso de farmácia da Universidade Federal do Amapá (UNIFAP), Macapá, Amapá, Brasil. orientador: Dr. Aldo Aparecido Proietti Junior. ²Doutorado pela Rede de Biodiversidade e Biotecnologia da Amazônia Legal - Rede Bionorte. Professor Adjunto do Curso de Farmácia da Universidade Federal do Amapá (UNIFAP), Macapá, Amapá, Brasil; ³Doutora em Inovação Farmacêutica pela Universidade Federal do Amapá (UNIFAP). Professora Adjunta do Curso de Engenharia de Pesca da Universidade Estadual do Amapá (UEAP), Macapá, Amapá, Brasil; ⁴Graduanda do curso de farmácia da Universidade Federal do Amapá (UNIFAP), Macapá, Amapá, Brasil.

E-mail: mateussilvbarros@gmail.com

Recebido: 10/08/2024 | Aprovado: 04/09/2024 | Publicado: 25/10/2024

Resumo: A aquicultura é cada vez mais reconhecida pela sua contribuição para a segurança alimentar e nutricional global no século XXI. Tais sistemas podem proporcionar um crescimento de 25% no consumo de alimentos aquáticos per capita até 2050. Para enfrentar esses desafios, buscou-se elaborar um produto nutracêutico a partir de subprodutos descartados cujas aplicações se encontram no campo biotecnológico. A associação de gorduras com óleos essenciais se destaca devido à sua eficácia e origem natural. A nanotecnologia, que envolve a redução do tamanho das partículas, tornou-se uma solução para aumentar a estabilidade, biodisponibilidade e eficácia dos óleos essenciais em aquicultura. O estudo teve como objetivo incorporar o óleo essencial de *Piper marginatum* em um sistema nanoestruturado constituído de gordura cavitária de Pirapitinga (*Piaractus brachypomus*) rica em ômega 3, 6 e 9. A gordura foi extraída e esterilizada pelo método de tindalização modificado e adaptado seguida por processo de ultrafiltração a 0,22 µm. O produto final foi obtido pelo método de nanoemulsificação espontânea contendo as duas fontes bioativas. Centramo-nos na valorização dos peixes amazônicos e dos seus subprodutos. Tais fontes de biomoléculas, úteis para a produção sustentável de compostos nutracêuticos, resultaram no desenvolvimento de um produto de base biotecnológica para uso em aquicultura amigável ao meio ambiente com propriedades nutricionais agregado a ação antimicrobianas e imunoestimulantes.

Palavras-chave: Aquicultura. Nutracêutico. *Piaractus brachypomus*. *Piper marginatum*.

Abstract: Aquaculture is increasingly recognized for its contribution to global food and nutrition security in the 21st century. Such systems could lead to a 25% increase in per capita aquatic food consumption by 2050. To meet these challenges, we sought to develop a nutraceutical product from discarded by-products whose applications lie in the biotechnological field. The combination of fats with essential oils stands out due to its effectiveness and natural origin. Nanotechnology, which involves reducing the size of particles, has become a solution for increasing the stability, bioavailability and efficacy of essential oils in aquaculture. The aim of this study was to incorporate Piper marginatum essential oil into a nanostructured system made up of Pirapitinga (*Piaractus brachypomus*) cavity fat rich in omega 3, 6 and 9. The fat was extracted and sterilized using the modified and adapted tindalization method followed by an ultrafiltration process at 0.22 µm. The final product was obtained by the spontaneous nanoemulsification method containing the two bioactive sources. We focused on the valorization of Amazonian fish and their by-products. Such sources of biomolecules, useful for the sustainable production of nutraceutical compounds, resulted in the development of a biotechnology-based product for use in environmentally friendly environmentally friendly aquaculture product with nutritional properties antimicrobial and immunostimulant action.

Keywords: Aquaculture. Nutraceutical. *Piaractus brachypomus*. *Piper marginatum*.

Resumen: La acuicultura es cada vez más reconocida por su contribución a la seguridad alimentaria y nutricional mundial en el siglo XXI. Estos sistemas podrían dar lugar a un aumento del 25% en el consumo de alimentos acuáticos per cápita para 2050. Para hacer frente a estos retos, buscamos desarrollar un producto nutracéutico a partir de subproductos desechados cuyas aplicaciones se sitúan en el campo biotecnológico. La combinación de grasas con aceites esenciales destaca por su eficacia y su origen natural. La nanotecnología, que consiste en reducir el tamaño de las partículas, se ha convertido en una solución para aumentar la estabilidad, biodisponibilidad y eficacia de los aceites esenciales en acuicultura. El objetivo de este estudio fue incorporar el aceite esencial de *Piper marginatum* a un sistema nanoestructurado compuesto por grasa de cavidad de Pirapitinga (*Piaractus brachypomus*) rica en omegas 3, 6 y 9. La grasa se extrajo y esterilizó mediante el método de tindalización modificado y adaptado, seguido de un proceso de ultrafiltración a 0,22 µm. El producto final se obtuvo por el método de nanoemulsificación espontánea conteniendo las dos fuentes bioactivas. Nos centramos en la valorización de los peces amazónicos y sus subproductos. Estas fuentes de biomoléculas, útiles para la producción sostenible de compuestos nutracéuticos, dieron lugar al desarrollo de un producto biotecnológico destinado a la acuicultura respetuosa con el medio ambiente, con propiedades nutricionales añadidas a acciones antimicrobianas e inmunestimulantes.

Palabras-clave: Acuicultura. Nutracéuticos. *Piaractus brachypomus*. *Piper marginatum*.

1 INTRODUÇÃO

A aquicultura é cada vez mais reconhecida pela sua contribuição no século XXI para a segurança alimentar e nutricional global. Os sistemas aquícolas podem proporcionar um crescimento de 25% no consumo de alimentos aquáticos per capita até 2050 (FAO, 2022). Com este crescimento substancial e previsão de um desenvolvimento convicto para os próximos anos, estima-se que só no ano de 2020 foram produzidas cerca de 802.930 toneladas de organismos aquáticos, destacando um aumento de 5,93% se comparado com o ano anterior (Peixe BR, 2021).

A produção aquícola comercial é realizada em sistemas de cultivos intensivos e semi-intensivos, que expõem os animais a grandes níveis de estresse, devido ao transporte, manuseio excessivo, variações na qualidade da água e na grande maioria das vezes, uma alimentação limitada a dietas artificiais. Como consequência, os peixes podem ficar suscetíveis a perda de peso e apresentarem baixa imunidade, aumentando assim sua susceptibilidade a doenças (Schalch, França & Silva, 2015).

Para controlar algumas enfermidades adquiridas pelos peixes produzidos em cativeiro, são utilizados medicamentos como antibióticos e antiparasitários, para assim, promover o crescimento e melhorar o sistema imunológico. Porém, o uso desses fármacos pode não ser desejável pois, além de ser prejudicial ao meio ambiente, o consumo desses animais não se mostra atrativo (Tavares-Dias & Martins, 2017).

Muitos produtos fitoterápicos vêm se destacando no mercado por sua eficácia antiparasitária e por se tratar de um produto natural que não prejudica o meio ambiente (Soares *et al.*, 2016). O óleo essencial de *Piper marginatum* apresenta resultados positivos e promissores para o uso na medicina veterinária e na aquicultura. As plantas pertencentes à família Piperaceae são nativas de regiões tropicais e são consideradas com um grande potencial contra doenças antiparasitárias (Potzernheim *et al.*, 2006; Da Silva *et al.*, 2014; Alves *et al.*, 2021).

Os óleos essenciais oriundos desta planta, apresentam grande potencial farmacológico, devido às substâncias bioativas que os compõe, como a 3,4-metilenodioxipropiofenona (Dos Santos *et al.*, 2018). No entanto, os óleos essenciais são caracterizados principalmente por serem compostos altamente voláteis, o que pode ser um fator negativo, pois possuem rápida evaporação, além de não serem miscíveis em água (Sequeda-Castañeda *et al.*, 2015). Por sua alta volatilidade, os óleos essenciais podem sofrer reações negativas por exposições a fatores ambientais como calor, umidade, oxigênio e luz, perdendo assim, as suas atividades biológicas. Diante disto, a nanotecnologia pode ser uma opção a ser considerada para sanar a esses problemas, uma vez que, aumenta a estabilidade e biodisponibilidade dos produtos (Sun *et al.*, 2012).

As gorduras de peixes por sua vez, são muito conhecidas pela sua constituição de ácidos graxos, principalmente o ômega 3, que possui diversas funções benéficas no organismo (Gamboa & Gioielli, 2006). Na espécie Pirapitinga (*Piaractus brachypomus*), os tipos de ácidos graxos encontrados na gordura cavitária são o oleico (ômega 9), palmítico e esteárico, e apresenta baixa acidez, se comparada a óleos e gorduras comerciais (Castelo, 1981). Uma das características mais peculiares pertencentes a essa espécie, é o acúmulo de gordura que se localiza na cavidade abdominal. Essa gordura varia em composição de acordo com a estação do ano, pois depende muito das fontes alimentares consumidas por este peixe, isto interfere inclusive na tonalidade de coloração da gordura, que varia entre as cores amarelo forte a claro. A gordura de peixe de água doce apresenta diferenças na sua composição físico-química em relação a dos peixes de água salgada, diferindo-se nos pontos de fusão, o que confere à gordura excelente plasticidade e no baixo teor de iodo (Castelo, 1981). A utilização da gordura cavitária como agente nutricional em aquicultura apresenta grande potencial, uma vez que se trata de uma substância orgânica, diminuindo assim a chance de rejeição. Além disso, está gordura apresenta constituintes importantes para a nutrição e melhora da saúde dos peixes e seus consumidores, como o ômega 3 e os ácidos graxos oleico, palmítico e esteárico (Castelo, 1981).

A utilização de gorduras e óleos essenciais em sistemas aquícolas é dificultada pela lipofilicidade e conseqüentemente baixa solubilidade em água que apresentam. Porém, com o avanço da ciência, a nanotecnologia surgiu possibilitando o desenvolvimento de sistemas nanoestruturados capazes de resolver estes desafios tecnológicos. Diversos estudos científicos relatam o uso de nanoemulsões como carreadores adequados para óleos essenciais (Echeverria, Albuquerque & Diego, 2019). Com isso, o óleo essencial de *Piper marginatum* devido as já comprovadas atividades antiparasitária e antimicrobiana se mostra promissor para aplicação em aquicultura, via sistemas nanoestruturados (Alves *et al.*, 2021).

As nanoemulsões são dispersões de gotículas de tamanhos diminutos (entre 20-200 nm) em meio aquoso (Solans & Solè, 2012). Uma característica fundamental das nanoemulsões aquosas é que, a escala nanométrica das gotículas melhora a solubilidade do material de partida, uma vez que esta drástica redução no tamanho dos compostos bioativos permite uma maior dissolução, levando assim, a um aumento da biodisponibilidade destes (Sun *et al.*, 2012). Com o avanço da ciência, a nanotecnologia surgiu possibilitando observar, manipular, estudar e desenvolver sistemas nanoestruturados. Estudos científicos relatam o uso de nanoemulsões como carreadores adequados para óleos essenciais. Com isso, alguns óleos essenciais como o de pimenta proveniente da espécie *Piper marginatum* se mostra eficaz apresentando atividade antiparasitária e antimicrobiana (Echeverria, Albuquerque & Diego, 2019).

Uma alternativa que se apresenta favorável ao consumo destes animais é a própria gordura cavitária, uma vez que por se tratar de uma substância orgânica, a chance de rejeição pelos peixes é reduzida. Além disso, a gordura cavitária apresenta constituintes importantes para a nutrição e melhora da saúde, como o ômega 3 e ácidos graxos entre eles o oleico, palmítico e esteárico, assim, deixando as formulações mais atrativas (Castelo, 1981).

A justificativa para a pesquisa de incorporação de óleos essenciais em sistemas nanoestruturados a base de gordura de peixe e testagem *in vitro*, é baseada na necessidade de encontrar alternativas seguras e eficazes para o tratamento de condições nutraceuticas relacionadas ao déficit alimentar e nutricional a criação de peixes pelo

método de cativeiro na aquicultura.

Com a intensificação da piscicultura, os peixes podem tornar-se mais susceptíveis às enfermidades em decorrência de estresse e má qualidade da água, que favorecem principalmente a proliferação de parasitos. Antibióticos e quimioterápicos são utilizados para o tratamento dessas doenças em animais aquáticos. Porém, sua utilização tem trazido efeitos negativos, tanto para o meio ambiente como para a saúde humana.

O estudo teve a proposta da produção de um sistema de carreamento nanoestruturado que permita a incorporação de um composto bioativo associado a um subproduto de peixe. A possibilidade de utilização de um composto bioativo carreado por gordura nanoestruturada permite melhorar a biodisponibilidade e eficácia terapêutica do óleo essencial de *Piper marginatum* Jacq. (Piperaceae).

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da pesquisa

A validação do produto nutracêutico desenvolvido, será fundamental para fornecer dados científicos sólidos sobre sua eficácia e segurança antes de ser considerado como uma opção nutracêutica e terapêutica viável para animais utilizados nos sistemas de aquicultura. Isso pode levar ao desenvolvimento de novas abordagens terapêuticas mais seguras e eficazes, com potencial para melhorar a qualidade de vida desses animais.

2.2 Área de Estudo

As pesquisas e experimentos serão realizados no Laboratório Especial de Microbiologia Aplicada (LEMA) e no Laboratório de Nanotecnologia Fitofarmacêutica (NANOFITO) localizados no campus da Universidade Federal do Amapá (UNIFAP).

2.3 Extração da gordura carvítária *Piaractus Brachypomus*

A matéria-prima utilizada trata-se da gordura que se localizada na região cavitária da espécie *Piaractus brachypomus*, a coleta ocorreu no dia 09/01/2023 na Peixaria São Pedro e esse peixe foi proveniente de pisciculturas da região. Os peixes foram partidos ao meio, evidenciando a cavidade abdominal. A gordura extraída manualmente, foi colocada em sacos transparentes esterilizados, que foram acondicionados em uma caixa isotérmica e transportado para o Laboratório Especial de Microbiologia Aplicada/UNIFAP para processamento.

O rendimento bruto de gordura cavitária foi de 365,82 g, reduzido para 342,89 g após limpeza com auxílio de pinças e tesouras cirúrgicas. A gordura foi cortada em pequenos pedaços, adicionadas a um Becker de 500mL, que foi tampado com papel grau cirúrgico, fechado com barbante de algodão e levado para autoclave para a extração do óleo.

2.4 Obtenção Do Óleo

O óleo da gordura cavitária foi extraído à quente em uma autoclave vertical com capacidade de 75L e o processo de esterilização foi feito pelo método de tindalização adaptado.

2.5 Processo De Filtração À Vácuo

O óleo extraído foi mantido à temperatura de 40°C em estufa e em seguida foi ultrafiltrado à vácuo para remoção de partículas sólidas. O processo de ultrafiltração ocorreu utilizando um sistema descartável contendo membrana filtrante de 0,22 micrômetros de porosidade, acoplado a uma bomba à vácuo. Esse processo foi realizado no Laboratório de Nanotecnologia Fitofarmacêutica. Após a filtração, o óleo foi distribuído em frascos Roux de 40 mL, embalados com papel alumínio para proteção de luz e foram armazenados na geladeira a 3°C para conservação até sua utilização.

2.6 Óleo Essencial De *Piper Marginatum*

O óleo essencial de *Piper marginatum* foi uma doação/colaboração da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Sua extração foi realizada pelo método de hidrodestilação a vapor das folhas e inflorescências da planta, utilizando aparato Clevenger. As plantas utilizadas para a extração do óleo foram cultivadas no Setor de Plantas Medicinais e Vegetais da EMBRAPA do Oeste Amazônico em Manaus, no Estado do Amazonas. O perfil fitoquímico do óleo essencial de *Piper marginatum* também foi fornecido pela EMBRAPA e foi obtido por Espectrometria de Fase Gasosa acoplado a um detector de massa.

2.7 Formulação Nanoemulsões De Óleo De Peixe E Óleo Essencial De Pimenta

As nanoemulsões com potencial nutracêutico foram elaboradas por metodologia de baixo aporte de energia utilizando solvente orgânico e tensoativos não iônicos, resultando em uma emulsificação espontânea. As nanoemulsões foram formuladas utilizando-se da mesma proporção entre tensoativos, óleo de peixe e óleo essencial. O processo se inicia com a elaboração da fase orgânica, composta pela mistura dos tensoativos escolhido com o óleo de peixe e óleo essencial. A fase orgânica foi adicionada de solvente orgânico e em seguida em água destilada e agitada em Vórtex. O solvente foi retirado com auxílio de evaporador rotativo.

Dados com relação a metodologia do preparo da formulação da nanoemulsões com a gordura cavitária e o óleo essencial de pimenta possuem limitações para divulgação externa, devido ao processo de patente que está sendo realizado em paralelo.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Rendimento De Óleo De Peixe

A partir dos 342,84 g de gordura cavitária que foi submetida ao processo de autoclavagem, obteve-se um volume de aproximadamente 250mL de óleo, correspondendo a um rendimento de 59,73%.

3.2 Características Do Óleo De Peixe

O óleo de gordura cavitária de peixe quando em temperatura ambiente apresenta duas fases bem distintas, cada uma com um ponto de fusão diferente, sendo uma fase líquida e menos densa e outra fase sólida e mais densa (Fig. 1). A fase mais densa, de aspecto microgranuloso, provavelmente corresponde a uma fração rica em ácido esteárico, já

que esta granulidade é uma característica macroscópica deste ácido graxo saturado (Wang *et al.*, 2021).

Figura 1 - Óleo de peixe bifásico.



Fonte: Próprio autor, 2024.

3.3 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO ÓLEO ESSENCIAL DE *Piper marginatum*

O óleo essencial de *Piper marginatum* fornecido pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), teve seu perfil fitoquímico determinado por Alves *et al.* (2021) cujos constituintes estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1 – Constituintes químicos dos óleos essenciais de *Piper marginatum*.

Nº	Índice de retenção	Conteúdo (%)	Constituintes
1.	931	0.6	α -pineno
2.	974	0.5	β -pineno
3.	988	0.5	Mirceno
4.	1,003	0.7	α -felandreno
5.	1,009	4.0	δ -3-Careno
6.	1,022	0.2	p-cimeno
7.	1,025	0.6	Limoneno
8.	1,034	3.6	(Z)- β -ocimeno
9.	1,045	5.9	(E)- β -ocimeno
10.	1,085	0.1	Terpinoleno
11.	1,100	0.1	Linalol
12.	1,196	0.9	metil-chavicol
13.	1,286	5.3	Safrol
14.	1,331	0.6	δ -elemeno
15.	1,369	3.2	α -copaeno
16.	1,377	0.6	β -bourboneno
17.	1,383	0.3	β -cubeno
18.	1,385	0.7	β -elemeno
19.	1,405	4.1	metil-eugenol
20.	1,412	5.2	(E)-cariofileno
21.	1,420	0.2	β -copaeno
22.	1,430	0.1	Aromadendreno
23.	1,444	0.7	α -humuleno
24.	1,451	0.3	allo-aromadendreno
25.	1,457	0.7	Croweacina

26.	1,461	0.1	4,5-di-epi-aristolocheno
27.	1,469	0.2	β -muuroleno
28.	1,473	3.7	germacreno D
29.	1,477	1.9	β -selineno
30.	1,488	3.5	Biciclogermacreno
31.	1,493	0.8	Sarisan
32.	1,496	0.4	trans- β -guaieño
33.	1,502	0.2	germacreno-A
34.	1,516	1.6	δ -cadineno
35.	1,538	20.8	3,4-metilenodioxipropiofenona
36.	1,546	2.0	Elemol
37.	1,559	3.8	Elemicina
38.	1,561	0.4	(E)-nerolidol
39.	1,571	1.3	germacreno-D-4-ol + espatulenol
40.	1,574	0.8	γ -asarona
41.	1,576	0.4	Óxido de cariofileno
42.	1,599	0.2	Rosifoliol
43.	1,608	0.3	Fonenol
44.	1,610	0.3	10-epi- γ -eudesmol
45.	1,624	0.8	γ -eudesmol
46.	1,634	4.5	2-hidroxi-4,5-metilenodioxipropiofenona
47.	1,643	1.5	β -eudesmol
48.	1,646	0.4	α -eudesmol
49.	1,648	1.4	α -cadinol
50.	1,650	0.9	neo-intermedeol
Total identificado (%)		91.8	

Fonte: Modificada de Alves et al. (2021).

Os principais constituintes do óleo essencial de *P. marginatum* foram os seguintes: 3,4-metilenodioxipropiofenona (20,8%), (E)- γ -ocimeno (5,9%), safrol (5,3%) e (E)-cariofileno (5,2%) e 2-hidroxi-4,5-metilenodioxipropiofenona (4,5%).

Alves et al. (2021), também analisaram a eficácia do óleo essencial de *Piper marginatum* em ensaios in vitro frente a parasitas monogenéticos que afetam *Colossoma macropomum*. Os resultados mostraram que uma breve exposição ao óleo essencial causa a mortalidade de *Anacanthorus spathulatus*, *Notozothecium janauachensis*, *Mymarothecium boegeri*, *Linguadactyloides brinkmanni* e *Neoechinorhynchus buttnerae*. Adicionalmente, é digno de nota que o óleo essencial de *Piper marginatum* também apresentou uma notável atividade anestésica, aumentando desta forma seu potencial biotecnológico.

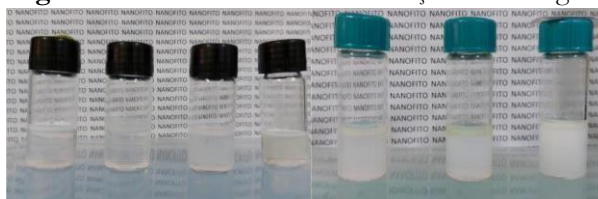
Desta maneira, diversos foram os fatores que justificaram neste estudo a escolha do óleo essencial de *Piper marginatum* para o desenvolvimento da nano formulação com finalidade nutracêutica destinada à aplicação na aquicultura.

3.4 Nanoemulsões De Óleo De Peixe E Óleo Essencial De Pimenta

Inicialmente foi desenvolvida nanoemulsões apenas a base do óleo de peixe e durante a realização dos experimentos houve inúmeras tentativas de estabilizar a nanoemulsão composta pelo óleo de peixe integral. Vários

métodos e tensoativos foram utilizados para produzir uma nanoemulsão estável, porém os sistemas apresentaram cremagem demonstrando a instabilidade da nanoemulsão (Fig. 2).

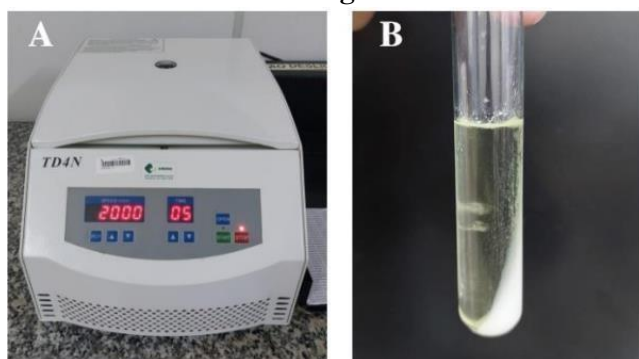
Figura 2 - Nanoemulsões com formação de cremagem



Fonte: Próprio autor, 2024.

A partir disso, a solução tecnológica buscada para este caso foi utilizar apenas a fase líquida do óleo. Para isso foi realizada a centrifugação do óleo a 200 rpm por 5 minutos, separando as fases totalmente e utilizando o sobrenadante no desenvolvimento da nanoemulsão (Fig. 3).

Figura 3 - Processo de centrifugação do óleo



A - Centrifuga a 200rpm por 5 minutos.

B - Óleo de peixe centrifugado: fases separadas.

Fonte: Próprio autor, 2024.

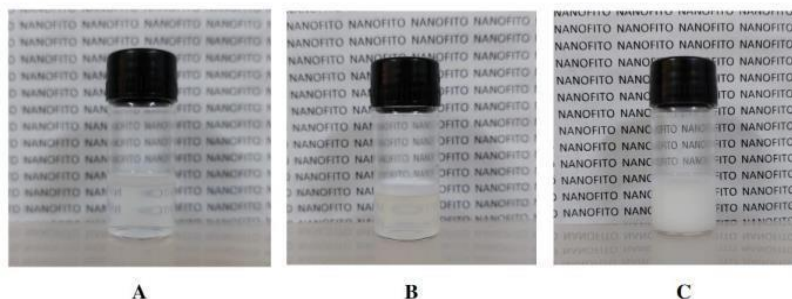
Seguindo os conceitos de tentativa e erro, foram realizadas inúmeras tentativas de desenvolvimento de uma nanoemulsão estável, com a utilização de três tipos de tensoativos (A, B e C). Comparando as formulações, as obtidas com os tensoativos A e B apresentaram formação de cremagem, enquanto a obtida com tensoativo C apresentou uma maior estabilidade (Fig. 4 e 5).

Desta forma, após a adaptação realizada para a utilização apenas da fração líquida e menos densa do óleo de peixe, foi possível a obtenção de uma nanoemulsão mais próxima de um nutracêutico, apresentando gotículas reduzidas que atendessem ao critério de utilização para o propósito inicial.

Figura 4 - Comparação entre as nanoemulsões de diferentes tensoativos dia 0.
Dia 0



Fonte: Próprio autor, 2024.

Figura 5 - Comparação entre as nanoemulsões de diferentes tensoativos dia 7.**Dia 07**

Fonte: Próprio autor, 2024.

Todas as formulações do ponto de vista macroscópico apresentaram cores claras, sendo a obtida com o tensoativo C sendo mais branca e demais mais translúcidas. Além disso, outro aspecto que se mostrou igual entre as emulsões é que todas possuem característica do reflexo azulado, típico das nanoemulsões.

4 CONCLUSÃO

Com a diminuição das gotículas em escala nanométrica, o óleo essencial e o óleo de gordura cavitaria de peixe apresentaram uma maior solubilidade em água, assim, aumentando sua biodisponibilidade e consequentemente seus benefícios. Com a produção desse nutracêutico apresentado sob a forma de nanoemulsão, por possuir compostos bioativos importantes para a promoção da saúde, esta fórmula pode funcionar tanto como forma de prevenção de doenças, como tratamento aos animais submetidos ao seu consumo. A partir disso, esse produto poderá ser oferecido aos produtores de pescado como solução para diversos problemas relacionados à saúde e bem-estar do animal.

Considerando ainda, este método simples, econômico e que não apresenta riscos ao meio ambiente, por se tratar de um suplemento alimentar natural, esse produto pode apresentar resultados positivos ao ramo da aquicultura, atendendo as necessidades dos piscicultores de maneira prática e eficaz.

Mais Informações do presente estudo estão protegido através de confidencialidade e sigilo de patente.

Conflitos de interesses

Os autores declaram que não há conflitos de interesse. Todos os autores estão cientes da submissão do artigo.

Contribuições dos autores

Suélen Felix Pereira contribuiu na redação e revisão crítica do manuscrito; e, aprovação final da versão a ser publicada. Aldo Aparecido Proietti Junior contribuiu na análise e interpretação dos dados, redação do artigo e aprovação final da versão a ser publicada. Manuele Guedes Queiroga contribuiu na análise e redação do artigo; e aprovação final da versão a ser publicada.

REFERÊNCIAS

Alves, C. M. G. *et al.* (2021). Essential oil of *Piper callosum*, *Piper hispidum* and *Piper marginatum* (Piperaceae) possesses in vitro efficacy against monogeneans of *Colossoma macropomum* (tambaqui). *Aquaculture Research*, 52 (12), 6107-6116.

- Castelo, F. P. (1981). Características da gordura cavitária da pirapitinga, *Colossoma bidens*, e do pacu-caranha, *Colossoma mitrei*. *Acta Amazonica*, 11(1), 255-265.
- Da Silva, J. K. R. *et al.* (2014). Essential oils of Amazon Piper species and their cytotoxic, antifungal, antioxidant and anti-cholinesterase activities. *Industrial Crops and Products*, 58 (1), 55-60.
- Dos Santos, W. B. *et al.* (2018). Eficácia in vitro de óleos essenciais de espécies de Piperaceae no controle do acantocéfalo *Neoechinorhynchus buttnerae*, 12(4): 460-469.
- Echeverria, J., Albuquerque, D. G. D., & Diego R. (2019). Nanoemulsions of essential oils: new tool for control of vector-borne diseases and in vitro effects on some parasitic agents. *Medicines*, 6(2), 42.
- FAO. (2022). The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Towards Blue Transformation. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0461en>.
- Gamboa, O. W. D.; & Gioielli, L. A. (2006). Comportamento de cristalização de lipídios estruturados obtidos a partir de gordura de palmiste e óleo de peixe. *Química Nova*, 29(1), 646-653.
- PEIXEBR - Associação Brasileira da Piscicultura. (2021). Anuário PeixeBR da piscicultura 2021. <https://www.peixebr.com.br/anuario-peixe-br-da-piscicultura-2021>.
- Potzernheim, M. *et al.* 2006. Chemical characterization of seven Piper species (Piperaceae) from Federal District, Brazil, based on volatile oil constituents. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, 8 (1), 10-12.
- Schalch, S. H. C., França, F. M., & Silva, S. M. P. (2015). Fitoterápicos na piscicultura: revisão comentada. *Aquicultura no Brasil*, c.12, 237.
- Sequeda-Castañeda, L. G. *et al.* (2015). *Piper marginatum* jacq. (piperaceae): phytochemical, therapeutic, botanical insecticidal and phytosanitary uses. *Pharmacology Online*, 3(1), 136-145.
- Soares, B. V. *et al.* (2016). Antiparasitic activity of the essential oil of *Lippia alba* on ectoparasites of *Colossoma macropomum* (tambaqui) and its physiological and histopathological effects. *Aquaculture*, 452(1), 107-114.
- Solans, C., & Solé, I. (2012). Nano-emulsions: Formation by low-energy methods. *Current Opinion in Colloid and Interface Science*, 17(1), 246-254.
- Sun, M. *et al.* (2012). Advances in nanotechnology-based delivery systems for curcumin. *Nanomedicine*, 7(7), 1085-1100.
- Tavares-Dias, M., & Martins, M. L. (2017). An overall estimation of losses caused by diseases in the Brazilian fish farms. *Journal of parasitic diseases: official organ of the Indian Society for Parasitology*, 41(4), 913-918. <https://doi.org/10.1007/s12639-017-0938-y>.
- Wang, R. *et al.* (2021). Microcapsules composed of stearic acid core and polyethylene glycol-based shell as a microcapsule phase change material. *International Journal of Energy Research*, 45(6), 9677-9684.