



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE SAÚDE COLETIVA
BACHARELADO INTERDISCIPLINAR EM SAÚDE**

KIANNA VITÓRIA DOS SANTOS FERREIRA

**DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIBACTERIANA DE
NANOEMULSÕES DE ÓLEO DE PATAUÁ (*Oenocarpus bataua*)**

**SANTARÉM – PA
2024**

KIANNA VITÓRIA DOS SANTOS FERREIRA

**DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIBACTERIANA DE
NANOEMULSÕES DE ÓLEO DE PATAUÁ (*Oenocarpus bataua*)**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado a Banca examinadora do Curso de
Bacharelado Interdisciplinar em Saúde da
Universidade Federal do Oeste do Pará
(UFOPA) para obtenção de título de Bacharel
em Saúde.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Rayanne R. Pereira

**SANTARÉM – PARÁ
2024**

KIANNA VITÓRIA DOS SANTOS FERREIRA

**DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIBACTERIANA DE
NANOEMULSÕES DE ÓLEO DE PATAUÁ (*Oenocarpus bataua*)**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado a Banca examinadora do Curso de
Bacharelado Interdisciplinar em Saúde da
Universidade Federal do Oeste do Pará
(UFOPA) para obtenção de título de Bacharel
em Saúde

Conceito: 9,8

Data de aprovação: 24/05/23

Prof^a Dr^a Rayanne R. Pereira – Orientadora
Universidade Federal do Oeste do Pará

Prof. Dr. Andrei Silva Freitas
Universidade Federal do Oeste do Pará

Esp. Kamila Brielle Pantoja Vasconcelos
Universidade Federal do Oeste do Pará



UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE SAÚDE COLETIVA
COORDENAÇÃO ACADÊMICA
Fone (093) 2101-4933 / Email: coordenacaocademica.isco@ufopa.edu.br

ATA DE DEFESA DE TCC

Aos 24 de maio de 2024, às 16 horas, foi convocada e formada a banca examinadora composta de três professores e/ou autoridades nesta Universidade, abaixo nominados, **Andrei Silva Freitas, Kamila Brielle Pantoja Vasconcelos e Rayanne Rocha Pereira**, para o exame do trabalho escrito, apresentação oral do Trabalho de Conclusão de Curso - TCC, elaborado pelo acadêmico **Kianna Vitória dos Santos Ferreira**, cujo título é **“Desenvolvimento e avaliação da atividade antibacteriana de nanoemulsões de óleo de pataú (Oenocarpus bataua)”**. Foi concedido o tempo máximo de 20 minutos para o acadêmico fazer a exposição oral do trabalho, atribuindo-se outros 30 minutos para arguições. Após a apresentação foram feitas as arguições ao acadêmico, visando a avaliação e crédito na disciplina. Concluídas as arguições, a banca passou à deliberação sobre a avaliação, considerando os seguintes critérios: Qualidade Técnica do Trabalho; Domínio do Conteúdo; Qualidade na Exposição Oral; Clareza e Coerência dos Objetivos da Pesquisa, Problemática, Métodos e Formas de Intervenção; e Referencial Teórico, Resultados e Bibliografia. Após a deliberação, concluída à presente banca de exame de TCC, trabalho foi considerado:

- (X) Aprovado (nota $\geq 6,0$).
() Reprovado (nota $< 6,0$).

Professor (a)	Função	Nota (0 a 10)
Andrei Silva Freitas	Membro	9,8
Kamila Brielle Pantoja Vasconcelos	Membro	9,5
	Média	9,8

A entrega da versão final do TCC, com as devidas alterações apontadas pela Banca Examinadora, deverá ocorrer no prazo de 15 (quinze) dias após defesa.

Assinaturas dos membros da banca

Presidente - Rayanne R. Pereira
Membro - Kamila Brielle P. Vasconcelos
Membro - Andrei Silva Freitas

Santarém, 24 de maio de 2024.

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/UFOPA

-
- F383d Ferreira, Kianna Vitória dos Santos
 Desenvolvimento e avaliação da atividade antibacteriana de nanoemulsões de
 óleo de pataúá (*Oenocarpus bataua*) / Kianna Vitória dos Santos Ferreira. – Santa-
 rém, 2024.
 37 p. ; il.
 Inclui bibliografias.
- Orientação: Rayanne Rocha Pereira.
 Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Oeste do Pa-
 rá, Instituto de Saúde Coletiva, Bacharelado Interdisciplinar em Saúde.
1. Nanoemulsão. 2. Pataúá - Atividade antibacteriana. 3. Óleo vegetal. I. Perei-
 ra, Rayane Rocha, *orient.* II. Título.

CDD: 23 ed. 664.8

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família por todo o apoio e amor. Em especial às minhas duas mães, Raimunda e Keymila, aos meus dois pais, Reinaldo e Jarley, e as minhas duas tias Keydma e Keydiana.

À minha querida orientadora, Prof^a Rayanne Pereira, por toda paciência, suporte e por ser uma inspiração durante esse trajeto. Sua orientação foi vital para a realização desse trabalho.

Aos amigos e todas as pessoas especiais que participaram desse trajeto, todos tem parte do meu coração e meu imenso carinho. Em especial à Ana, Dani, Luan, Marina e Carlos.

Ao Fabiano, quem esteve comigo durante maior parte da realização do trabalho, dando suporte e toda ajuda necessária que contribuíram imensamente para finalização desse trajeto, tens parte do coração e eu serei sempre grata.

À coordenação acadêmica do Instituto de Saúde Coletiva pelo suporte concedido as várias questões relacionadas ao fim desse percurso. Em especial ao Jean.

À Farmácia Universitária pelo espaço fornecido para a realização das nanoemulsões e relacionados. Em especial a Bruna, com quem partilhei divertidos momentos durante as análises e por toda a ajuda cedida.

Ao Laboratório de Nanotecnologia Farmacêutica, coordenado pela Prof^a Roseane Maria, pela realização de análises de caracterização.

Ao Laboratório de Microbiologia do ISCO (LabMicro), coordenado pela Prof^a Silvia Katrine Rabelo, pela realização das análises contidas nesse estudo. Em especial à Kamila, por toda paciência e suporte.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa concedida.

À Universidade Federal do Oeste do Pará e a todos os professores do Bacharelado Interdisciplinar em Saúde e Farmácia, pelo ensino e total dedicação durante a trajetória acadêmica.

RESUMO

O óleo vegetal de patauí é rico em ácidos graxos benéficos à saúde, além de propriedades antioxidantes e antibacterianas, se tornando um atrativo componente de grau alimentar. No entanto, sua estrutura química inviabiliza a utilização em formulações alimentares, o que torna relevante a utilização de nanoemulsões para superar esse desafio, promovendo a interação e possibilitando melhores mecanismos de entrega dos bioativos e nutrientes. O principal objetivo deste trabalho foi obter e avaliar a atividade antibacteriana de nanoemulsões de óleo de patauí. O óleo foi avaliado quanto suas propriedades físico-químicas e índices de funcionalidade incluindo índice de iodo, saponificação, densidade, capacidade oxidativa, aterogenicidade (IA), trombogenicidade (IT) e razão hipocolesterolêmico/hipercolesterolêmico (H/H), seguindo da composição do perfil lipídico por CG-EM e as nanoemulsões, preparadas por método de baixa energia, foram caracterizadas quanto aos valores de tamanho, PDI e potencial zeta. Por fim, ambas amostras foram avaliadas quanto sua atividade bacteriana utilizando nove cepas padronizadas por método de difusão em poços. O óleo de patauí demonstrou valores de iodo, saponificação, densidade e capacidade oxidativa em 64.84, 200.7, 0.912, 0.992, respectivamente, enquanto suas funcionalidades demonstraram 0,25 para IA, 0.78 para IT e 3.93 para H/H. O perfil lipídico demonstrou valores majoritário de ácidos graxos insaturados como ácido oleico e triglicerídeos como trioleína. As nanoemulsões apresentaram tamanho de 54.68 e 102,4 nm, PDI de 0.191 e 0.215, e potencial zeta de -8,91 e -14,3. Quanto a atividade antibacteriana, tanto o óleo de patauí quanto o tensoativo não apresentaram zona inibitória a nenhum dos poços, no entanto, ambas nanoemulsões demonstraram atividades frente a três bactérias gram-negativas como *Aeromonas hydrophyla*, *Proteus vulgaris* e *Pseudomonas aeruginosa*, e uma gram-positiva como *Streptococcus equi*. As demais bactérias analisadas não apresentaram valores de inibição em nenhuma das amostras. Em suma, o óleo de patauí se demonstrou um ótimo componente para a aplicação em produtos de grau alimentício devido sua potencialidade nutricional e bioativa, bem como, fonte de inibição bacteriana.

Palavras-Chave: nanoemulsões, óleo de patauí, antibacteriano, suplementos nutricionais.

ABSTRACT

Patauá vegetable oil is rich in fatty acids that are beneficial to health, as well as antioxidant and antibacterial properties, making it an attractive food-grade component. However, its chemical structure makes it unfeasible to use in food formulations, which makes it relevant to use nanoemulsions to overcome this challenge, promoting interaction and enabling better delivery mechanisms for bioactives and nutrients. The main objective of this work was to obtain and evaluate the antibacterial activity of patauá oil nanoemulsions. The oil was evaluated for its physicochemical properties and functional indices including iodine index, saponification, density, oxidative capacity, atherogenicity (AI), thrombogenicity (IT) and hypocholesterolemic/hypercholesterolemic ratio (H/H), followed by the composition of the lipid profile by GC-MS and the nanoemulsions, prepared by the low energy method, were characterized for size, PDI and zeta potential values. Finally, both samples were evaluated for their bacterial activity using nine strains standardized by the well diffusion method. Patauá oil showed iodine, saponification, density and oxidative capacity values of 64.84, 200.7, 0.912, 0.992, respectively, while its functionalities showed 0.25 for AI, 0.78 for IT and 3.93 for H/H. The lipid profile showed a majority of unsaturated fatty acids such as oleic acid and triglycerides such as triolein. The nanoemulsions had a size of 54.68 and 102.4 nm, a PDI of 0.191 and 0.215, and a zeta potential of -8.91 and -14.3. In terms of antibacterial activity, both the patauá oil and the surfactant did not show an inhibitory zone in any of the wells; however, both nanoemulsions showed activity against three gram-negative bacteria such as *Aeromonas hydrophyla*, *Proteus vulgaris* and *Pseudomonas aeruginosa*, and one gram-positive bacteria such as *Streptococcus equi*. The other bacteria analyzed did not show inhibition values in any of the samples. In short, patauá oil proved to be an excellent component for application in food-grade products due to its nutritional and bioactive potential, as well as a source of bacterial inhibition.

Keywords: nanoemulsions, patauá oil, antibacterial, nutritional supplements.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - A) Palmeira do patauá B) Frutos de patauá.....	15
Figura 2 - Sistemas de nanoemulsões	17
Figura 3 - Representação da disposição dos poços na placa de petri	21
Figura 4 - Valores de funcionalidade	24
Figura 5 - Nanoemulsões do óleo de patauá.....	25
Figura 6 - Halos de inibição dos patógenos sensíveis as nanoemulsões.....	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição das nanoemulsões	20
Tabela 2 - Parâmetros físico-químicos do óleo de patauá.....	22
Tabela 3- Perfil de ácidos graxos do óleo de patauá.....	22
Tabela 4 - Perfil de triglicerídeos do óleo de patauá.....	23
Tabela 5 - Índices de qualidade nutricional.....	24
Tabela 6 - Caracterização das nanoemulsões	25
Tabela 7 - Atividade antibacteriana das nanoemulsões.....	26

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A/O	Água em óleo
AG	Ácidos graxos
AOCS	American Oil Chemist's Society
Capryol 90	Propylene glycol monocaprylate type II
CG-EM	Cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massas
CLSI	Clinical & Laboratory Standards Institute
COX	Valor de estabilidade oxidativa
H/H	Razão hipocolesterolêmico e hipercolesterolêmico
IA	Índice de aterogenicidade
IS	Índice de saponificação
IT	Índice de trombogenicidade
LDL	Lipoproteínas de baixa densidade
MHA	Mueller-Hinton Ágar
MUFA	Ácidos graxos monoinsaturados
NaOMe	Metóxido de sódio
O/A	Óleo em água
PDI	Índice de polidispersão
PIC	Inversão da composição de fases (phase inversion composition)
PIT	Temperatura de inversão de fases (phase inversion temperature)
PUFA	Ácidos graxos poli-insaturados
SFA	Ácidos graxos saturados
TG	Triglicerídeos
TPGS	D- α -tocopheryl polyethylene glycol 1000 succinate
UFA	Ácidos graxos insaturados

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	12
2.	OBJETIVOS	14
2.1	Objetivo geral.....	14
2.2	Objetivos específicos	14
3.	REFERENCIAL TEÓRICO	15
3.1	Patauá.....	15
3.2	Nanoemulsões	15
3.3	Nanoemulsões aplicadas a alimentos.....	17
4.	MATERIAL E MÉTODOS.....	18
4.1	Material	18
4.2	Caracterização físico-química do óleo de patauá.....	18
4.3	Perfil de ácidos graxos e triglicerídeos	18
4.4	Índices de qualidade nutricional.....	19
4.5	Preparo das nanoemulsões a partir do óleo de patauá	20
4.6	Caracterização das nanoemulsões do óleo de patauá	20
4.6.1	Tamanho de gotícula e índice de polidispersão (PDI)	20
4.6.2	Potencial zeta.....	20
4.7	Avaliação da atividade antimicrobiana	21
5.	RESULTADOS	22
5.1	Caracterização do óleo vegetal.....	22
5.2	Composição de ácidos graxos e triglicerídeos	22
5.3	Qualidade nutricional	24
5.4	Caracterização das nanoemulsões	24
5.5	Atividade antimicrobiana.....	25
6.	DISCUSSÃO	28
7.	CONCLUSÃO	33

1. INTRODUÇÃO

A floresta amazônica se caracteriza como região de ampla biodiversidade vegetal, incluindo espécies oleaginosas que são utilizadas como insumo alimentício ou na medicina popular de habitantes regionais (PESCE, 2009). Os óleos e gorduras vegetais dispõem de potenciais atividades biológicas como os antioxidantes naturais, devido a presença de compostos bioativos e precursores de vitaminas como carotenoides e polifenóis, juntamente das próprias vitaminas lipossolúveis (OLIVEIRA *et al.*, 2009).

Da mesma maneira que os anteriores, segundo Burt (2004), os óleos também apresentam atividades inibitórias frente a micro-organismos patogênicos associada aos constituintes fenólicos. Tais aspectos se tornam relevantes para a indústria de alimentos no que tange a proteção oxidativa de produtos alimentares e ação defensiva contra radicais livres no organismo (CASTELO-BRANCO e TORRES, 2011), bem como possível fonte de inibição dos patógenos de origem alimentar.

O patauí ou *Oenocarpus bataua*, como é conhecido cientificamente, é um fruto originário da região amazônica, podendo ser encontrado principalmente na região da América do Sul (GOMES-SILVA; WADT; EHRINGHAUS, 2004). A partir do fruto, tanto polpa quanto a amêndoa, é possível extrair um óleo vegetal de grande valor nutricional e rico em ácidos graxos (AG) benéficos à saúde, os insaturados (UFA), majoritariamente ácido oleico, e em saturados (SFA) como o palmítico, onde se destacam em apresentar valores acima de 80% da composição lipídica total quando somados, sendo comparado com o azeite de oliva (DARNET *et al.*, 2011; MONTÚFAR *et al.*, 2010).

As doenças cardiovasculares estão diretamente ligadas aos níveis séricos de colesterol, onde as lipoproteínas de baixa densidade (LDL) estão correlacionadas com o aumento da chance de desenvolvimento de aterosclerose (OLIVEIRA *et al.*, 2010). No entanto, a presença de ácidos graxos insaturados, mono ou poli-insaturados é relacionada a uma ação inversa, a redução dos níveis das LDL, a partir do mecanismo de substituição desses SFA (GRUNDY e DENKE, 1990). Dado os fatores biológicos, o óleo de patauí se mostra um componente crucial de grau alimentício, seja no setor produtivo de alimentos ou nutracêuticos, no entanto, a compatibilidade em formulações alimentares de caráter polar se torna uma desvantagem devido sua aversão à água.

Nesse âmbito, se destaca o uso da nanotecnologia aplicada aos alimentos, onde as nanoemulsões tornam possíveis a interação de moléculas imiscíveis, como água e óleo, sendo estabilizadas na presença de um surfactante, formando emulsões de escala nanométrica, ou

seja, tamanho de partícula abaixo de 500 nm (SINGH et al., 2017). Com o uso desse tipo de sistema, as aplicações em alimentos ganham destaque pela inovação do mecanismo de entrega dos nutrientes e capacidade de preservação dos componentes presentes no alimento em questão, proporcionando melhoria dos aspectos sensoriais e, consequente, tempo de prateleira. Bem como, de forma preventiva acerca de doenças relacionadas à nutrição (ISLAM et al., 2023)

Em vista de toda a relevância do óleo de patauá no setor de alimentos e aplicações nutracêuticas, o principal intuito deste estudo foi avaliar a funcionalidade do óleo de patauá, a fim de desenvolver e caracterizar nanoemulsões feitas a partir dele para aplicações de grau alimentício.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

- Obter e avaliar a atividade antibacteriana de nanoemulsões de óleo de patauá

2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar os parâmetros físico-químicos do óleo de patauá
- Determinar o perfil de ácidos graxos e triglicerídeos do óleo de patauá
- Determinar os parâmetros de qualidade nutricional do óleo
- Obter e caracterizar as nanoemulsões de óleo de patauá
- Avaliar a atividade antibacteriana do óleo de patauá e suas nanoemulsões

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Patauá

O bioma amazônico é amplamente reconhecido a partir de diversas espécies que apresentam potenciais biotecnológicos de interesse às indústrias farmacêuticas, cosméticas e alimentícias. Entre tais espécies estão as palmeiras provenientes da floresta que, mesmo pouco exploradas, demonstram atividades biológicas advindas de seus frutos e óleos (SANTOS *et al.*, 2017).

O patauazeiro é uma palmeira de origem nativa encontrada em diversas áreas do território amazônico, principalmente na região norte do Brasil, conhecida cientificamente como *Oenocarpus bataua*, e é amplamente consumida como insumo alimentício (Figura 1). Os seus frutos são usados para a obtenção do óleo vegetal e o popular “vinho” de patauá, bebida produzida a base de água utilizando sua polpa. É também utilizado para fins cosméticos na produção de formulações hidratantes e produtos capilares (GOMES-SILVA; WADT; EHRINGHAUS, 2004).

De acordo com Moraes e Gutjahr (2012) o fruto do patauá é de alto valor nutricional pela semelhança proteica a alimentos como carne de boi, leite de gado e afins, isso se dá devido a quantidade de aminoácidos essenciais presentes na polpa. Por outro lado, o óleo extraído da amêndoa e do mesocarpo é rico em ácidos graxos insaturados, se tornando uma espécie atrativa para produtos hidratantes e alimentos funcionais com o intuito de consumir gorduras saudáveis.

Figura 1 - A) Palmeira do patauá B) Frutos de patauá



Fonte: Moraes e Gutjahr (2012).

3.2 Nanoemulsões

A utilização de óleos apresenta alguns fatores limitantes devido sua composição química, entre eles há destaque da interação intermolecular com formas alimentares à base de

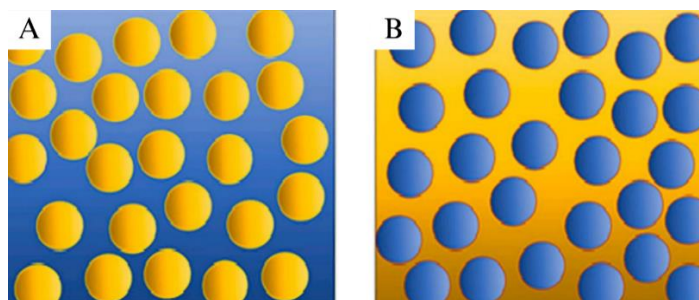
água e relacionados (SCAPINELLO et al., 2023) Desse modo, a utilização de sistemas de interação anfifílica se torna vantajoso para a disponibilidade de bioativos e nutrientes.

As nanoemulsões acarretam características de interesse devido sua estrutura físico-química, onde há interação entre dois líquidos imiscíveis estabilizados por um tensoativo, formando camadas superficiais chamadas micelas, elas se formam a partir de cisalhamento de partículas maiores até partículas de escala nanométrica, diminuindo a tensão interfacial de ambas as moléculas de água e óleo (MASON et al., 2006). A diferenciação desse tipo sistema em relação a outras emulsões, é relacionada a estabilidade ao longo do tempo, proporcionada pelo tamanho da gotícula, o que distancia de fatores de desestabilidade como cremeação, sedimentação ou coalescência (SINGH et al., 2017).

Dentre as características das nanoemulsões, estão as fases contínuas e dispersas contidas no sistema, conforme ilustra a figura 2, as nanoemulsões podem ser definidas em um sistema óleo em água (O/A), onde a fase dispersa são os constituintes oleosos e fase contínua é a água. E podem ser em um sistema água em óleo (A/O), onde a fase contínua é constituída de óleo, onde as partículas de água serão dispersas (SNEHA e KUMAR, 2022)

De acordo com Tadros (2004), para a formação de uma nanoemulsão é necessário a utilização de energia. Desse modo, há dois tipos de obtenção desse tipo de emulsão: O primeiro são os métodos de alta energia, procedimentos que envolvem a quebra de gotículas da fase dispersa a partir de força mecânica, essa quebra tem a finalidade de ser contida na fase contínua, e a metodologia envolve forças de repulsão que são obtidas a partir do uso de aparelhos como homogeneizadores ou equipamentos que induzam alta pressão. O segundo são os métodos de baixa energia que utilizam a energia e propriedades físico-químicas dos componentes para a obtenção do sistema, dentre esses também há dois tipos de metodologia por baixa energia, a temperatura de inversão de fase (PIT), onde fator determinante da reação é a temperatura, fator que induz a transição de fases. E a segundo, a composição de inversão de fase (PIC), onde este requer a inserção do componente a ser disperso de maneira gradual a uma temperatura constante, a fim de obter a nanoemulsão a partir da inversão de fases decorrente da incorporação gradativa. No PIC, a fase oleosa é constituída do componente oleoso de estudo junto ao surfactante da reação, de maneira que ambos alcancem a homogeneidade com intuito de obter um composto fixo que, posteriormente, será incorporado com a fase aquosa (SNEHA e KUMAR, 2022)

Figura 2 - Sistemas de nanoemulsões



A) Óleo em água – O/A. B) Água em óleo – A/O

Fonte: Sneha e Kumar (2022)

3.3 Nanoemulsões aplicadas a alimentos

As nanoemulsões são um campo de estudo que têm tido notoriedade ao serem utilizadas na indústria de alimentos devido sua funcionalidade e eficácia em comparação a outros sistemas (ISLAM et al., 2023). Podendo ser utilizada na produção de nanocompósitos como embalagens de alimentos ou entrega de nutrientes contidos nos sistemas nanoemulsionados, proporcionando melhor absorção dos compostos funcionais via administração oral (ALMEIDA et al., 2015; KUMAR e SARKAR, 2018; SILVA et al, 2012), entre diversas funcionalidades relacionadas à estrutura dessas partículas.

A exemplo, há a utilização dessas nanoemulsões como forma de proteção a processos deteriorantes, Rathod et al., (2023) utiliza do sistema nanométrico para conservar o alimento frente os processos oxidativos. De mesmo modo, a capsantina, composto da classe dos carotenoides, é dita por Kulkarni, Goge e Date (2020) como potencial fonte de antioxidante, mas que, devido pouca solubilidade em água, demonstra algumas limitações, levando ao objetivo de incorporar esse componente em uma nanoemulsão que impulse sua atividade biológica a fim de utilizá-la como suplemento alimentar.

No meio comercial, o Brasil contém empresas que tem o objetivo de incorporar alimentos funcionais, utilizando como aditivos alimentares ou produzir novos nutracêuticos. Com a utilização de nanotecnologia aplicada e o foco no desenvolvimento de propostas inovadoras para as indústrias de alimentos sejam para suplementos ou produtos funcionais (FUNCIONAL MIKRON, 2024).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Material

O óleo vegetal de patauá foi fornecido pela Amazon Oil (Ananindeua, PA – Brasil). O succinato de D- α -tocopheryl (Vit E TPGS 1000) foi fornecido pela ISOICHEM (Gennevilliers, França). O monocaprilato de propilenoglicol (tipo II) (Capryol™ 90) foi adquirido da Gattefossé (SaintPriest, França).

4.2 Caracterização físico-química do óleo de patauá

O índice de saponificação (IS) foi realizado conforme preconizados pela norma analítica da American Oil Chemist's Society (AOCS) Cd 3a-94, conforme equação 1. Onde PM = peso molecular médio dos ácidos graxos; 3 = número de ácidos graxos por triacilglicerol; 56,1 = massa molar de hidróxido de potássio (KOH – g/mol); 1000 = conversão de g para mg; 92,09 = peso molecular do glicerol (g/mol) e 18 = peso molecular da água. O índice de iodo e capacidade oxidativa foram determinados por meio do cálculo partindo da análise da composição graxa do óleo, conforme a expressão matemática 2 e 3, respectivamente (AOCS, 1995; CORREA et al., 2024). Em ambas as equações anteriores, são utilizadas as massas (%) correspondentes aos ácidos palmítico (C16:0), esteárico (C18:0), oleico (C18:1), linoleico (C18:2), linolênico (C18:3). A densidade relativa foi determinada pela razão de massas entre o óleo e água pelo método do picnômetro a 25°, conforme expressão matemática 4; onde “A” configura a massa do picnômetro vazio, “B” corresponde à massa do picnômetro contendo a amostra e “C” à massa da água a 25° (AOCS, 1990).

$$IS = \frac{3 \times 56,1 \times 1000}{PM \times 3 + 92,09 \times (3 \times 18)} \quad (1)$$

$$(\%C_{16:1} \times 0,950) + (\% C_{18:1} \times 0,860) + (\%C_{18:2} \times 1,732) + (\% C_{18:3} \times 2,616) = \text{índice de iodo} \quad (2)$$

$$COX = \frac{C_{18:0} + (10,3 \times C_{18:2}) + (21,6 \times C_{18:3})}{100} \quad (3)$$

$$DS = \frac{A - B}{C} \quad (4)$$

4.3 Perfil de ácidos graxos e triglicerídeos

O perfil de ácidos graxos do óleo de patauá foi obtido a partir de cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massas (CG-EM). Seguindo a metodologia de Bannon *et al.*

(1982), com adaptações, a modificação dos triglicerídeos em ésteres metílicos foi realizada por meio do método de esterificação utilizando metóxido de sódio (NaOMe), metanol, éter etílico (1:1), hexano e cloreto de sódio saturado. A composição química foi analisada seguindo as seguintes especificações: sistema Shimadzu QP 2010 ultra com a injeção de 1 µL de solução 3:500 de óleo em hexano (Auto injetor AOC-20i), foi usado uma coluna capilar de sílica Rtx-5MS (Restek, EUA de 30 m de comprimento x 0,25 mm de diâmetro interno revestido com 5%-difetil/95%-dimetil-polisiloxano (0,25 µm de espessura do filme). A temperatura do forno do CG foi programa de 60°C a 240°C (10 min) a 3°C/min, as temperaturas do injetor (split 1:20), linha de transferência e câmara de ionização foram de 250, 250 e 200°C, respectivamente. Hélio foi usado como gás de arraste a com fluxo de 1mL/min. Os espectros de massas foram obtidos por impacto eletrônico a 70 eV com scans automáticos (varredura) na faixa de 35 a 400 daltons a 0,30 scans/s. A identificação dos componentes foi baseada no tempo e índice de retenção linear (série de n-alcenos C8-C40), na interpretação e comparação dos espectros de massas obtidos com as bibliotecas Adams 2006, Nist 2011 e FFNSC 2.

O perfil de triglicerídeos (TG) foi determinado utilizando o software PrOleos® por meio da estimativa percentual feita a partir da composição de ácidos graxos do óleo de acordo com a distribuição aleatória 1,3-2 que prevê a porcentagem molar (Filho et al., 1995). Disponível em: “<https://lames.quimica.ufg.br/p/4035-apoio-didatico>”. Para as estimativas, foram considerados os valores acima de 1%.

4.4 Índices de qualidade nutricional

Os índices de qualidade nutricional e capacidade oxidativa foram determinados com base na composição de ácidos graxos do óleo, de acordo com o comprimento da cadeia carbônica e grau de insaturação. As seguintes equações foram utilizadas para estabelecer os parâmetros de aterogenicidade (IA), trombogenicidade (IT) e hipocolesterolêmico/hipercolesterolêmico (H/H), representadas pelas expressões matemáticas 4, 5, e 6, respectivamente. Onde são representadas as massas (%) dos ácidos láurico (C12:0), mirístico (C14:0), palmítico (C:16), esteárico (C18:0) oleico (C18:1); MUFA e PUFA condiz com a massa de ácidos graxos mono e poli-insaturados, n-3 e n-6 correspondem à massa de ácidos graxos ômega-3 e ômega-6, respectivamente (CORREA et al., 2024).

$$IA = \frac{[C_{12:0} + (4 \times C_{14:0}) + C_{16:0}]}{(PUFA + MUFA)} \quad (5)$$

$$IT = \frac{(C_{12:0} + C_{16:0} + C_{18:0})}{[(0,5 \times MUFA) + (0,5 \times n6 - PUFA) + (3 \times n3 - PUFA) + (\frac{n3 - PUFA}{n6 - MUFA})]} \quad (6)$$

$$H/H = \frac{C_{18:1} + PUFA}{(C_{14:0} + C_{16:0})} \quad (7)$$

4.5 Preparo das nanoemulsões a partir do óleo de patauá

As nanoemulsões foram preparadas a partir do método de inversão da composição de fases (PIC). Onde a fase oleosa da preparação foi constituída de óleo de patauá, Vit E TPGS e Capryol™ 90. E a fase aquosa constituída de água destilada. A fase aquosa foi aquecida separadamente até a obtenção da temperatura adequada (60°C), enquanto a fase oleosa foi aquecida e mantida em agitação até sua completa homogeneidade. Após atingir a temperatura, a fase aquosa foi vertida gota a gota sobre a fase oleosa, e utilizando um agitador magnético a mistura das fases foi mantida em constante agitação durante 5 minutos (OLIVEIRA et al., 2022). Foram preparadas duas formulações identificadas em NANO1 e NANO2 de acordo com as especificações da tabela 1.

Tabela 1 - Composição das nanoemulsões

	NANO1	NANO2
Surfactante (% p/v)	1,5	2
Óleo de patauá (% p/v)	1,25	2
Co-surfactante (% p/v)	1,25	2

Fonte: Autora (2024).

4.6 Caracterização das nanoemulsões do óleo de patauá

4.6.1 Tamanho de gotícula e índice de polidispersão (PDI)

O tamanho de partícula foi determinado por dispersão dinâmica de luz usando um Zetasizer Nano ZS (Malvern Pananalytical, Malvern, Reino Unido) aplicando retroespalhamento não invasivo (ângulo de dispersão 173°) a uma temperatura de 25 °C. As formulações foram diluídas em água ultrapura na proporção de 1:100. O tamanho médio das partículas (média Z) e o PDI foram obtidos através da análise cumulativa dos dados de espalhamento pelo software do instrumento.

4.6.2 Potencial zeta

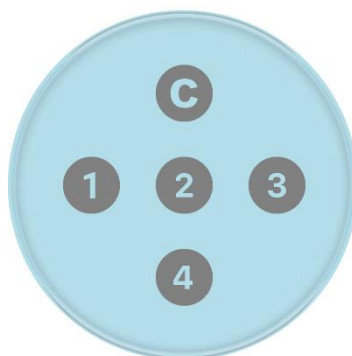
O potencial zeta das formulações foi determinado por mobilidade eletroforética das nanogotículas em um campo elétrico usando um Zetasizer Nano ZS (Malvern, Pananalytical,

Malvern, UK). As amostras foram diluídas em água (1:100). Para o cálculo do potencial zeta foi utilizada a equação de Helmholtz-Smoluchowski empregada pelo software do instrumento.

4.7 Avaliação da atividade antimicrobiana

O ensaio foi realizado com nove cepas padronizadas de *Aeromonas hydrophyla* INCQS 00318, *Enterobacter aerogenes* ATCC 13048, *Escherichia coli* ATCC 10536, *Klebsiella pneumoniae* OXA 48, *Proteus vulgaris* ATCC 13315, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853, *Salmonella typhi* INCQS 00029, *Streptococcus equi* CBMAI 265 e *Streptococcus pneumoniae* ATCC 700669. Como controle positivo e negativo foram utilizados ampicilina e vitamina E TPGS, respectivamente. A determinação foi realizada por método de difusão em poços seguindo as especificações do Clinical & Laboratory Standards Institute - CLSI (2018). As placas foram inoculadas com os micro-organismos em meio de cultura Mueller-Hinton Ágar (MHA), seguindo de perfuração no meio de cultura com o auxílio de um molde cilíndrico para formação dos poços, eles foram dispostos na placa de acordo com o número de amostras e os controles negativos e positivos dimensionados a partir de 2 cm de distância, conforme ilustra a figura 3. Assim, foram adicionadas alíquotas de 50 µL em cada perfuração e incubadas em estufa a 37° durante 24h. Com auxílio de um paquímetro, os halos de inibição avaliados após o período de crescimento foram medidos em milímetros (mm). Os testes foram realizados em triplicata.

Figura 3 - Representação da disposição dos poços na placa de petri



Legenda: C = Ampicilina; 1 = óleo de patauá; 2 = NANO 1; 3 = NANO 2; 4 = Vit E TPGS

Fonte: Autora, 2024.

5. RESULTADOS

5.1 Caracterização do óleo vegetal

A fim de analisar as interferências físico-químicas no óleo de patauá, o índice de iodo, representativo da quantidade de iodo absorvido a cada 100g do óleo foi de 64,84. Enquanto o índice de saponificação representa a quantidade (mg) de hidróxido de potássio para saponificar uma grama do óleo, o valor foi obtido a partir do peso molecular dos ácidos graxos presentes e indica 200,7 mg KOH/g. De antemão, a densidade relativa foi realizada a partir de uma análise comparativa entre as massas de óleo e água em mesma temperatura, onde o valor demonstrou 0,912 g/mL a 25°C. Por fim, a capacidade oxidativa do patauá, obtida a partir da composição dos ácidos graxos, resultou em 0,992, conforme dados contidos na tabela 2.

Tabela 2 - Parâmetros físico-químicos do óleo de patauá

PARÂMETROS	VALORES
Índice de iodo (g I ₂ /100g)	64,84
Índice de saponificação (mg KOH/g)	200,7
Densidade relativa (g/mL a 25°C)	0,912
Capacidade oxidativa (COX)	0,992

Fonte: Autora (2024).

5.2 Composição de ácidos graxos e triglicerídeos

De acordo com a tabela 3, o perfil de ácidos graxos do óleo de patauá demonstra proporções inversas de acordo com o grau de insaturação, onde os AG saturados compõem menor porcentagem (27,9%) em comparação aos AG insaturados que constituem 72% de massa percentual do óleo de patauá, análogo a isso, os monoinsaturados se encontram em maior quantidade do que poli-insaturados. Entre esses constituintes, o ácido oleico representa valor majoritário, seguido do ácido palmítico e ácido esteárico, outros ácidos graxos como ácido palmitoleico, linoleico e pentadecanoico se encontram em menores percentuais ($\geq 3\%$).

Tabela 3- Perfil de ácidos graxos do óleo de patauá

ÁCIDO GRAXO	%
Ácido Pentadecanoico (C15:0)	1,07
Ácido Palmítico (C16:0)	17,85
Ácido Palmitoleico (C16:1)	1,83

Ácido Esteárico (C18:0)	9,04
Ácido Oleico (C18:1)	67,09
Ácido Linoleico (C18:2)	3,12
SFA	27,96
MUFA	68,92
PUFA	3,12
UFA	72,04

Legenda: SFA = ácidos graxos saturados; MUFA = ácidos graxos monoinsaturados; PUFA = ácidos graxos poli-insaturados; UFA = ácidos graxos insaturados

Fonte: Autora (2024).

Os constituintes mais abundantes no óleo de patauá condizem com a porcentagem de AG presentes isoladamente, onde o ácido oleico e o palmítico constituem mais triglicerídeos derivados, representados pela letra O e P, respectivamente. Com isso, a trioleína (OOO) é o triglicerídeo de maior percentual, seguido de POO, SOO, SOP, POP com valores $\geq 5\%$ e OLO, OPoO, PLO, SOS, PdOO, PPoO e SLO com valores $\leq 5\%$ (Tabela 4).

Tabela 4 - Perfil de triglicerídeos do óleo de patauá

TAQUIGRAFIA	TG	ESTIMATIVA (%)
50:1	POP	6.450
50:2	PPoO	1.297
51:2	PdOO	1.486
52:1	SOP	6.486
52:2	POO	24.178
52:3	OPoO	2.431
52:3	PLO	2.234
54:1	SOS	1.631
54:2	SOO	12.157
54:3	SLO	1.123
54:4	OLO	4.187
57:3	OOO	30.211

Legenda: O = Oleico; P = Palmítico; Po = Palmitoleico; S = Esteárico; L = Linoleico; Pd = Pentadecanoico

Fonte: Autora (2024).

5.3 Qualidade nutricional

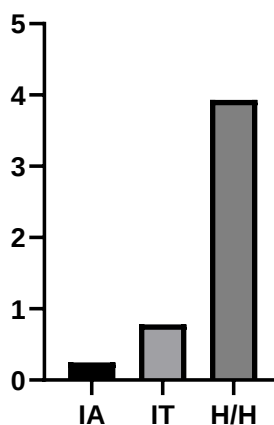
Os parâmetros de qualidade funcional do óleo foram determinados a partir de fórmulas pré-definidas utilizando os ácidos graxos presentes, os resultados indicam valores inversamente proporcionais dos índices de aterogenicidade (0,25) e trombogenicidade (0,78) em relação a razão H/H (3,93), conforme ilustra a tabela 5. A figura 4 compõe um gráfico de ambos os resultados obtidos, a fim de analisar a discrepância nos valores representativos da suscetibilidade à aterogênese (IA) e trombogênese (IT) quando comparado aos indicativos hipocolestorêmico/hipercolesterolêmico. 0,25 0,78 3,93

Tabela 5 - Índices de qualidade nutricional

PARÂMETROS	VALORES
Índice de aterogenicidade (IA)	0,25
Índice de trombogenicidade (IT)	0,78
Índice de hipo/hipercolesterolêmico (H/H)	3,93

Fonte: Autora (2024).

Figura 4 - Valores de funcionalidade



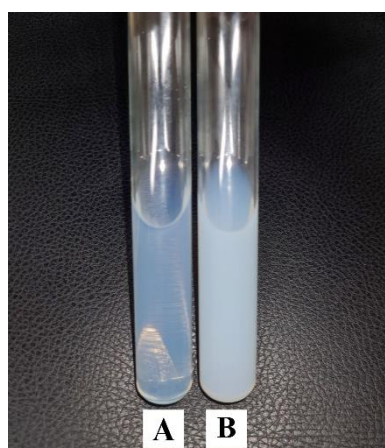
Fonte: Autora (2024)

5.4 Caracterização das nanoemulsões

As nanoemulsões de óleo de patauá (NANO₁ e NANO₂), preparadas a partir das propriedades físico-químicas do sistema, apresentaram aspectos característicos desse tipo de emulsão. Ambas destacaram aspecto azulado sem interferência da cor amarela do óleo de

patauá, diferenciando apenas na turbidez desse aspecto físico, observado a partir da correspondência aos tamanhos de partícula, onde NANO₁ apresenta maior transparência em comparação a NANO₂ (Figura 5). As duas formulações apresentaram tamanho de partícula de 54,68 e 102,4 nm, respectivamente; representativo de polidispersão de 0,191 e 0,215 e, por fim, os valores de potencial zeta em -8,91 e -14,3, conforme ilustra a tabela 6.

Figura 5 - Nanoemulsões do óleo de patauá



A = NANO₁. B = NANO₂

Tabela 6 - Caracterização das nanoemulsões

	NANO ₁	NLC ₂
Tamanho (nm)	54,68	102,4
Índice de polidispersão (PDI)	0,191	0,215
Potencial zeta	-8,91	-14,3

Fonte: Autora (2024).

5.5 Atividade antimicrobiana

A avaliação da inibição microbiana do óleo e das nanoemulsões foi feita a partir da média do diâmetro dos halos inibitórios realizados em triplicata. O ensaio foi realizado com nove cepas frente a quatro amostras do estudo: óleo de patauá, localizado no poço 1; duas formulações de nanoemulsões, localizadas nos poços 2 (NANO₁) e 3 (NANO₂); e Vit E TPGS, o agente emulsificante, localizado no poço 4.

O estudo mostrou sensibilidade frente a três bactérias patógenas gram-negativas como *Aeromonas hydrophyla*, *Proteus vulgaris* e *Pseudomonas aeruginosa*, e uma gram-positiva como *Streptococcus equi*. No entanto, tais bactérias não apresentam sensibilidade ao óleo de

patauá, nem ao tensoativo, apenas às duas formulações do sistema, a sensibilidade ao antibiótico utilizado também se mostrou eficaz a esses patógenos, exceto *P. aeruginosa*, demonstrando resistência (Figura 3).

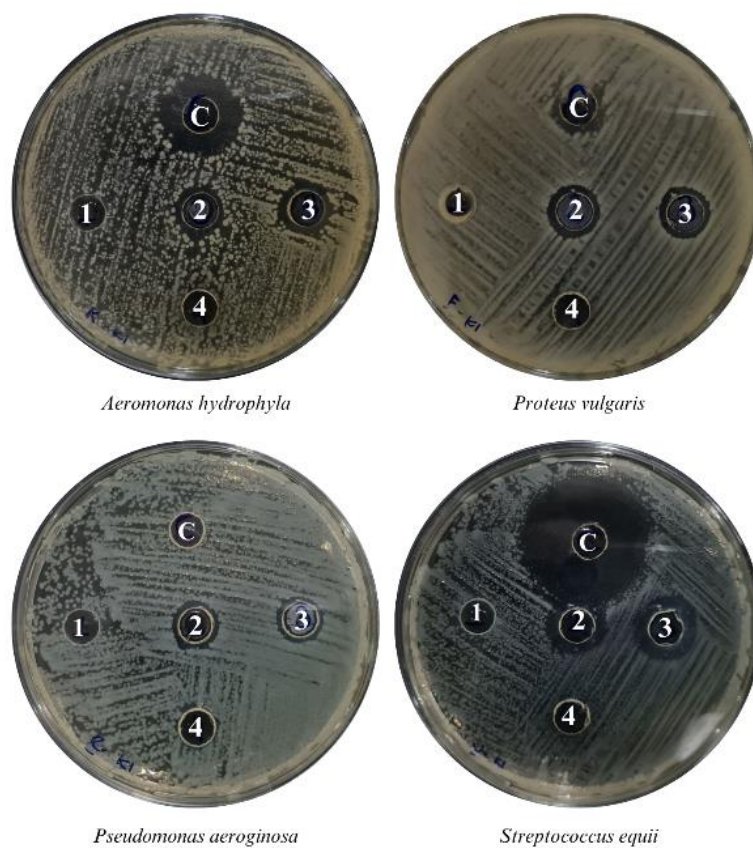
Por outro lado, as demais bactérias analisadas como *Enterobacter aerogenis*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Salmonella tiphy* e *Streptococcus pneumoniae* não apresentaram resultados inibitórios a nenhum dos poços. A média obtida dos resultados, quando avaliadas em relação ao controle positivo, apresentam inibição equivalente para *P. vulgaris*, onde o diâmetro consistiu em 11 mm para ambos os poços de nanoemulsões, não havendo diferenciação entre o controle positivo. Inibição inferior ao controle em relação a *S. equi* e *A. hydrophyla*, onde o diâmetro apresentado é de 13 e 13,3 mm para os poços 2 e 3. E superior quando analisado para *P. aeruginosa*, visto que o controle não se mostrou efetivo, mas, os poços contendo as nanoemulsões, sim. (Tabela 7). Ambas as formulações constituem características distintas de tamanho de gotícula, no entanto, mesmo em formulações diferentes, a sensibilidade dos patógenos se manteve sem variações bruscas de uma nanoemulsão para outra.

Tabela 7 - Atividade antibacteriana das nanoemulsões

PATÓGENO	DIÂMETROS DOS HALOS DE INIBIÇÃO (mm)		
	NANO ₁	NANO ₂	CONTROLE +
<i>A. hydrophyla</i> INCQS 00318	11	11	18
<i>E. aerogenis</i> ATCC 13048	-	-	-
<i>E. coli</i> ATCC 10536	-	-	-
<i>K. pneumoniae</i> OXA 48	-	-	-
<i>P. vulgaris</i> ATCC 13315	11	11	11
<i>P. aeruginosa</i> ATCC 27853	11	10,3	-
<i>S. tiphy</i> INCQS 00029	-	-	-
<i>S. equii</i> CBMAI 265	13	13,3	29
<i>S. pneumoniae</i> ATCC 700669	-	-	-

Fonte: Autora (2024).

Figura 6 - Halos de inibição dos patógenos sensíveis as nanoemulsões



Fonte: Autora (2024).

6. DISCUSSÃO

Diante do cenário epidemiológico do Brasil, as doenças crônicas não transmissíveis apresentam valores acima de 50% de casos de morbimortalidade (BRASIL, 2019). Algumas doenças dentro dessa classificação estão diretamente relacionadas às condições metabólicas e alimentação inadequada. Desse modo, é relevante destacar a busca por novas alternativas terapêuticas pautadas na inserção de suplementação alimentar de qualidade.

Por conta da composição estrutural do sistema de nanoemulsões, esse tipo de tecnologia tem ganhado destaque na área de alimentos visando a utilização para a produção e melhora de compostos funcionais ou liberação de nutrientes (SCHAPPO et al., 2021). Levando em conta a potencialidade nutricional presente no óleo de patauá, o principal intuito deste estudo foi, primeiramente, caracterizar os parâmetros de qualidade do óleo e avaliar suas funcionalidades, compor o perfil lipídico e desenvolver um produto nanoestruturado de grau alimentício para que, posterior a esse, fosse avaliado quanto a atividade biológica.

Nesse âmbito, as propriedades físico-químicas dos óleos vegetais são referências acerca do estado de conservação e qualidade de uso do óleo como produto alimentar. Tais parâmetros estão diretamente relacionados com a composição química dos lipídios, seja comprimento da cadeia carbônica ou grau de insaturação (JORGE, 2009). Os índices de iodo e densidade são fatores interligados ao grau de insaturação, onde o valor do primeiro é entendido de maneira proporcional as ligações duplas, ou seja, entende-se que quanto maior o grau de insaturação dos ácidos graxos, maior será o índice de iodo. Já a densidade relativa entende-se pela razão da massa molecular do óleo em relação à massa da água em temperaturas iguais.

Estudos de Costa, Veronezi e Jorge (2022), juntamente a Pereira et al., (2019) relatam valores próximos aos encontrados neste estudo, também utilizando o óleo de patauá como amostra, onde o índice de iodo obtido foi 72,6 g I $\pm$ 100g e 75,8 g I $\pm$ 100g, respectivamente, e os valores anteriores foram realizados por ensaio de Wijs. Do contrário, o óleo de açaí, componente da mesma família do patauá, foi analisado de acordo com a massa percentual da composição de ácidos graxos e obteve a mesma estimativa, 71 g I $\pm$ 100g (PEREIRA, 2015). A densidade relativa de óleos vegetais se assemelha com a densidade relativa da água, desse modo, o valor para densidade do óleo de patauá foi de 0,912 g/mL, similar a pesquisa de Araújo (2008), onde obteve-se 0,912 g/mL para o mesmo óleo.

O índice de saponificação é o representativo da transformação química de triglicerídeos em sais de ácidos graxos, esse parâmetro também se relaciona ao peso

molecular dos AG. Isso se dá pela quantidade da base utilizada para a reação química, de acordo com massas molares de maior ou menor valor, onde massas molares de maior valor indicam índices de saponificação menores já que necessitam de menos gramas de álcali para a transformação de apenas uma grama de gordura, o que ocorre de maneira inversa a massas moleculares de menor valor (PATTERSON, 2011), tal fator permite a determinação sem a necessidade de realizar a reação química. O valor de saponificação obtido está próximo de estudos utilizando bacaba (195,6 mg KOH/g), açaí (200 mg KOH/g) e castanha do Pará (198-200 mg KOH/g) de acordo com Costa et al., (2022), Pereira (2019) e Vilhena (2020).

Junto a isso, capacidade oxidativa de um óleo vegetal demonstra a susceptibilidade de deterioração dos lipídios, essa reação química acontece por influência do oxigênio nas duplas ligações dos ácidos graxos insaturados e o tipo de AG presente no alimento (JORGE, 2009). Valores elevados de COX indicam a relação com a composição graxa determinada, ou seja, a influência de ácidos graxos insaturados. A composição majoritária no óleo de patauá são de UFA, o que representa o valor COX obtido no estudo, no entanto, o ácido oleico é um constituinte monoinsaturado de maior percentual e detêm melhor estabilidade oxidativa em comparação ao ácido linoleico e linolênico, ambos poli-insaturados, tais aspectos refletem na qualidade do óleo e durabilidade de seus compostos funcionais seja na incorporação de outros produtos ou tempo de prateleira (JORGE, 2009; CORSINI e JORGE, 2006; SILVA et al., 2020). Com valores acima aos de patauá, Santos et al., (2022) obtiveram 2,75 e 3,05 para duas variedades de óleos de *Terminalia catappa*, por outro lado, a polpa de pequi gigante demonstra similaridades ao demonstrar 0,92 de COX (SILVA et al., 2020).

Levando em conta que o perfil lipídico reflete a funcionalidade de uma gordura, o perfil de ácidos graxos do óleo de patauá demonstra similaridades com outros óleos comestíveis reconhecidos no meio comercial pelo seu valor nutricional, a exemplo, o óleo de oliva, sendo igualado principalmente pelo teor de ácido oleico junto a outras propriedades funcionais (ALMEIDA, 1953). Composições parecidas foram encontradas em outras pesquisas, onde a massa percentual de ácido oleico e palmítico permanecem em valor majoritário, Araújo (2008) descreve 67,6% e 20,8 %, respectivamente, de maneira análoga Rodrigues, Darnet e Silva (2010) relatam 76% e 13%, junto a estimativa do ácido pentadecanoico que, por vezes, não é relatado devido sua baixa concentração ($\leq 1\%$). De mesmo modo, o perfil de triglicerídeos do óleo de patauá foi composto de maneira similar ao encontrado por Pereira et al. (2019), onde a trioleína é o triglicerídeo de maior índice devido a presença de altos valores de ácido oleico, seguido de palmitodioleína. Tal perfil lipídico

instaura no metabolismo benefícios relacionados ao combate de doenças cardíacas coronarianas, devido à redução desse tipo de condição a partir da inserção de MUFA e redução de gorduras saturadas na dieta alimentar. Assim, ao serem implementados juntos, o ácido oleico e palmítico se tornam ótimos complementos nutricionais a serem desenvolvidos em produtos alimentícios para prevenção e promoção à saúde (LOPEZ et al., 2010).

Além da composição de ácidos graxos e triglicerídeos, os índices de aterogenicidade, trombogenicidade e razão hipo/hipercolesterolêmico são parâmetros que também indicam o valor nutricional e, por exemplo, desenvolvimento de processos metabólicos (PEREIRA et al., 2019; SILVA et al., 2020). Embora sem valores de referência, a interpretação de tais parâmetros está relacionada de maneira inversamente proporcional, onde valores baixos de IA e IT indicam um bom quantitativo funcional ao óleo e estão ligados ao percentual de SFA do perfil lipídico, em contrapartida, quanto maior o valor de h/H maiores estão as viabilidades de combate a patologias no sistema cardiovascular, se relacionando diretamente a proporção de UFA na composição (PINTO et al., 2018). Valores similares ao do óleo de patauá foram obtidos por Pinto et al. (2018) utilizando o fruto do mesmo gênero, a bacaba, visto que IA e IT corresponderam a 0,30 e 0,67, de maneira respectiva, já h/H demonstrou 3.32. Em comparação a espécies de diferentes gêneros, a razão hipo/hipercolesterolêmico foi encontrada em números abaixo aos obtidos neste estudo, sendo 0,75 a 0,79 com variação em espécies de *Terminalia catappa*; 2,58 para *Caryocar villosum* e 0,84 em *Bactris gasipaes* (LORENZO; SANTOS e LANNES, 2020; SANTOS et al., 2020, 2022)

Para a compreensão dos resultados de PDI adota-se a seguinte informação: $PDI \leq 0,1$ partículas altamente monodispersas; 0,1–0,4 ligeiramente polidisperso; $\geq 0,4$ amostras altamente polidispersas (HOMMOSS, 2009). Em vista disso, ambas as formulações se demonstram monodispersas. O valor de PDI é também um importante indicativo de estabilidade de formulações. As nanoemulsões monodispersas, por conta do menor valor de PDI, em teoria, teriam maior estabilidade física e maior resistência ao amadurecimento de Ostwald. Em relação ao potencial zeta, as formulações apresentaram valores negativos, consequência dos grupos carboxílicos dos ácidos graxos do óleo de patauá (BADAWI et al., 2018). O potencial zeta é uma medida expressiva da estabilidade de emulsões, de modo geral, valores de potencial zeta $27 \pm 30\text{mW}$ indicam boa estabilidade física das formulações (GOMES et al., 2022). Porém, formulações estabilizadas com Vit E TPGS mostram valores de potencial zeta menores que $\pm 20\text{ mW}$ (PEREIRA et al., 2019; ROSSI et al., 2018). Os valores de potencial zeta de nanoemulsões estabilizadas por vit E TPGS podem ser explicados

por diferentes mecanismos de ação deste tensoativo. Existem diferentes mecanismos de ação para tensoativos, alguns formam uma dupla camada elétrica em volta da gotícula e agem através do mecanismo repulsão eletrostática. Por outro lado, a estabilidade das gotículas da nanoemulsão pode ocorrer através de um mecanismo estérico em que não há formação de dupla camada elétrica (DALTIM, 2012). Segundo Rossi et al (2018) a vit E TPGS apresenta os dois mecanismos para estabilização, por isso, apresentam menor valor de potencial zeta e ainda continuam estáveis.

A atividade biológica do óleo de patauá ainda permanece pouco explorada, o que implica na ausência de estudos acerca de sua atividade antibacteriana, Roumy et al. (2015) relatam o primeiro ensaio utilizando a raiz e o fruto de patauá frente a bactérias patogênicas, onde as amostras testadas demonstram sensibilidades a alguns patógenos de interesse clínico e, também, de origem alimentar, tal atividade sendo relacionada a presença de compostos fitoquímicos que atuam como agentes antimicrobianos, a exemplo, flavonoides e polifenóis. Desse modo, com a incorporação em um sistema nanoemulsionado, o intuito do presente ensaio seria que sua atividade fosse impulsionada devido a estrutura de melhor disponibilidade desses agentes antimicrobianos, bem como, análise da atuação biológica a partir da comparação de sistemas com tamanhos de gotículas distintas. Outras pesquisas apresentam esse tipo de atuação, onde o material biológico encapsulado comprova melhor inibição em comparação ao material “livre” (SHARMA et al., 2022).

As nanoemulsões de óleo de patauá, apresentam inibição bacteriana de maneira sinérgica, visto que o ensaio evidencia que tanto o agente emulsificante, Vitamina E TPGS, quanto o óleo de patauá não apresentam atividade bactericida frente a nenhum dos patógenos testados. Isso se dá devido alguns fatores interligados a estrutura molecular de ambos os materiais, como exemplificação, a solubilidade em água do óleo e atuação da carga do surfactante de maneira isolada. Alguns óleos, os essenciais, por exemplo, apresentam atividade antibacteriana devido a interação com a parede celular das bactérias a partir da sua solubilidade em água dos compostos advindos destes (VALERIANO et al., 2012).

Contrário a isso, o óleo de patauá é uma estrutura de baixa solubilidade em água por conta de sua estrutura molecular, tornando-se a hipótese da falta de inibição dos patógenos em questão. Por outro lado, o tensoativo utilizado para a formação do sistema é um surfactante não-iônico, Ziani et al. (2011) exemplifica a influência que há na utilização de surfactantes de cargas distintas de forma isolada e a atividade antimicrobiana de ambas. O potencial antimicrobiano de ambos tensoativos catiônicos e aniônicos se dá pela suscetibilidade a

penetrar a membrana celular e induzir ao rompimento e comprometimento da função celular, mas, principalmente, aos catiônicos que induzem o potencial devido sua carga positiva que induz a atração química da carga oposta presente nas membranas microbianas. Tal aspecto não se mostra eficiente aos tensoativos não-iônicos, como exemplificação, o vitamina E TPGS, o que explica a ausência de atividade ao ser utilizado de maneira isolada.

7. CONCLUSÃO

Portanto, o óleo de patauá demonstrou-se um valioso componente nutricional, devido suas propriedades físico-químicas e perfil lipídico, visto que apresenta alto teor de ácido oleico e bons valores de funcionalidade relacionados a atuação dos ácidos graxos insaturados na homeostasia. Análogo a isso, a incorporação do óleo em um sistema nanoemulsionado também demonstrou características de potencial utilização em produtos de grau alimentício, apresentando tamanho de maior relevância ($\leq 100\text{nm}$) no que se relaciona a liberação e disponibilidade dos nutrientes e bioativos, bem como índices de estabilidade ao sistema. Tais aspectos refletem na atividade biológica analisada no estudo, onde, de maneira sinérgica, as nanoemulsões apresentam eficiência na suscetibilidade antimicrobiana. Assim, destacando-se a viabilidade do sistema a uma posterior aplicação no setor produtivo de alimentos, sejam eles em aditivos alimentares ou nutracêuticos.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN OIL CHEMISTS' SOCIETY. **Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society**. 4th ed. Champaign, USA, A.O.C.S. 1990. [A.O.C.S. Recommended Practice Cd 1c-85].
- AMERICAN OIL CHEMISTS' SOCIETY. **Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society**. 4th ed. Champaign, USA, A.O.C.S. 1995. [A.O.C.S. Recommended Practice Cd 3a-94].
- ALMEIDA, A. C. S. et al. Aplicação de nanotecnologia em embalagens de alimentos. **Polímeros**, v. 25, p. 89–97, dez. 2015.
- ARAÚJO, L. A. **Estudos das propriedades físicas, químicas e termofísicas de óleos regionais e suas misturas**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologia de Alimentos. Instituto de Ciências da Saúde. Belém. 2008
- BADAWI, N. et al. Pomegranate extract-loaded solid lipid nanoparticles: design, optimization, and in vitro cytotoxicity study. **International Journal of Nanomedicine**, v. 13, p. 1313–1326, 2018.
- BANNON, C. D. et al. Analysis of fatty acid methyl esters with high accuracy and reliability: III. Literature review of and investigations into the development of rapid procedures for the methoxide-catalysed methanolysis of fats and oils. **Journal of Chromatography A**, v. 247, n. 1, p. 71–89, 24 set. 1982.
- BRASIL. Boletim epidemiológico. Secretaria de Vigilância em Saúde e Ambiente **Ministério da Saúde**, v. 54 n° 7. abr. 2024
- CASTELO-BRANCO, V. N.; TORRES, A. G. Capacidade antioxidante total de óleos vegetais comestíveis: determinantes químicos e sua relação com a qualidade dos óleos. **Revista de Nutrição**, v. 24, p. 173–187, fev. 2011.
- CLSI. **Performance Standards for Antimicrobial Disk Susceptibility Tests**. Clinical & Laboratory Standards Institute. ed. 13. 2018
- CORREA, K. L. et al. Physicochemical and Nutritional Properties of Vegetable Oils from Brazil Diversity and Their Applications in the Food Industry. **Foods**, v. 13, n. 10, p. 1565, jan. 2024.
- CORSINI, M. DA S.; JORGE, N. Estabilidade oxidativa de óleos vegetais utilizados em frituras de mandioca palito congelada. **Food Science and Technology**, v. 26, p. 27–32, mar. 2006.
- COSTA et al. ÓLEOS VEGETAIS: PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS, BIOATIVAS E ANTIOXIDANTES. 1ed. São Paulo: **Agtron Food Academy**, 2022. cap. 12. 156-175 p.
- DALTIN, D. **Tensoativos: química, propriedades e aplicações**. Editora Blucher, 2011.

DARNET, S. H. et al. Nutritional composition, fatty acid and tocopherol contents of buriti (*Mauritia flexuosa*) and patawa (*Oenocarpus bataua*) fruit pulp from the amazon region. **Food Science and Technology**, v. 31, p. 488–491, jun. 2011.

FILHO, N. R. A.; MENDES, O. L.; LANÇAS, F. M. Computer prediction of triacylglycerol composition of vegetable oils by HRGC. **Chromatographia**, v. 40, n. 9, p. 557–562, 1 maio 1995.

GOMES, A. et al. Tucumã (*Astrocaryum vulgare*) fat: an Amazonian material as a pharmaceutical input for lipid nanoparticle production. **J. Therm. Anal. Calorim.**, v. 147, p. 355–365, 2022.

GOMES-SILVA, D. A. P.; WADT, L. H. DE O.; EHRINGHAUS, C. **Ecologia e manejo de pataúá (*Oenocarpus bataua* Mart.) para produção de frutos e óleo**. mar. 2004.

GRUNDY, S.; DENKE, M. Dietary influences on serum lipids and lipoproteins. **Journal of Lipid Research**, v. 31, n. 7, p. 1149–1172, 1 jul. 1990.

HOMMOSS, A. **Nanostructured lipid carriers (NLC) in dermal and personal care formulations**. 2009. 202f. Tese (Doutorado). Doctor rerum naturalium, Department of Biology, Chemistry and Pharmacy, Freie Universität Berlin, Berlim, 2006.

ISLAM, F. et al. Food grade nanoemulsions: promising delivery systems for functional ingredients. **Journal of Food Science and Technology**, v. 60, n. 5, p. 1461–1471, 1 maio 2023.

JORGE, N. Química e tecnologia de óleos vegetais. 1 ed. Belém. **Cultura Acadêmica Editora**. 2009.

KULKARNI, M.; GOGI, N.; DATE, A. A. Development of Nanoemulsion Preconcentrate of Capsanthin with Improved Chemical Stability. **ASSAY and Drug Development Technologies**, v. 18, n. 1, p. 34–44, jan. 2020.

LOHITH KUMAR, D. H.; SARKAR, P. Encapsulation of bioactive compounds using nanoemulsions. **Environmental Chemistry Letters**, v. 16, n. 1, p. 59–70, 1 mar. 2018.

LOPEZ, S. et al. Chapter 154 - Oleic Acid: The Main Component of Olive Oil on Postprandial Metabolic Processes. Em: PREEDY, V. R.; WATSON, R. R. (Eds.). **Olives and Olive Oil in Health and Disease Prevention**. San Diego: Academic Press, 2010. p. 1385–1393.

LORENZO, N. D.; SANTOS, O. V. DOS; LANNES, S. C. S. Fatty acid composition, cardiovascular functionality, thermogravimetric-differential, calorimetric and spectroscopic behavior of pequi oil (*Caryocar villosum* (Alb.) Pers.). **Food Science and Technology**, v. 41, p. 524–529, 28 set. 2020.

MASON, T. G. et al. Nanoemulsions: formation, structure, and physical properties. **Journal of Physics: Condensed Matter**, v. 18, n. 41, p. R635–R666, 18 out. 2006.

MONTÚFAR, R. et al. *Oenocarpus bataua* Mart. (Arecaceae): Rediscovering a Source of High Oleic Vegetable Oil from Amazonia. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 87, n. 2, p. 167–172, 2010.

MORAIS, L. R. B; GUTJAHR, E. **Chemistry of vegetable oils: valorization of valorization of the amazon biodiversity**. 2009.

OLIVEIRA, A. C. DE et al. Fontes vegetais naturais de antioxidantes. **Química Nova**, v. 32, p. 689–702, 2009.

OLIVEIRA, M. A. M. et al. Relação de indicadores antropométricos com fatores de risco para doença cardiovascular. **Arquivos Brasileiros de Cardiologia**, v. 94, p. 478–485, abr. 2010.

OLIVEIRA, S. S. C. et al. Green Extraction of Annatto Seed Oily Extract and Its Use as a Pharmaceutical Material for the Production of Lipid Nanoparticles. **Molecules**, v. 27, n. 16, p. 5187, 2022.

PATTERSON, H. B. W. Chapter 12 - Quality and Control. Em: LIST, G. R.; KING, J. W. (Eds.). **Hydrogenation of Fats and Oils (Second Edition)**. AOCS Press, 2011. p. 329–350.

PEREIRA, E. et al. Physical properties of Amazonian fats and oils and their blends. **Food Chemistry**, v. 278, p. 208–215, 25 abr. 2019.

PEREIRA, R. R. **Obtenção e caracterização de sistemas líquido cristalinos contendo óleo de açaí (euterpe Oleraceae Mart.)**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciências Farmacêuticas. Instituto de Ciências da Saúde. Belém. 2015

PEREIRA, R.R. et al. Ucuùba (*Virola surinamensis*) fat-based nanostructured lipid carriers for nail drug delivery of ketoconazole: development and optimization using box behnken design. **Pharmaceutics**, v. 11, n. 6, p. 284, 2019.

PESCE, C. AGRICULTURA (IICA), I. I. DE C. PARA LA; MINISTERIO DO DESENVOLVIMENTO AGRARIO, B. (BRASIL). **Oleaginosas da Amazônia**. MCT/MPEG, 2009.

PINTO, R. et al. Extraction of bacaba (*Oenocarpus bacaba*) oil with supercritical CO₂: Global yield isotherms, fatty acid composition, functional quality, oxidative stability, spectroscopic profile and antioxidant activity. **Grasas y Aceites**, v. 69, p. 246, 4 jun. 2018.

RODRIGUES, A.; DARNET, S.; SILVA, L. Fatty Acid Profiles and Tocopherol Contents of Buriti (*Mauritia flexuosa*), Patawa (*Oenocarpus bataua*), Tucuma (*Astrocaryum vulgare*), Mari (*Poraqueiba paraensis*) and Inaja (*Maximiliana maripa*) Fruits. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 21, p. 2000–2004, 1 jan. 2010.

ROSSI, I. et al. Nebulized coenzyme Q10 nanosuspensions: a versatile approach for pulmonary antioxidant therapy. **European Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 113, p. 159–170, 2018.

RATHOD, N. B. et al. Nanoemulsion-based approach to preserve muscle food: A review with current knowledge. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, p. 1–22, 15 fev. 2023.

SANTOS, O. V. DOS et al. Chromatographic profile and bioactive compounds found in the composition of pupunha oil (*Bactris gasipaes* Kunth): implications for human health. **Revista de Nutrição**, v. 33, p. e190146, 8 maio 2020.

SANTOS, O. et al. Chemical-functional composition of Terminalia catappa oils from different varieties. **Grasas y Aceites**, v. 73, p. e454, 13 jun. 2022.

SANTOS, M. et al. Quality characteristics of fruits and oils of palms native to the Brazilian Amazon. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 39, 1 jan. 2017.

SCAPINELLO, J. et al. Aplicação de óleos essenciais em alimentos: uma revisão sobre desafios e perspectivas. **Revista Acta Ambiental Catarinense**, v. 21, 3 dez. 2023.

SCHAPPO, F. et al. NANOEMULSÃO E SEU POTENCIAL DE USO EM ALIMENTOS: UMA PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA E CIENTÍFICA. Em: [s.l: s.n.]. p. 130–148.

SHARMA, M. et al. Physico-chemical characterization of ultrasound assisted clove oil-loaded nanoemulsion: As enhanced antimicrobial potential. **Biotechnology Reports**, v. 34, p. e00720, 1 jun. 2022.

SILVA, H. D.; CERQUEIRA, M. Â.; VICENTE, A. A. Nanoemulsions for Food Applications: Development and Characterization. **Food and Bioprocess Technology**, v. 5, n. 3, p. 854–867, abr. 2012.

SILVA, M. et al. A new population of pequi (Caryocar spp.) developed by Brazilian indigenous people has agro-industrial and nutraceutical advantages. **European Food Research and Technology**, v. 246, 1 set. 2020.

SINGH, Y. et al. Nanoemulsion: Concepts, development and applications in drug delivery. **Journal of Controlled Release**, v. 252, p. 28–49, 28 abr. 2017.

SNEHA, K.; KUMAR, A. Nanoemulsions: Techniques for the preparation and the recent advances in their food applications. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 76, p. 102914, 1 mar. 2022.

TADROS, T. et al. Formation and stability of nano-emulsions. **Advances in Colloid and Interface Science**, Emulsions, From Fundamentals to Practical Applications. v. 108–109, p. 303–318, 20 maio 2004.

VALERIANO, C. et al. Atividade antimicrobiana de óleos essenciais em bactérias patogênicas de origem alimentar. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 14, p. 57–67, 2012.

VILHENA, A. E. G. et al. Caracterização físico-química do óleo de castanha do Pará extraído por prensagem hidráulica. **Brazilian Applied Science Review**. Anais.2020.

ZIANI, K. et al. Influence of surfactant charge on antimicrobial efficacy of surfactant-stabilized thyme oil nanoemulsions. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, n. 11, p. 6247–6255, 8 jun. 2011.