

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO

ELIAKIM DO NASCIMENTO MENDES

**PRODUÇÃO DE FILMES POLIMÉRICOS BIODEGRADÁVEIS A PARTIR DO
ÓLEO DA POLPA DE AÇAÍ (*Euterpe oleracea Mart*) COM ATIVIDADE
ANTIFÚNGICA PARA POSSÍVEIS APLICAÇÕES NA INDÚSTRIA DE
ALIMENTOS**

São Luís

2024
ELIAKIM DO NASCIMENTO MENDES

**PRODUÇÃO DE FILMES POLIMÉRICOS BIODEGRADÁVEIS A PARTIR DO
ÓLEO DA POLPA DE AÇAÍ (*Euterpe oleracea Mart*) COM ATIVIDADE
ANTIFÚNGICA PARA POSSÍVEIS APLICAÇÕES NA INDÚSTRIA DE
ALIMENTOS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Biotecnologia da Rede Nordeste de
Biotecnologia, ponto focal do Maranhão, como
requisito para obtenção do Título de Doutor em
Biotecnologia.

Orientadora: Profa. Dra. Maria do Desterro Soares
Brandão Nascimento
Coorientadora: Profa. Dra. Juliana Moura Mendes

São Luís
2024

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

do Nascimento Mendes, Eliakim.

Produção de Filmes Poliméricos Biodegradáveis A Partir
do Óleo da Polpa de Açaí euterpe Oleracea Mart Com
Atividade Antifúngica Para Possíveis Aplicações Na
Indústria de Alimentos / Eliakim do Nascimento Mendes. -
2024.

152 f.

Coorientador(a) 1: Juliana Moura Mendes.

Orientador(a): Maria do Desterro Soares Brandão
Nascimento.

Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em
Biotecnologia - Renorbio/ccbs, Universidade Federal do
Maranhão, São Luís, 2024.

1. Biopolímeros. 2. Euterpe Oleracea. 3.
Antifúngico. 4. Embalagens. 5. . I. do Desterro Soares

ELIAKIM DO NASCIMENTO MENDES

**PRODUÇÃO DE FILMES POLIMÉRICOS BIODEGRADÁVEIS A PARTIR DO
ÓLEO DA POLPA DE AÇAÍ (*Euterpe oleracea Mart.*) COM ATIVIDADE
ANTIFÚNGICA PARA POSSÍVEIS APLICAÇÕES NA INDÚSTRIA DE
ALIMENTOS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Biotecnologia da Rede Nordeste de
Biotecnologia, ponto focal do Maranhão, como
requisito para obtenção do Título de Doutor em
Biotecnologia.

Aprovada em ____ / ____ / ____

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Maria do Desterro Soares Brandão Nascimento (Orientador)

Universidade Federal do Maranhão – RENORBIO/UFMA (Orientador)

Profa. Dra. Juliana Moura Mendes (Co-Orientador)

Universidad Nacional Del Assuncion - UNA (Co-Orientador)

Profa. Dra. Audirene Amorim Santana Paixão

Universidade Federal do Maranhão – UFMA (1º Examinador)

Prof. Dr. Wellyson da Cunha Araújo Firmo

Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (2º Examinador)

Prof. Dra. Amanda Mara Teles

Universidade Estadual do Maranhão – UEMA (3º Examinador)

Profa. Dr. Denilson Moreira Santos

Universidade Federal do Maranhão – UFMA (4º Examinador)

"Esta tese é dedicada à minha mãe, uma guerreira que, com suor do trabalho como feirante, sustentou nossa família com amor e determinação. Cada palavra é um tributo à sua coragem e ao seu exemplo de perseverança. Que este trabalho seja um reflexo da luz que você trouxe às nossas vidas. É uma celebração do seu espírito incansável e uma expressão do amor e gratidão que sinto por você, hoje e para sempre."

"Tenho a impressão de ter sido uma criança brincando à beira-mar, divertindo-me em descobrir uma pedrinha mais lisa ou uma concha mais bonita que as outras, enquanto o imenso oceano da verdade continua misterioso diante de meus olhos."
(Isaac Newton)

AGRADECIMENTOS

Agradeço do fundo do coração a Deus por ter me concedido a graça de alcançar este momento. Sem Suas bênçãos, esta jornada não teria sido possível.

Agradeço especialmente à minha mãe, Eliane Barbara do Nascimento, minha âncora inabalável, que sempre acreditou no meu sonho e fez tudo para que se tornasse realidade. Suas palavras de incentivo e seu apoio incansável foram a luz que guiou meu caminho.

Às minhas queridas filhas, Maitê Mendes Soares e Melina Mendes Soares, embora ainda tão pequenas, saibam que a presença de vocês em minha vida é a razão mais preciosa para eu ter concluído esta etapa. Vocês são meu maior tesouro, e tudo que faço é pensando no amor e na felicidade que merecem.

Agradeço de todo o meu ser a Nielson dos Soares Soares, meu companheiro de vida e de sonhos e grande amor, por estar sempre ao meu lado, por ser o alicerce da nossa família e por trazer alegria aos nossos dias.

Minha gratidão também se estende à minha orientadora, Professora Doutora Maria do Desterro Soares Brandão Nascimento, cuja dedicação incansável e sabedoria foram como um farol no mar tempestuoso da pesquisa. Sua inspiração e apoio foram além do esperado, moldando não apenas meu trabalho, mas minha própria essência como pesquisador e ser humano.

À Professora Doutora Juliana Moura Mendes, minha co-orientadora, mesmo a distância, sua presença foi um conforto e uma fonte constante de sabedoria.

Agradeço de todo o meu coração à Professora Doutora Audirene Amorim Santana Paixão, cuja gentileza e competência foram como um bálsamo em minha jornada acadêmica. Sua humildade e dedicação são um exemplo a ser seguido, e sua contribuição para a ciência e para minha vida nunca será esquecida.

Agradeço de maneira especial ao Mestre e Doutorando Allyson Kayron de Carvalho Silva, cuja amizade e apoio foram um presente inestimável durante toda a jornada do doutorado. Sua paciência, sua sabedoria e sua amizade foram pilares essenciais para o sucesso deste trabalho.

Agradeço também a Pablo Daniel Sena Silva, cuja dedicação e paixão pela ciência foram uma inspiração para todos nós. Sua determinação e comprometimento são exemplos a serem seguidos, e sei que alcançará grandes feitos em sua jornada.

Agradeço de todo o coração aos alunos de Iniciação Científica, João Victor Veras Fonseca e Amaury Vieira Cruz Moraes, cuja colaboração e companheirismo foram fundamentais para o progresso desta pesquisa. Suas conversas, risadas e cumplicidade foram um bálsamo nos momentos difíceis, e sua fé no sucesso deste trabalho nunca vacilou.

Aos membros da Banca, meu profundo agradecimento por sua disposição em avaliar este trabalho com tanto cuidado e dedicação.

Agradeço de todo o coração à Rede Nordeste de Biotecnologia - Nucleadora UFMA, em especial aos Coordenadores Prof. Dr. Adeilton Pereira Maciel e Prof. Dr. Antonio Marcus Paes, por seu apoio inestimável.

Agradeço ao Centro Universitário UNDB, especialmente à minha Diretora Acadêmica, Professora Graciana Cordeiro, por sua parceria e apoio incondicional ao longo desta jornada. Agradeço ao Professor Mauricio Moraes por seu apoio fundamental na normalização desta tese.

Às minhas amigas de vida e trabalho, Samira Abdalla, Illara Nogueira, Caroline Abdalla e Pedro Natividade, meu sincero agradecimento por seu apoio incondicional ao longo destes anos.

Agradeço ao amigo Randson Roberto por sua presença constante e seu apoio inabalável.

Agradeço às amigas da turma do RENORBIO de 2021.1, Ana Karoliny da Silva Raposo e Karina Fook, por sua luz e amizade que enriqueceram minha vida.

Agradeço a todo o Corpo Docente do Programa, cuja sabedoria e dedicação foram uma fonte constante de inspiração.

Por fim, estendo meus mais profundos agradecimentos a todos aqueles que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a realização deste sonho. Que suas generosidades sejam retribuídas em dobro, e que este trabalho possa contribuir de alguma forma para um mundo melhor.

RESUMO

A *Euterpe oleracea* é uma palmeira do açaí e seu óleo é reconhecido pelos seus compostos bioativos, atribuindo-lhe propriedades benéficas à saúde. O potencial antifúngico do açaí está associado aos seus compostos bioativos, como ácidos graxos, antioxidantes e compostos fenólicos. O estudo se propõe a desenvolver filmes poliméricos incorporando este óleo de polpa de açaí, visando aplicabilidade em embalagens alimentícias. O processo de preparação envolveu a dissolução do alginato de sódio em água destilada e mistura com o óleo de polpa de açaí, seguida pela adição de glicerol e cloreto de cálcio dihidratado. Os primeiros filmes (17) foram avaliados quanto à aspectos visuais e táteis, propriedades físico-químicas e atividade antifúngica contra *Curvularia*. Os filmes do ponto central apresentaram a formulação mais adequada, com boa continuidade, homogeneidade e flexibilidade, além de facilidade de remoção das placas, umidade entre 10,59% e 44,01%, solubilidade entre 4,89% e 52,94%, com efeitos positivos e quadráticos da concentração de alginato e lineares da concentração de glicerol e óleo de polpa de açaí. Quatro formulações apresentaram bons parâmetros antifúngicos para o fungo *Curvularia*. A partir dos resultados iniciais, 4 formulações otimizadas foram analisadas. O Ensaio 3 se destaca pela superfície homogênea, atribuída ao aumento do glicerol, conferindo flexibilidade à matriz polimérica. Com maior umidade, apresenta menor variação, sugerindo uniformidade nos resultados. Alta elongação na ruptura indica flexibilidade, vantajosa em embalagens flexíveis. Já o Ensaio 2, com menor elongação, é mais indicado para rigidez e resistência prioritárias. A análise por FTIR demonstrou uma estrutura coesa e esperada, com picos e ligações químicas características. Na análise de DRX observou-se que interações entre óleo e outros componentes podem ter provocado alterações na estrutura cristalina do material. Todos os filmes otimizados inibiram a atividade de *Aspergillus flavus* (variação entre 71,39%-94,13%). O filme otimizado 2 inibiu 3 tipos de fungos (*Aspergillus niger* -90,41%; *Aspergillus flavus* – 93,57%; *Penicillium* – 50,00%). Os filmes poliméricos incorporados com óleo de polpa de açaí mostram-se promissores para aplicações em embalagens de alimentos.

Palavras-chave: Biopolímeros; *Euterpe oleracea*; Antifúngico; Embalagens

ABSTRACT

Euterpe oleracea is a palm tree known for açai berries, with its oil recognized for its bioactive compounds, attributing beneficial health properties. Açai's antifungal potential is linked to its bioactive compounds like fatty acids, antioxidants, and phenolic compounds. The study aims to develop polymeric films incorporating açai pulp oil for use in food packaging. The preparation process involved dissolving sodium alginate in distilled water, mixing with açai pulp oil, adding glycerol and dihydrated calcium chloride. The initial 17 films were evaluated for visual and tactile aspects, physicochemical properties, and antifungal activity against *Curvularia*. The central point films showed the most suitable formulation with good continuity, homogeneity, flexibility, and ease of removal, moisture between 10.59% and 44.01%, solubility between 4.89% and 52.94%, with positive quadratic effects of alginate concentration and linear effects of glycerol and açai pulp oil concentration. Four formulations exhibited good antifungal parameters against *Curvularia*. Based on initial results, four optimized formulations were analyzed. Test 3 stands out for its homogeneous surface attributed to increased glycerol, providing flexibility to the polymeric matrix. With higher moisture, it shows less variation, suggesting result uniformity. High elongation at break indicates flexibility, advantageous in flexible packaging. Test 2, with lower elongation, is more suitable for prioritizing rigidity and resistance. FTIR analysis demonstrated an expected coherent structure with characteristic peaks and chemical bonds. In DRX analysis, interactions between oil and other components may have caused alterations in the material's crystalline structure. All optimized films inhibited *Aspergillus flavus* activity (ranging from 71.39% to 94.13%). Optimized film 2 inhibited three types of fungi (*Aspergillus niger* -90.41%; *Aspergillus flavus* – 93.57%; *Penicillium* – 50.00%). Polymeric films incorporated with açai pulp oil show promise for food packaging applications.

Keywords: Biopolymers; *Euterpe oleracea*; Antifungal; Packaging

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Filmes poliméricos incorporados com óleo de polpa de açaí.	41
Figura 2. Superfícies de respostas e curvas de contornos para a variável dependente teor de umidade: (a; b) – concentração de alginato versus concentração de glicerol; (c; d) - concentração de alginato versus concentração de óleo de polpa de açaí e (e; f) - concentração de glicerol versus concentração de óleo de polpa de açaí.	50
Figura 3. Superfícies de respostas e curvas de contornos para a variável dependente solubilidade em água: (a; b) – concentração de alginato versus concentração de glicerol; (c; d) - concentração de alginato versus concentração de óleo de polpa de açaí e (e; f) - concentração de glicerol versus concentração de óleo de polpa de açaí.	51
Figura 4. Superfícies de respostas e curvas de contornos para a variável dependente espessura: (a; b) – concentração de alginato versus concentração de glicerol; (c; d) - concentração de alginato versus concentração de óleo de polpa de açaí e (e; f) - concentração de glicerol versus concentração de óleo de polpa de açaí.	59
Figura 5. Superfícies de respostas e curvas de contornos para a variável dependente PVA: (a; b) – concentração de alginato versus concentração de glicerol; (c; d) - concentração de alginato versus concentração de óleo de polpa de açaí e (e; f) - concentração de glicerol versus concentração de óleo de polpa de açaí.	60
Figura 6. Análise do potencial antifúngico na inibição de <i>Curvularia</i> de filmes poliméricos incorporados com óleo de polpa de açaí.	62
Figura 7. Filmes poliméricos das formulações otimizadas incorporados com óleo de polpa de açaí.	64
Figura 8. Microscopia óptica de Filmes poliméricos das formulações otimizadas incorporados com óleo de polpa de açaí.	66
Figura 9. Espectroscopia na região do infravermelho de filmes poliméricos das formulações otimizadas incorporados com óleo de polpa de açaí.	71
Figura 10. Difração de raios-X de filmes poliméricos das formulações otimizadas incorporados com óleo de polpa de açaí.	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Categorias e Exemplos de Bioprodutos por Processos.	24
Tabela 2. Características de Biopolímeros para Biofilmes.	27
Tabela 3. Métodos de Extração de Óleo de Açaí e Suas Características	31
Tabela 4. Composição dos ácidos graxos do óleo de <i>Euterpe oleracea</i> Mart. quantificados usando cromatografia gasosa.	34
Tabela 5. Concentrações utilizadas para desenvolvimento dos filmes polímeros incorporados com óleo de açaí.	35
Tabela 6. Avaliação subjetiva das formulações de biopolímeros incorporados com óleo de polpa de açaí.	42
Tabela 7. Teor de umidade de filmes poliméricos a base de óleo de polpa de açaí	43
Tabela 8. Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta conteúdo de umidade (%) das formulações de biopolímeros incorporados com óleo de polpa de açaí.	47
Tabela 9. Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta solubilidade em água (%) das formulações de biopolímeros incorporados com óleo de polpa de açaí.	47
Tabela 10. ANOVA do modelo ajustado para a resposta conteúdo de umidade (%) das formulações de biopolímeros incorporados com óleo de polpa de açaí.	48
Tabela 11. ANOVA do modelo ajustado para a resposta solubilidade em água (%) das formulações de biopolímeros incorporados com óleo de polpa de açaí.	48
Tabela 12. Espessura e Permeabilidade ao Vapor de Água de filmes poliméricos a base de óleo de polpa de açaí.	52
Tabela 13. Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta espessura (mm) das formulações de biopolímeros incorporados com óleo de polpa de açaí.	55
Tabela 14. Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta permeabilidade ao vapor de água (g.mm/m ² .dia.kPa) das formulações de biopolímeros incorporados com óleo de polpa de açaí.	56
Tabela 15. ANOVA do modelo ajustado para a resposta espessura (mm) das formulações de biopolímeros incorporados com óleo de polpa de açaí.	56
Tabela 16. ANOVA do modelo ajustado para a resposta permeabilidade ao vapor de água (g.mm/m ² .dia.kPa) das formulações de biopolímeros incorporados com óleo de polpa de açaí.	57
Tabela 17. Análise do potencial antifúngico na inibição de <i>Curvularia</i> de filmes poliméricos incorporados com óleo de polpa de açaí.	63

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	16
2.1 Geral	16
2.1 Específicos	16
3. REVISAO DE LITERATURA	16
3.1 Açaí: Origem, Características e Impacto Econômico	16
3.2 Composição e benefícios do açaí	18
3.3 Materiais Poliméricos	20
3.4 Biopolímeros	22
3.5 Bioprodutos	23
3.6 Óleo de açaí	27
3.7 Fungos e Micotoxinas	31
4 MATERIAIS E MÉTODOS	34
4.1 Materiais	34
4.2 Métodos	34
4.2.1 Preparação dos filmes com óleo de <i>Euterpe oleracea</i>	34
4.2.2 Planejamentos Experimentais	35
4.2.3 Caracterizações dos filmes	36
4.2.4 Aspecto visual	36
4.2.5 Umidade	36
4.2.6 Solubilidade em água	36
4.2.7 Espessura	36
4.2.8 Permeabilidade ao Vapor de Água (PVA)	37
4.2.9 Propriedades mecânicas	37
4.2.10 Espectroscopia na região do infravermelho	37
4.2.11 Análise de DRX	37
4.2.12 Avaliação da atividade antifúngica	38
4.3 Análise Estatística	38
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
5.1 Aspectos Visuais e Táteis	40

5.2 Teor de Umidade e Solubilidade em Água	43
5.3 Espessura e Permeabilidade ao Vapor de Água	53
5.4 Análise antifúngica	62
5.5 Seleção das melhores condições obtidas através do DCCR	60
5.6 Aspectos visuais, táteis e ópticos das Formulações otimizadas	61
5.7 Caracterização físico-química das Formulações otimizadas	63
5.8 Propriedades Mecânicas das Formulações otimizadas	65
5.9 Espectroscopia na região do infravermelho das Formulações otimizadas	67
5.10 Análise de DRX das Formulações otimizadas	69
5.11 Análise Antifúngica das Formulações otimizadas	70
6 CONCLUSÃO	77
REFERÊNCIAS	78
APÊNDICE	98
APÊNDICE A: ARTIGO PUBLICADO	99
APÊNDICE B: ARTIGO SUBMETIDO	118
APÊNDICE C: PATENTE ENVIADA AO CPRP	144
APÊNDICE D: REGISTRO SISGEN	148

1 INTRODUÇÃO

A *Euterpe oleracea* é a palmeira do açaí, espécie pertencente à família das Arecaceae, é nativa de vários países da região amazônica da América Central e do Sul tropical, incluindo Brasil, Equador e Venezuela (Oliveira *et al.*, 2019). O Brasil tornou-se maior produtor e exportador do mundo atendendo às crescentes taxas de consumo do fruto (Matta *et al.*, 2020). Dados da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária indicam que o Maranhão é o terceiro estado maior produtor de açaí no país, sendo Pará e Amazonas primeiro e segundo lugar, respectivamente (EMBRAPA, 2020).

Para os nativos que vivem entre o território amazônico o açaí tem implicações dietéticas e agrícolas significativas (Marques *et al.*, 2017). Além disso, o uso popularizado do açaí justificou mais pesquisas científicas sobre botânica, perfil nutricional, propriedades bioativas e potencial biotecnológico. Os principais fitoquímicos constitutivos do açaí estão presentes em várias partes da planta. Do fruto a semente tem-se resultados promissores, conforme publicado por Mendes *et al.* (2024).

A semente de açaí constitui de 80% a 95% das proporções gerais da fruta (Martins *et al.*, 2021). Na maturidade, uma baga de açaí individual tem de 1,5 a 2,0 cm de largura com coloração preta (Matta *et al.*, 2020). O açaí liofilizado tem uma textura sebácea. Uma variedade de ácidos graxos foi identificada em ensaios da constituição nutricional do açaí (Marques *et al.*, 2017). Embora os ácidos graxos insaturados existam predominantemente, formas saturadas (por exemplo, ácido láurico, ácido palmítico, ácido mirístico) também estão presentes (Favacho *et al.*, 2011). O perfil lipídico saudável para o coração, em conjunto com seus altos níveis de antioxidantes e fibras, fundamenta sua importância na indústria de alimentos funcionais como um alimento que promove a saúde.

Tanto a polpa quanto a semente do açaí são ricas em fitoquímicos. Enquanto o perfil químico das sementes de açaí tem 28,3% de polifenóis, a polpa de açaí contém 25,5%; a maioria dos quais são cianidina 3-glucosídeo e cianidina 3-rutinoside (Mertens-Talcott *et al.*, 2008; De Souza *et al.*, 2009; De Oliveira *et al.*, 2015). O alto teor de polifenóis do açaí tem sido associado à atividade antimicrobiana (Martins *et al.*, 2020). Um estudo investigou os efeitos do complexo de óleo de açaí contra *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Streptomyces aureus* e *Enterococcus faecalis* (De Almeida *et al.*, 2020). Além disso, extratos hidroalcoólicos produzidos a partir de polpa seca, folhas e sementes de açaí demonstraram atividade antimicrobiana significativa contra *Clostridium perfringens*, *S. aureus* e *P. aeruginosa* (Sprenger *et al.*, 2016).

Estudo realizado por Borges *et al.* (2019), no Maranhão, demonstrou também que o extrato de *Euterpe oleracea* apresentou propriedades de adesão e remoção de biofilme de *Aspergillus fumigatus* em superfícies abióticas. Considerando a atividade antimicrobiana, antifúngica, as propriedades químicas e nutricionais, o óleo do açaí tem sido estudado também no desenvolvimento de filmes, especialmente para uso em embalagens de alimentos (Teixeira *et al.*, 2023).

Segundo Buratto (2019), o açaí, em virtude de sua composição nutricional rica em antioxidantes, confere ao óleo derivado desse fruto uma posição estratégica. A utilização multifacetada do açaí, indo além de seu uso alimentar, impulsiona uma abordagem sustentável na fabricação de filmes poliméricos. A busca por uma sinergia entre as propriedades do óleo de açaí e as exigências da indústria de embalagens está alinhada a um movimento mais amplo em direção à bioeconomia e à responsabilidade ambiental.

As embalagens de alimentos podem ser desenvolvidas para diferentes fins, como embalagens passivas, embalagens ativas e embalagens sustentáveis ou verdes (Wang *et al.*, 2022). Também pode ser incorporado com aditivos bioativos, que interagem com os alimentos para melhorar sua qualidade e prazo de validade (Nogueira *et al.*, 2020). Diferentes substâncias naturais, como polifenóis, carotenoides e ácidos graxos poli-insaturados, podem ser usadas para fins de preservação e também podem exibir propriedades benéficas para a saúde dos consumidores (Lagos *et al.*, 2015). Sendo assim o óleo do açaí torna-se promissor para desenvolvimento de filme antifúngico.

No entanto, apesar das potencialidades evidenciadas, desafios técnicos e econômicos permanecem. A eficácia na extração do óleo, os métodos de produção em escala industrial e a otimização técnico-econômica são aspectos a serem considerados. A transição para uma indústria de embalagens mais sustentável, empregando o óleo de açaí em biofilmes, demandará um equilíbrio entre a inovação técnica, a viabilidade econômica e os imperativos ambientais (Farias *et al.*, 2016).

Neste contexto, o principal objetivo deste estudo foi desenvolver e caracterizar filmes poliméricos incorporados com óleo de açaí para possíveis aplicações em embalagens de alimentos e analisar as propriedades físico-químicas, mecânicas, óticas e antifúngicas.

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

Desenvolver filmes poliméricos para embalagem de alimentos utilizando óleo de *Euterpe oleracea* com potencial antifúngico.

2.2 Específicos

Caracterizar os aspectos físico-químicos e óticos de filme polimérico contendo óleo da polpa de *Euterpe oleracea*.

Analisar as propriedades mecânicas de filme polimérico contendo óleo da polpa *Euterpe oleracea*.

Identificar ação antifúngica de filmes produzidos com óleo da polpa de *Euterpe oleracea*.

Definir os filmes poliméricos com melhores características para possíveis aplicações na indústria de alimentos.

3. REVISAO DE LITERATURA

3.1 Açaí: Origem, Características e Impacto Econômico

O fruto Açaí é originário do Centro e Norte da América do Sul, crescendo em duas espécies de palmeira selvagem do gênero *Euterpe* (*E. Oleracea* Mart. e *E. Precatoria* Mart.). O nome "açaí" é derivado da língua tupi-guarani e significa "fruta que chora" devido à quantidade de água que libera quando pressionada (Couto *et al.*, 2022).

Essa palmeira neotropical pode atingir entre 10 a 20 metros de altura e entre 10 a 23 centímetros de diâmetro. Sua base é composta por um cone de raízes epígeas avermelhadas muito próximas, que podem alcançar um metro de altura). Possui uma coroa composta por 10 a 20 folhas com um raquis de 2 a 3 metros de comprimento e 60-90 pínulas estreitas e pendentes, que podem atingir até 80 centímetros de comprimento e entre 2 a 3 centímetros de largura. (Santos *et al.*, 2021).

A inflorescência apresenta um pedúnculo de aproximadamente 20 centímetros de comprimento e um raquis de cerca de 40 centímetros de comprimento, que contém entre 90 a 150 raquilas pendentes de cor esbranquiçada e tomentosas. Seus frutos são carnudos e esféricos, com 1 a 2 centímetros de diâmetro, de cor negra e violácea na maturidade, com sementes globosas cercadas por fibras finas e endosperma homogêneo (Bichara; Rogez, 2011).

As espécies *Euterpe oleracea* e *Precatoria*, de acordo com Yamaguchi *et al.* (2015), se diferenciam por mínimas características morfológicas e de distribuição geográfica. A variedade *Precatoria* é encontrada desde a América Central, as Antilhas até as florestas da Amazônia, Brasil e Bolívia. Na Colômbia, cresce nas florestas dos Llanos Orientales, nas terras baixas do Catatumbo, no Magdalena Médio, em Sinú, no Pacífico, nas cordilheiras dos Andes, na Sierra Nevada de Santa Marta e na região Amazônica.

Por outro lado, para Santos *et al.* (2021), a variedade *Oleracea* se diferencia por ter talos cespitosos, sementes com endosperma fissurado e plântulas com folhas bifidas. Ela cresce no norte do Brasil, Suriname, Guiana, Peru, Bolívia, no norte do Equador e Venezuela, leste do Panamá, no Magdalena Médio e nas regiões do Pacífico e Amazônia na Colômbia.

Ao longo dos séculos, conforme afirma Pinto (2023), o açaí evoluiu de uma fonte alimentar tradicional para tornar-se uma *commodity* internacionalmente reconhecida, com um crescimento em popularidade em decorrência de suas propriedades nutricionais e benefícios à saúde. O açaí se destaca como um dos produtos de maior potencial econômico no Brasil, principalmente na região amazônica, com ênfase no Pará, que se configura como um dos maiores produtores nacionais (Mendes *et al.*, 2024).

O estado do Pará se destaca como principal produtor e consumidor de açaí. A polpa do fruto é uma presença cotidiana, em especial das comunidades ribeirinhas, e é explorado em predominância de maneira extrativa. A relevância do açaí ultrapassa a mera necessidade alimentar, permeando aspectos culturais enraizados na região amazônica. O crescimento econômico resultante da produção em larga escala tem contribuído para o desenvolvimento do estado (Silva, 2021).

O crescimento da demanda além do mercado regional impulsionou a adoção de práticas de plantio e domesticação de espécies de açaizais. Esse movimento visa atender à demanda crescente e diversificar a oferta de forma sustentável. O cultivo de açaí ampliou a disponibilidade do fruto, assim como impulsiona ainda mais o aumento de renda, transformando a produção de frutos e seus derivados de uma atividade extrativista para um modelo mais intensivo de cultivo, como ressaltado por Freitas *et al.* (2021).

Além disso, Teixeira (2018) destaca a rentabilidade superior do sistema de produção plantado/intensivo em comparação aos açaizais nativos. Enquanto as palmáceas nativas geram uma receita líquida média de R\$400/hectare, as cultivadas alcançam aproximadamente R\$700,00/hectare, evidenciando o potencial econômico significativo do açaí no contexto atual.

Costa (2020) descreve que o açaí é encontrado em áreas de várzea baixa e solos hidromórficos, ricos em matéria orgânica, contribuindo para seu desenvolvimento. As características fisiológicas da espécie permitem sua adaptação tanto a solos alagáveis quanto a áreas de terra firme. A produção do fruto ocorre a partir dos 3 anos de idade, com a frutificação ocorrendo durante todo o ano, sendo a estação seca entre julho e dezembro o período de maior abundância.

A expansão do cultivo, tanto extrativo quanto plantado, impulsiona a economia, proporcionando aumento de renda para os produtores. A introdução de cultivares melhoradas geneticamente, contribui para padronização e produtividade elevada, superando a produção de açaizais nativos (Freitas *et al.*, 2021).

Apesar do crescimento na produção, deve-se adotar práticas sustentáveis, considerando os impactos ambientais do cultivo extensivo do açaí. O manejo consciente, o uso de sementes melhoradas geneticamente e a recuperação de áreas alteradas são medidas importantes para equilibrar o aumento da produção com a preservação da biodiversidade. O açaí, além de seu valor nutricional e econômico, torna-se um símbolo da interação sustentável entre a atividade humana e os ecossistemas naturais da região amazônica (Silva, 2021).

3.2 Composição e benefícios do açaí

A polpa de Açaí é um alimento tradicional entre os nativos da Amazônia, sendo rica em carboidratos, ácidos graxos monoinsaturados, antioxidantes fenólicos, altos níveis de antocianinas e carotenoides. Essas características fazem do Açaí um fruto benéfico para o organismo, e nos últimos anos, sua divulgação e pesquisa sobre suas propriedades aumentaram. Isso resultou em um aumento exponencial no consumo, na comercialização e nos produtos derivados do Açaí em diversas partes do mundo, consolidando-o como um "super-alimento" (Tacer-Caba, 2019).

Embora o consumo tradicional do açaí na Amazônia seja antigo, apenas no século XXI despertou interesse nacional e internacional. Nota-se uma diferença nos padrões de consumo: na região, é um alimento principal, enquanto fora é considerado uma bebida energética, misturado com açúcar e diversos ingredientes. Internacionalmente, é classificado como "superfood" devido à sua composição rica, sendo utilizado em shakes, pó ou cápsulas. Além disso, a indústria de cosméticos o incorpora em cremes e xampus (Quaresma; Euler, 2023).

Já a composição química do açaí depende da forma como a fruta é encontrada e da qualidade com a qual é recebida. Em relação à polpa e à casca, características específicas foram identificadas. No que diz respeito aos ácidos graxos, a fruta é composta principalmente por três tipos de ácidos. O ácido oleico é o principal composto, representando 56,2% do total. Em seguida, tem-se o ácido palmítico, com 24,1%, e, por último, o ácido linoleico, com 11,5%. Destaca-se que o ácido oleico, em particular, é o componente mais concentrado em frutos e é utilizado na indústria para a fabricação de cremes hidratantes e suavizantes. Os ácidos linoleico e palmítico também são empregados como surfactantes na limpeza da pele (Schirmann, 2012).

Como apresentam Liu *et al.* (2023), o açaí apresenta uma ampla gama de aminoácidos, com destaque para o ácido aspártico e o ácido glutâmico. Esses compostos são utilizados em agentes cutâneos como hidratantes devido à sua capacidade de retenção de água, além de possuírem propriedades antioxidantes e curativas. O beta-sitosterol é o esteroide mais abundante no açaí, representando aproximadamente 90% da concentração total.

Sousa (2020) apresenta que os antioxidantes são compostos que atuam no combate ao dano oxidativo causado por compostos reativos de oxigênio e nitrogênio. Os antioxidantes presentes no açaí, como os polifenóis e a vitamina E, ajudam a prevenir o estresse oxidativo, que pode resultar em danos à pele, envelhecimento precoce, rugas e até câncer.

O açaí contém proantocianidinas, conferindo-lhe propriedades antioxidantes semelhantes às dos arandos azuis. Esses antioxidantes são até 20 vezes mais eficazes que a vitamina C e 50 vezes mais potentes que a vitamina E. Além disso, o açaí possui antocianinas, pigmentos que proporcionam sua coloração característica e contribuem para a proteção da pele contra a radiação ultravioleta (Martins et al, 2019).

O óleo presente nas sementes de açaí contém ácidos graxos de cadeia curta, dos quais 49,77% são compostos por C8 e C16, além de conter aproximadamente 43,57% de ácidos graxos insaturados. Essas características posicionam essa fruta no mercado como frutas ou alimentos funcionais. Por outro lado, as matérias-primas ricas em ácidos graxos monoinsaturados e poli-insaturados são bastante procuradas pela indústria alimentícia, que está constantemente buscando a elaboração de diversos produtos alimentícios (Rocha, 2023).

Os lipídios presentes na polpa de açaí, de acordo com Guerra (2015), são em sua maioria insaturados. É relevante notar que essas características são impactadas, uma vez que esses frutos passam por processos de lavagem e secagem prévia, resultando em uma redução na quantidade de lipídios na matéria-prima, além disso, a quantidade de proteína presente no fruto é baixa (Schirmann, 2012). Embora os mecanismos exatos de ação antifúngica não sejam completamente compreendidos, estudos destacam a eficácia do açaí contra fungos devido à presença de substâncias como ácidos graxos, antioxidantes e compostos fenólicos (Borges *et al.*, 2019; Brito *et al.* 2022).

O açaí pode induzir a produção de fitoalexinas nas plantas, metabólitos secundários conhecidos por sua capacidade de fortalecer as defesas naturais contra estresses biológicos. A utilização do açaí como agente antifúngico oferece benefícios adicionais, como maior segurança para as pessoas e o meio ambiente, e minimiza o risco de desenvolvimento de resistência em microorganismos patogênicos, graças à diversidade de componentes antimicrobianos presentes (Petruk *et al.*, 2018).

3.3 Materiais Poliméricos

Ao longo dos últimos anos, houve um grande desenvolvimento na indústria de embalagens. O que antes era um simples recipiente para produtos ou alimentos evoluiu para se tornar um elemento importante no design do produto final. As demandas militares ajudaram a acelerar ou precipitar algumas mudanças chave no conceito de embalagem. Isso inclui a invenção do enlatamento de alimentos na França napoleônica e o uso de embalagens de cartão em vários produtos, como queijos e leite, devido à escassez de folhas de lata durante a Primeira Guerra Mundial (Sá, 2019).

Conforme os autores Teixeira-Costa e Andrade (2021) registram foi desde a Segunda Guerra Mundial, que houve uma diversificação na gama de materiais e embalagens utilizados. Isso foi possível graças à pesquisa e desenvolvimento nos campos da ciência e tecnologia de alimentos, materiais e na indústria de maquinário de embalagem. Apesar da importância e do papel desempenhado pela embalagem, ela é considerada como um mal necessário ou um custo desnecessário.

Em geral, como apontam Bratovčić *et al.* (2015) os filmes feitos de materiais poliméricos têm um custo relativamente baixo e boas propriedades de barreira contra umidade e gases. Eles podem ser termosseláveis para evitar vazamentos de gases, são leves, adicionando pouco peso ao produto, e se ajustam firmemente à forma dos alimentos, minimizando a perda de espaço durante o armazenamento e distribuição. São fáceis de manusear e convenientes para fabricantes, distribuidores e consumidores. Diante dessas vantagens, é fácil entender o aumento nas últimas décadas no consumo per capita de materiais plásticos.

Conforme mencionado por Silva (2017, p.17), a origem da palavra polímero está relacionada ao grego, onde "poli" significa muitos e "meros" refere-se a unidades de repetição. Portanto, polímeros são substâncias compostas por macromoléculas que consistem em milhares de unidades de repetição. No interior das moléculas, os átomos estão conectados por ligações covalentes, ou seja, ligações intramoleculares, enquanto as macromoléculas se unem umas às outras por meio de ligações Van der Waals. O termo utilizado para denotar a quantidade de unidades de repetição em uma cadeia é conhecido como grau de polimerização.

As principais desvantagens desse material são que, com algumas exceções, são produzidos a partir do petróleo, ou seja, não são de fontes renováveis e, na maioria dos casos, não são biodegradáveis. A preocupação com os efeitos ambientais de materiais de embalagem não biodegradáveis tem impulsionado a pesquisa no desenvolvimento de bioplásticos, derivados de fontes renováveis e biodegradáveis. No entanto, esses materiais ainda não estão amplamente disponíveis em países em desenvolvimento (Kedzierski *et al.*, 2020).

Os polímeros, sejam sintéticos ou naturais, apresentam uma ampla gama de propriedades, como rigidez, resistência mecânica e térmica, além de densidade variável. Com a pesquisa contínua na ciência dos polímeros, esses materiais estão desempenhando um papel crescente na sociedade. Do ponto de vista tecnológico, podem ser categorizados como termoplásticos e termorrígidos. Os termoplásticos, como resinas acrílicas, poliestireno e polietileno, amolecem com o calor e retornam ao estado sólido após resfriamento, permitindo repetição do processo. Já os termorrígidos, ao amolecerem com o calor, não recuperam sua forma original ao serem resfriados (Argólo, 2022).

Zhang *et al.* (2022) descreve que o Polietileno (PE) é estruturalmente o plástico mais simples e é obtido adicionando gás etileno em um reator a alta temperatura e pressão. Pode-se obter uma variedade de polietilenos de baixa, média e alta densidade, dependendo das condições de polimerização. São facilmente termosseláveis, produzindo filmes fortes e resistentes, com boa barreira ao vapor de água. No entanto, não são ideais para aplicações com óleos e gorduras. O polietileno de baixa densidade (LDPE) é utilizado em laminados como camada interna, devido à sua termosselabilidade e como camada externa devido à sua resistência à impressão. O polietileno de alta densidade (HDPE) é utilizado em injeção para tampas, caixas paleta e tambores (Reinisch, 2022). LDPE é caracterizado por possuir ramificações.

O Polipropileno (PP), como expõe Silva (2017), é um polímero de propileno elaborado por calor e pressão. O Polietilentereftalato (PET) pode ser formado por sopro ou por moldagem. Pode ser moldado por sopro, moldado por injeção, expandido e extrudado como lâminas para termoformagem. É o plástico que mais cresce em aplicativos de embalagens de alimentos devido à sua utilização em garrafas de todas as capacidades de refrigerantes e águas minerais (Zhang *et al.*, 2022).

O Policloreto de Polivinila (PVC), como descrito por Reinisch (2022) é produzido a partir da polimerização por adição de cloreto de vinila. O poliestireno (PS), de acordo com Zhang *et al.* (2022) é um polímero de adição do estireno, um composto vinílico no qual um átomo de hidrogênio é substituído por um anel benzênico.

Dentro dos materiais plásticos em contato com alimentos, encontram-se não apenas filmes, garrafas ou embalagens, mas também utensílios, equipamentos e recipientes, mencionando apenas alguns materiais de embalagem. Além disso, muitos materiais poliméricos são aplicados como lacas, adesivos ou selantes. Essa é uma das razões pelas quais a ciência vem desenvolvendo biofilmes, utilizando materiais encontrados na natureza (Piergiovanni; Limbo, 2016).

Dentro desse contexto, considerando o uso do açaí na indústria alimentícia e seu crescente como insumo biológico, destaca-se a oportunidade de explorar o potencial do açaí na fabricação de biopolímeros. Os biopolímeros, obtidos a partir de fontes renováveis, podem representar uma alternativa sustentável aos plásticos convencionais (Braga, 2019).

Nesse contexto, a utilização do açaí contribuiria para o aproveitamento integral do fruto, reduzindo os resíduos, e promoveria a inovação na indústria de bioplásticos, alinhando-se a princípios de ecoeficiência e responsabilidade ambiental. Assim, considerar o açaí na produção de biopolímeros pode representar uma abordagem estratégica para enfrentar os

desafios ambientais associados aos resíduos, impulsionando o desenvolvimento sustentável na cadeia produtiva do açaí (Janowicz *et al.*, 2023).

3.4 Biopolímeros

Para Schaeffer (2020), a fabricação e emprego de biopolímeros têm se apresentado como uma opção viável para substituir polímeros sintéticos. Entre as opções atualmente em destaque, aquelas derivadas de amido, celulose e polissacarídeos provenientes de diversas fontes biodegradáveis estão ganhando maior notoriedade. Esses materiais apresentam baixo custo e são facilmente obtidos. Sua distinção reside no ciclo de vida mais breve em comparação com os polímeros derivados de fontes fósseis, como o petróleo.

O interesse na fabricação de biopolímeros está relacionado a considerações sociais, ambientais e econômicas ligadas aos efeitos gerados pela extração, processamento, escassez e custo do petróleo. Adicionalmente, um número limitado de polímeros derivados do petróleo é biodegradável, contribuindo para a acumulação inadequada de resíduos plásticos, que demandam dezenas a centenas de anos para sua completa degradação (Braga, 2019).

Essa abordagem, orientada por considerações ambientais, sociais e econômicas, surge em resposta aos impactos negativos associados à extração, refino, escassez e volatilidade dos preços do petróleo. Em particular, a questão da degradação lenta de muitos polímeros derivados do petróleo, contribuindo para a acumulação persistente de resíduos plásticos, intensifica o interesse na produção e aplicação de biopolímeros (Farias *et al.*, 2016).

Com características hidrofóbicas geralmente envolvem lipídios ou proteínas, atuando como barreiras reguladoras de umidade, oxigênio, dióxido de carbono e compostos voláteis. Essas propriedades tornam esses biopolímeros eficazes contra a deterioração natural, além de conferir-lhes propriedades mecânicas superiores quando comparados aos filmes derivados de polissacarídeos (Chen *et al.*, 2019).

Farias *et al.* (2016) descrevem que a busca por aprimorar a qualidade dos biopolímeros levou a estudos sobre blendas, compósitos e nanocompósitos, visando melhorar características como resistência térmica, permeabilidade a gases e propriedades mecânicas. Esses biopolímeros não se limitam apenas à pesquisa, mas encontram aplicação prática como revestimentos e coberturas em produtos comestíveis e não comestíveis, em especial nas frutas e hortaliças, para prolongar sua vida útil.

A impermeabilidade desses materiais poliméricos age na preservação de produtos, permitindo seu armazenamento em ambientes refrigerados e minimizando as perdas. Vale ressaltar que o uso de revestimentos comestíveis não busca substituir as embalagens

convencionais, mas sim desempenhar funções adicionais, como a preservação da textura e do valor nutricional dos alimentos, além de mitigar fenômenos indesejados de transporte superficial (Schaeffer, 2020).

3.5 Bioprodutos

O óleo proveniente dos frutos do açaizeiro constitui cerca de 50% da matéria seca total da polpa, apresentando um perfil lipídico rico em ácidos graxos mono e polinsaturados, assemelhando-se ao azeite de oliva e de abacate. Este óleo, classificado como comestível, destaca-se por sua composição de ácidos graxos, sendo aproximadamente 73,9% composto por ácidos graxos insaturados, com o ácido oleico predominante, seguido pelo ácido linoleico e linolênico. A presença de fitoesteróis notáveis, como o beta-sitosterol, stigmasterol e campesterol, confere propriedades benéficas, sendo empregados na indústria cosmética para prevenir o envelhecimento precoce e promover o metabolismo celular (Buratto *et al.*, 2021).

Os bioprodutos, em sua definição ainda em busca de consenso, referem-se a produtos desenvolvidos a partir de organismos vivos e/ou suas partes constituintes. Esses produtos têm o potencial de substituir ou ampliar a geração de produtos provenientes de fontes não-renováveis. Uma perspectiva mais ampla define bioproduto como qualquer produto derivado ou suscitado a partir de biomassa. O mercado americano de bioprodutos, atualmente avaliado em 10 milhões de toneladas, projeta atingir 30 milhões de toneladas até 2030. O conceito de "Bioprodutos" abrange derivados da bioindústria, podendo originar-se de fontes animal, vegetal ou microbiana (Moraes *et al.*, 2018).

Frente a classificação dos bioprodutos com base em processos, eles podem ser categorizados como Tradicionais, Fermentativos, Processos Enzimáticos, Bioenergéticos, Biomateriais e Bioquímicos. Segundo Moraes *et al.* (2018), exemplos de bioprodutos tradicionais incluem borracha, óleos e extratos naturais, produtos botânicos, nutracêuticos, hidrocolóides, ácidos graxos poli-insaturados e oleoquímico.

A classificação dos bioprodutos, de acordo com Gupta (2023) é segmentada por processos, compreende categorias como tradicionais, fermentativos, enzimáticos, bioenergéticos, biomateriais e bioquímicos (Tabela 1). Bioprodutos tradicionais incluem borracha, óleos naturais, extratos botânicos e outros, com especial atenção para aqueles processados e comercializados na região amazônica. No entanto, a exploração econômica dos bioprodutos amazônicos, tanto nativos quanto adaptados, ainda se restringe a espécies tradicionais, limitando-se à fruticultura e matérias-primas para fitocosméticos.

O óleo do açaí, considerado um subproduto, é em grande escala procurado pelas indústrias alimentícia, cosmética e farmacêutica, tornando-se uma alternativa aos óleos tradicionais. Além de suas propriedades sensoriais, destaca-se por sua elevada atividade antioxidante, derivada do conteúdo fenólico, com destaque para o α -tocoferol (vitamina E) e tocotrienóis. Esses compostos atuam na prevenção da oxidação lipídica e garantem a estabilidade de armazenamento do óleo (Pereira, 2015).

A versatilidade do óleo de açaí, devido à sua composição rica em ácidos graxos insaturados e propriedades antioxidantes, o torna um componente atrativo na produção de filmes poliméricos. Esses filmes, quando incorporados com o óleo de açaí, podem beneficiar-se das propriedades antioxidantes para prolongar a vida útil dos alimentos embalados, além de oferecer uma alternativa sustentável às fontes convencionais de aditivos para embalagens.

A produção de filmes poliméricos utilizando resíduos provenientes da indústria do açaí representa uma abordagem promissora na busca por soluções sustentáveis na indústria de embalagens. A utilização de recursos naturais oriundos de vegetais e frutas, em particular do açaí, destaca-se pelas propriedades antioxidantes desses elementos, apresentando vantagens ao reduzir a dependência de aditivos químicos sintéticos e estimular a conscientização sobre o aproveitamento responsável de resíduos (Nogueira *et al.*, 2020).

A incorporação de extratos e resíduos vegetais agroindustriais na formulação de filmes biodegradáveis revela-se estratégica, proporcionando melhorias nas propriedades físicas e mecânicas dos biofilmes. Estudos anteriores, como os de Teirxeira-Costa *et al.* (2023), destacaram a estabilidade química e propriedades mecânicas aprimoradas das fibras de açaí em comparação com outras fibras naturais industrialmente utilizadas na fabricação de compósitos.

A dosagem adequada dos extratos da indústria do açaí implica na formulação dos filmes biodegradáveis, pois o excesso de material pode resultar em fraca coesão interfacial entre matriz e camada de fibras, impactando nas propriedades mecânicas, físicas e físico-químicas do biopolímero. Nogueira *et al.* (2020) aprofundaram a análise da dosagem de material reciclado, evidenciando a importância de uma abordagem equilibrada para garantir uma microestrutura homogênea e coesa.

Tabela 1: Categorias e exemplos de bioprodutos por processos.

Categoria	Descrição	Exemplos
Tradicionais	Bioprodutos obtidos por métodos tradicionais, geralmente envolvendo processos de extração e transformação baseados em práticas históricas.	Vinho, queijos, iogurte
Fermentativos	Bioprodutos produzidos através de processos fermentativos, nos quais microorganismos, como bactérias ou fungos, são utilizados para converter matérias-primas em produtos desejados.	Cerveja, pão, ácido lático
Enzimáticos	Bioprodutos obtidos por meio de processos enzimáticos, nos quais enzimas específicas catalisam reações químicas para criar produtos de interesse.	Detergentes enzimáticos, xarope de glicose invertida
Bioenergéticos	Bioprodutos relacionados à produção de energia, como biocombustíveis derivados de matérias-primas biológicas.	Biodiesel, etanol, biogás
Biomateriais	Bioprodutos utilizados na fabricação de materiais, substituindo ou complementando materiais convencionais, muitas vezes com aplicações na indústria médica.	Bioplásticos, scaffolds para engenharia de tecidos, materiais dentários à base de biomassa
Bioquímicos	Bioprodutos obtidos por processos bioquímicos, que podem envolver uma variedade de reações químicas mediadas por organismos vivos ou suas partes.	Aminoácidos, vitaminas, ácidos orgânicos

Fonte: Adaptado de Gupta (2023).

A granulometria dos pós provenientes dos extratos da indústria do açaí também emerge como um parâmetro a ser considerado. Pós com tamanhos de grão maiores podem resultar em filmes com aspecto visual heterogêneo, comprometendo sua aplicabilidade comercial. Técnicas como ultrassom têm se mostrado eficazes na homogeneização da mistura sólida, garantindo tamanhos de partículas menores e mais regulares, como evidenciado por Teixeira-Costa (2023).

A presença de compostos polifenólicos e antocianinas no açaí influencia a coloração e opacidade dos filmes. Embora esses pigmentos naturais possam reduzir a transparência das embalagens, sua presença atua para conferir propriedades antioxidantes e atuar como indicadores naturais de variação do pH durante a degradação dos alimentos ao longo do tempo. A capacidade dos filmes formulados a partir de açaí de detectar variações no pH, como em alimentos frescos, por exemplo carnes e frangos, destaca-se como um aspecto relevante, conforme observado por Janowicz *et al.* (2023).

O reaproveitamento dos resíduos do açaí, em particular os caroços, apresenta desafios relacionados à contaminação por fungos/bolores e ao risco de germinação devido ao alto teor de umidade retido. A aplicação de tratamentos térmicos para a remoção de umidade é uma estratégia para retardar a degradação e garantir o estoque seguro dos insumos. No entanto, a sensibilidade dos componentes bioativos, como polifenóis e antocianinas, a altas temperaturas devem ser considerada devido à sua ação nas propriedades funcionais do açaí (Chemat *et al.*, 2017).

Tabela 2: Características de Biopolímeros para Biofilmes.

Biopolímero	Biodegradabilidade	Resistência Mecânica	Transparência	Aplicações
Amido	Alta	Moderada	Variável	Embalagens flexíveis, filmes comestíveis
Policaprolactona (PCL)	Moderada	Alta	Alta	Dispositivos médicos, embalagens duráveis
Poli(3-hidroxibutirato) (PHB)	Alta	Moderada	Moderada	Embalagens sustentáveis, produtos médicos
Poli (ácido glicólico) (PLA)	Alta	Alta	Alta	Embalagens ecológicas, produtos descartáveis

Fonte: Adaptado de Nasrollahzadeh *et al.* (2021).

A rápida degradação dos componentes bioativos pode ser atenuada por técnicas de encapsulamento, como o anti-solvente supercrítico (SAS). Janowicz *et al.* (2023) evidenciaram a eficácia dessa técnica na micronização uniforme dos produtos naturais, garantindo exposição ao meio adverso com temperaturas altas e partículas mais uniformes em comparação com outras alternativas de atomização, como o *spray dryer* e o *vacuum dryer*.

A estabilidade e quantificação das antocianinas durante o processo de formulação dos filmes de açaí devem ser monitorados. Métodos de análise, como a técnica cromatográfica do UV Visível, permitem a detecção e quantificação precisa desses compostos, influenciando diretamente na capacidade antioxidante e no desempenho funcional do filme produzido (Buratto, 2019).

3.6 Óleo de açaí

Conforme Buratto *et al.* (2021), a coloração verde-escura do óleo de açaí, resultado da presença do pigmento clorofila, é reconhecida por seus efeitos benéficos à saúde. Contudo, adotar métodos de extração que preservem esse pigmento, onde a temperatura implica na sua manutenção. Apesar do recente destaque e crescente demanda pelo óleo de açaí, há uma lacuna na pesquisa, concentrando-se principalmente nas aplicações biológicas. A otimização técnico-econômica dos processos de extração, essencial para os fabricantes, ainda carece de desenvolvimento, com os métodos convencionais, como solventes orgânicos, prensa hidráulica e CO₂ supercrítico, sendo eficazes, mas enfrentando desafios de custo e manuseio em escala industrial.

Os procedimentos de extração de óleos provenientes de vegetais são categorizados como operações unitárias que objetivam a segregação de componentes mediante métodos químicos, físicos ou mecânicos. As propriedades dos óleos vegetais podem sofrer modificações em função da técnica de extração escolhida e das condições a que são submetidos, como altas temperaturas, processo de secagem das sementes, irradiação e concentração elevada de oxigênio (GUPTA, 2017).

Como descrevem Rani *et al.* (2021), as abordagens comuns para a extração desses óleos, incluindo prensagem, uso de solventes orgânicos e CO₂ supercrítico, embora proporcionem rendimentos, apresentam desafios consideráveis de manipulação, assim como custos superiores e, no caso dos solventes, impactos ambientais adversos.

Com a crescente demanda da indústria por extratos vegetais, as técnicas para obtenção de óleos, como os provenientes do açaí, tornaram-se uma área de pesquisa. Essas técnicas operam na preservação das propriedades benéficas dos óleos naturais, enquanto atendem às exigências da indústria e às características específicas das matérias-primas (RANI *et al.*, 2021).

Na Região Norte, no Estado do Pará, Moraes *et al.* (2018) aponta que persiste o processamento manual tradicional do açaí, envolvendo etapas como colheita, seleção, lavagem,

imersão em água morna para amolecimento da polpa e maceração manual para extrair o óleo. Entretanto, esse método, além de ser mais demorado e ter baixo rendimento, compromete a qualidade do óleo devido à exposição a temperaturas elevadas. Em contrapartida, as extrações químicas, embora proporcionem maior rendimento, podem resultar em resíduos no produto final.

A extração mecânica ou prensagem a frio, tem uma abordagem econômica, e dispensa compostos químicos, tornando o processo ambiental amigável, com eficácia moderada e indicada para sementes oleaginosas. A utilização de prensas hidráulicas ou de rosca, tanto em configurações artesanais quanto industriais, oferece flexibilidade, permitindo a otimização de variáveis críticas como pressão, preparo prévio da matéria-prima, temperatura de prensagem e teor de umidade das sementes (Cardona Jaramillo *et al.*, 2019).

Paralelamente, Lira *et al.* (2021) escrevem que a extração por solventes, envolvendo compostos orgânicos como hexano ou éter de petróleo, apresenta eficiência, mas reduz cerca de 2,5% dos ácidos graxos polinsaturados do óleo de açaí em comparação com extrações enzimáticas, elevando os custos de produção e impactando adversamente o meio ambiente. Estudos indicam que a escolha do método de extração, seja convencional como hexano ou como a extração por fluido supercrítico, influencia diretamente o rendimento e a qualidade do produto final.

A extração enzimática em meio aquoso, utiliza enzimas especializadas para hidrolisar a parede celular vegetal e liberar o óleo em uma solução aquosa, destacando-se por sua sustentabilidade ambiental e ausência de solventes orgânicos. Embora seus custos sejam superiores, estudos como os de Lima (2015) indicam que a combinação de múltiplas enzimas pode aumentar os rendimentos de extração em até 90%, facilitando sua implementação em escala industrial.

Já a extração por fluido supercrítico, utilizando CO₂ como solvente, é reconhecida por sua atoxicidade e seletividade, sendo uma tecnologia limpa com alta capacidade produtiva. Com eficiência na preservação de tocoferóis e obtenção de ácidos graxos, esta técnica contribui para a produção de óleos vegetais de qualidade, embora a busca por novos solventes seja contínua visando otimização e popularização (Lira *et al.*, 2019).

Utilizado na indústria, como apresentado por Manjare e Dhingra (2019), o método de destilação baseia-se na separação de compostos de misturas homogêneas por meio da aplicação de calor. O arranjo do procedimento é simples, envolvendo uma fonte de energia, um destilador e um trocador de calor. Sub métodos como o arraste de vapor e a hidrodestilação exploram propriedades específicas da água e sua interação com moléculas de óleo.

A destilação a vácuo é empregada quando a temperatura de ebulição de um composto é superior à temperatura na qual ocorre a decomposição química. A destilação a vácuo é uma estratégia para preservar a integridade dos compostos voláteis presentes nos óleos (Akdağ; Öztürk, 2019).

Já o método de extração com fluidos supercríticos, como dióxido de carbono supercrítico, é notável por sua seletividade e eficiência. Requer condições operacionais específicas, como pressão e temperatura controladas, para solubilizar os compostos desejados. A descompressão progressiva resulta em um óleo puro, preservando suas propriedades. A escolha da técnica de extração de óleo de açaí depende não apenas das propriedades intrínsecas do fruto, como baixa estabilidade térmica, mas também dos requisitos da indústria e dos objetivos desejados para os óleos obtidos (Manjare; Dhingra, 2019).

A obtenção de óleo de açaí é um processo que influencia a qualidade e a sustentabilidade do produto. A escolha do método impacta não apenas a eficiência da extração e a qualidade do óleo, mas também considerações ambientais, econômicas e de aplicação industrial (Cardona Jaramillo *et al.*, 2019). Cada método possui vantagens específicas, como a alta eficiência da extração enzimática e a sustentabilidade da extração por fluido supercrítico, permitindo que os produtores escolham a abordagem mais alinhada às suas necessidades e metas.

Os óleos vegetais têm sido objeto de estudos devido às suas diversas aplicações nas indústrias farmacológica, cosmética e alimentícia. Por apresentar uma variedade de atividades biológicas, o óleo da *Euterpe oleracea*, é um composto vegetal promissor. O Brasil, especialmente a região amazônica, produz extensivamente o óleo de açaí.

O óleo de açaí é composto essencialmente de ácidos graxos insaturados de cadeia longa, o ácido oleico é seu principal constituinte, representando 54,32% da fração lipídica, seguido pelo ácido palmítico (30%), ácido linoleico (5,9%) e menores concentrações de ácidos palmitólico, vacênico e esteárico (Pacheco-Palencia; Mertens-Talcott; Talcott, 2008). Entre os fitoesteróides presentes no óleo, β -sitosterol, estigmasterol e campesterol são os mais significativos. Esses compostos são amplamente empregados na indústria cosmética devido à sua capacidade de aprimorar o metabolismo celular e reduzir processos inflamatórios (Magalhães *et al.*, 2020). Além disso foi descrito também a presença de ácidos vanílico, palmítico, γ -linolênico, linoleico, oleico, cinâmico, cafeico, protocatechuico, ferúlico e siríngico, além dos flavonoides quercetina e kaempferol rutinoside, como os principais componentes fitoquímicos do óleo (Marques *et al.*, 2016).

Tabela 3: Métodos de extração de óleo de açaí e suas características.

Método de Extração	Aplicações Principais	Sustentabilidade	Fonte
Extração por solventes	Diversas aplicações industriais	Impacto ambiental significativo, redução de ácidos graxos polinsaturados, custos elevados	Lira <i>et al.</i> (2021)
Extração enzimática	Indústria alimentícia, farmacêutica	Sustentável, sem solventes orgânicos, custos mais altos, alta eficiência com enzimas especializadas	Lima (2015)
Extração por fluido supercrítico	Produção de óleos de alta qualidade	Limpa, atóxica, alta capacidade produtiva, preserva tocoferóis e ácidos graxos	Lira <i>et al.</i> (2019)
Destilação	Indústria alimentícia, farmacêutica, perfumaria	Relativamente sustentável, submétodos como arraste de vapor e hidrodestilação são eficientes	Manjare e Dhingra (2019)
Destilação a vácuo	Preservação de compostos voláteis nos óleos	Estratégia para preservar compostos voláteis, contribui para a qualidade dos óleos	Akdağ e Öztürk (2019)

Fonte: Autor, 2024.

Os compostos bioativos presentes no óleo justificam os efeitos benéficos a saúde, desde atividade antimicrobiana (Magalhães *et al.*, 2020) até ação anticâncer, segundo Silva *et al.*, (2023). Estudos variados destacam ainda a ação antiaterogênica (Souza *et al.*, 2017)), anti-hipercolesterolemico e anti-hipertrigliceridemico (Souza *et al.*, 2017), anti-inflamatória e antinociceptiva (Favacho *et al.*, 2011). Além disso, foi relatada a ausência de citotoxicidade e genotoxicidade (Marques *et al.*, 2016). Além dos efeitos na saúde, o óleo de açaí, apresenta um notável potencial na produção de filmes biodegradáveis (Teixeira-Costa *et al.*, 2020).

3.7 Fungos e Micotoxinas

As micotoxinas são metabólitos secundários produzidos por várias espécies de fungos filamentosos. Já são descritas mais de 400 micotoxinas, dentre elas destacam-se as aflatoxinas B1, B2, G1, G2 e M1, o ácido fusárico, as fumonisinas (B1 e B2), ocratoxinas (A, B e C), patulina, zearalenona e tricotecenos (Alshannaq e Yu, 2017). Diversas micotoxinas quando ingeridas podem causar infecções (Zhao, Schaffner, Yue, 2013).

As principais micotoxinas contaminantes alimentares são aflatoxinas (AF), ocratoxinas (OT), fumonisinas, patulina, zearalenona (ZEA) e tricotecenos, incluindo desoxinivalenol (DON) e toxina T-2 (Boevre *et al.*, 2012; Pereira *et al.*, 2014). As aflatoxinas estão entre as principais micotoxinas, existindo aproximadamente 20 tipos diferentes (Ossa, Hincapié, Peñuela, 2015). O hábito de armazenamento e cultivo de alimento é o principal fator de risco para as micotoxinas na alimentação (Pitt e Miller, 2017).

Acredita-se que cerca de 25% das safras colhidas no mundo são contaminadas por micotoxinas por ano, gerando desperdício alimentar e prejuízo econômico (Marin *et al.*, 2013). Os principais alimentos contaminados são grãos e cereais, estando presente também em produtos de origem animal, como leite, carne e ovo, gerando insegurança alimentar (Richard, 2007). Em tempos de comércio global de alimentos e mudanças climáticas, que também podem afetar a infestação de fungos nos alimentos, as questões de segurança alimentar se tornaram ainda mais importantes (Paterson e Lima, 2011; Marroquin-cardona *et al.*, 2014).

A micotoxicose é uma patologia causada por diversas espécies de fungos (Zain, 2011). Os sintomas da micotoxicose dependem do tipo de micotoxina, da concentração, da duração da exposição, idade, saúde e sexo do indivíduo (Bennett e Klich 2003). Podem ser categorizadas como agudas ou crônicas. Toxicidade aguda geralmente tem um início rápido e uma resposta tóxica alta, enquanto a toxicidade crônica é caracterizada por baixa exposição à dose por um longo período de tempo, resultando em outras patologias, incluindo o câncer (Williams *et al.* 2015).

Muitas estratégias têm sido propostas para controlar a ocorrência de micotoxinas nos alimentos (Alshannaq e Yu, 2017). Devido ao número elevado e crescente de micotoxinas e diversos efeitos tóxicos, aumentam o risco e o desafio de garantir segurança ao consumidor. Os riscos decorrentes dependem do tipo e da força de seu efeito, bem como da intensidade e duração da exposição (Degen, 2017).

As micotoxinas ocratoxina A (OTA) e desoxinivalenol (DON), são relatados como interferindo nos processos celulares de mamíferos, incluindo replicação de DNA e síntese de proteínas (Bensassi *et al.* 2009; Pfohl-Leszkowicz e Manderville 2012). Outras micotoxinas, como a aflatoxina B₁ (AFB₁) e seu precursor metabólico esterigmatocistina, foram identificados como carcinogênicos pelo mundo. Já as fumonisinas tem ação intracelular que inclui a promoção do estresse oxidativo por meio da geração de espécies reativas de oxigênio (ROS) danificando biomoléculas como o DNA.

Uma espécie de fungo pode produzir muitas micotoxinas diferentes, e a mesma micotoxina também pode ser produzida por várias espécies. Uma vez que muitas espécies são

capazes de produzir vários compostos de micotoxinas e produtos agrícolas de muitas fontes podem ser agregados antes do processamento em massa, há uma probabilidade muito alta de múltiplas micotoxinas na alimentação, ocasionando a multicontaminação (Mngadi *et al.* 2008; Pereira *et al.*, 2014; Marroquin- Cardona *et al.*, 2014; Rocha *et al.*, 2014). Existem ainda interações complexas entre a co-exposição crônica a múltiplas micotoxinas, possivelmente tendo efeitos sinérgicos ou mesmo atenuantes (Bensassi *et al.* 2014; Grenier e Oswald 2011).

Estudos sobre o metabolismo e a toxicocinética das micotoxinas são de vital importância. Vários autores pesquisaram uma relação entre doenças e níveis de micotoxinas no plasma ou soro. Ainda não está claro se a presença de micotoxinas em amostras biológicas é a causa (ou contribuinte, junto com outros fatores) de uma doença, ou, pelo contrário, se sua presença é o resultado da alteração da via metabólica produzida pela doença em si, o que pode aumentar os níveis de micotoxinas em pessoas doentes (Arce-López; Lizarraga; Vettorazzi; González-Peñas, 2020).

A análise confiável e sensível de micotoxinas requer a aplicação de um procedimento apropriado e certificado para detecção e qualificação, porque as micotoxinas podem expressar sua toxicidade em níveis de baixa dosagem. Em relação ao procedimento de isolamento, separação e extração de amostra de micotoxinas, além dos métodos tradicionais de extração de micotoxinas com solventes orgânicos, diferentes meios e métodos têm sido utilizados (Alshannaq & Yu, 2017; Somsuwin *et al.*, 2018; Leal *et al.*, 2019).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Materiais

- O alginato de sódio puríssimo (Isofar Indústria e Comércio de Produtos Químicos - Rio de Janeiro-RJ, Brasil)
- O glicerol (Isofar Indústria e Comércio de Produtos Químicos - Rio de Janeiro-RJ, Brasil)
- O cloreto de cálcio di-hidratado (Isofar Indústria e Comércio de Produtos Químicos - Rio de Janeiro-RJ, Brasil)

4.1.1 Óleo de *Euterpe oleracea* (Harmonie Aromaterapia LTDA, Brasil)

O óleo utilizado nas formulações dos filmes poliméricos foi adquirido da empresa Harmonie Aromaterapia LTDA (Florianópolis, Santa Catarina, Brasil). A técnica utilizada para extração desse óleo foi GC-MS (Prensagem a frio). Para a certificação do óleo vegetal, foi realizada análise de cromatografia pelo Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos – EQA do Centro Tecnológico – CTC da Universidade Federal de Santa Catarina.

A análise de ácidos graxos conduzida por Magalhães *et al.* (2020), por meio de cromatografia gasosa, revelou que os principais componentes do óleo de *Euterpe oleracea* são: ácido oleico (47,58%), ácido palmítico (24,6%) e ácido linoleico (13,58%). Esses resultados são consistentes com as descobertas de Do Nascimento *et al.* (2008) e com os dados apresentados pela empresa Harmonie®, conforme resumido na Tabela 4. Isso indica que aproximadamente 70% dos ácidos graxos são insaturados, incluindo ácido oleico (18:1), classificado como ômega-9, ácido linoleico (18:2), um ácido graxo que pode ser metabolizado em ômega-6, e ácido palmitoleico (16:1) (Magalhães *et al.*, 2020).

Tabela 4: Composição dos ácidos graxos do óleo de *Euterpe oleracea* Mart. quantificados usando cromatografia gasosa.

Ácido Graxo	Harmonie® (2023)*	Magalhaes <i>et al.</i> (2020)	Do Nascimento <i>et al.</i> (2008)
Ácido oleico (C18:1)	49,15	47,58	52,54
Ácido linoleico (C18:2)	12,49	13,58	9,72
Ácido palmítico (C16:0)	23,09	24,06	25,93
Ácido palmitoleico (C16:1)	4,29	6,94	4,88
Ácido mirístico (C14:0)	0,05	1,75	0,11

Ácido láurico (C12:0)	<0,05	4,77	0,04
-----------------------	-------	------	------

*Laudo cromatográfico realizado pela Universidade Federal de Santa Catarina.

Fonte: Adaptado de Do Nascimento *et al.* (2008); Magalhaes *et al.* (2020); Harmonie (2023).

4.2.2 Planejamento Experimental

Os filmes de alginato incorporados com óleo de açaí foram avaliados aplicando um Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) com 17 ensaios (2^3), com pontos fatorais, pontos axiais e pontos centrais. As variáveis independentes foram: concentração de alginato, concentração de glicerol e concentração de óleo de açaí, que resultaram na Tabela 5. As respostas analisadas foram: umidade, solubilidade em água, espessura, Permeabilidade ao Vapor de Água (PVA), propriedades mecânicas e antocianinas totais e foi utilizada uma equação polinomial para o ajuste dos dados experimentais (Equação 1).

Tabela 5: Concentrações utilizadas para desenvolvimento dos filmes polímeros incorporados com óleo de açaí.

Ensaios	Alginato (g)	Glicerol (mL)	Óleo de açaí (mL)
1	6.8 (-1)	1.2 (-1)	1.2 (-1)
2	9.1 (+1)	1.2 (-1)	1.2 (-1)
3	6.8 (-1)	4.8 (+1)	1.2 (-1)
4	9.1 (+1)	4.8 (+1)	1.2 (-1)
5	6.8 (-1)	1.2 (-1)	4.8 (+1)
6	9.1 (+1)	1.2 (-1)	4.8 (+1)
7	6.8 (-1)	4.8 (+1)	4.8 (+1)
8	9.1 (+1)	4.8 (+1)	4.8 (+1)
9	6 (-1.68)	3 (0)	3 (0)
10	10 (+1.68)	3 (0)	3 (0)
11	8 (0)	0 (-1.68)	3 (0)
12	8 (0)	6 (+1.68)	3 (0)
13	8 (0)	3 (0)	0 (-1.68)
14	8 (0)	3 (0)	6 (+1.68)
15	8 (0)	3 (0)	3 (0)
16	8 (0)	3 (0)	3 (0)
17	8 (0)	3 (0)	3 (0)

Fonte: Autor, 2024.

4.2.3 Caracterizações dos filmes

Os filmes foram submetidos a uma série de avaliações que levaram em conta os seguintes aspectos:

4.2.3.1 Aspecto visual

Foi realizada uma avaliação visual subjetiva de acordo com Brasil *et al.* (2022), visando utilizar apenas filmes homogêneos (ausência de partículas insolúveis e cores), contínuos (sem rupturas ou zonas quebradiças), com superfície lisa que torna o manuseio mais fácil (mais fácil de remover do suporte) e com boa flexibilidade; filmes que não apresentaram essas características foram descartados.

4.2.3.2 Umidade

A determinação do conteúdo de umidade foi conduzida conforme as normas da AOAC (2007), utilizando uma amostra do material, cuja massa inicial (m_i) foi obtida através de pesagem. Em seguida, essa amostra foi submetida a uma estufa, que foi previamente ajustada para operar a uma temperatura constante de 105°C. Durante um período de 24 h, a estufa promoveu a completa remoção da umidade presente na amostra, resultando na obtenção da massa final da amostra seca (m_f). Os valores relativos ao teor de umidade foram expressos em relação à massa inicial da amostra, e a quantificação foi realizada aplicando a Equação (1).

$$\omega = \left(\frac{m_i - m_f}{m_i} \right) \times 100$$

4.2.3.3 Solubilidade em água

A solubilidade em água dos filmes (S, g/100 g, p.s.) foi determinada de acordo com a metodologia de Da Silva *et al.* (2019), conforme representado pela Equação 2. Para este fim, a massa inicial (m_i , g) da amostra de filme foi quantificada após imersão em 50 mL de água destilada, com agitação 175 rpm a 25 °C por 24 horas, utilizando um agitador orbital (Tecnal, modelo TE-145, Brasil). As soluções diluídas foram então secas em uma incubadora com circulação de ar para determinar a massa final do material seco (m_f , g).

$$S = \left(\frac{m_i - m_f}{m_i} \right) \times 100$$

4.2.3.4 Espessura

A espessura (δ , mm) dos filmes foi determinada como a média aritmética de nove pontos medidos aleatoriamente na superfície do biofilme usando um micrômetro digital com uma resolução de 0,001 mm (Mitutoyo, modelo MDC-25S, Japão). Essas medições foram obtidas após um período de condicionamento a 25°C com uma umidade relativa de 52%.

4.2.3.5 Permeabilidade ao Vapor de Água (PVA)

A permeabilidade ao vapor de água [PVA(g.mm)/(m².dia.kPa)] foi determinada usando a metodologia E96M-16 (ASTM, 2016). Assim, o filme foi fixado em uma célula de acrílico a 25 ± 1 °C. O fundo da célula foi preenchido com cloreto de cálcio granulado (Ecibra, São Paulo, Brasil) para manter a umidade relativa em 0%. Esta célula foi colocada dentro de outro recipiente de acrílico, que foi hermeticamente selado e continha uma solução saturada de NaCl (Synth, Diadema, Brasil) no fundo para manter o ambiente com uma umidade relativa de 74%, obtendo assim uma diferença constante na pressão de vapor de água (ΔP_w , kPa). O aumento na massa total da célula, que foi monitorada ao longo do tempo (por 72 horas), correspondeu à taxa de permeação de água através do filme (ϕ , g/dia) e foi introduzida na Eq. (3) para calcular a PVA. E a área da superfície exposta ao filme utilizado foi de 38,5x10⁻⁴m².

$$WVP = \left(\frac{\phi \delta}{A_e \Delta P_w} \right) F$$

Onde A_e é a área da superfície do filme exposta (m²), ϕ é o coeficiente angular da linha reta traçada através dos pontos experimentais em um gráfico de massa versus tempo (g/dia). F é um fator de correção que leva em consideração a resistência adicional à transferência de uma massa de vapor de água através de um filme estagnado com ar entre a superfície da camada de cloreto de cálcio e o filme (Santana e Kieckbusch, 2013). Para a metodologia utilizada, essa correção foi muito próxima de 1,0 e não foi considerada.

4.2.3.6 Propriedades mecânicas

As propriedades mecânicas foram determinadas utilizando-se um texturômetro TA.XT2, (Stable Microsystems SMD) a uma velocidade de teste de tração de 1cm/s. Foram obtidos os dados de elongação até a ruptura, tensão de ruptura e o módulo de Young dos filmes, em consonância com as diretrizes estabelecidas pelas normas D882-18 (ASTM, 2018).

4.2.3.7 Espectroscopia na região do infravermelho

Foi realizada para analisar a presença e identificação de alguns componentes orgânicos e possíveis impurezas dos filmes. Nesta análise, foi utilizada a técnica da pastilha

(disco prensado), que usa brometo de potássio seco e pulverizado, para obter o espectro de infravermelho do material a ser utilizado. Foi colocado no espectrômetro (Shimadzu, modelo IRPrestige-21), para obtenção do espectro de absorção (faixa de 4000 a 400 cm^{-1}).

4.2.3.8 Análise de DRX

Foram realizadas por difratômetro de raios X D8 (Bruker, Alemanha) com radiação $\lambda = 0,154 \text{ nm}$ em um gerador de 40 kV e uma corrente de 30 mA. Todas as amostras foram medidas no modo de reflexão à temperatura ambiente com a faixa de ângulo de 5–70° (2 θ). A velocidade de varredura foi de 4°/min com uma etapa de varredura de 0,02°/s. A cristalinidade de cada filme foi calculada usando o método de Herman (1961) com base em seu espectro de DRX.

4.2.3.9 Avaliação da atividade antifúngica

A atividade antifúngica in vitro dos filmes foi realizada de acordo com Muñoz-Tébar *et al.* (2022). Culturas ATCC de *Aspergillus flavus*, *A. niger*, *Fusarium* e *Curvularia*. fornecidas pelo Laboratório de Micologia do Núcleo de Imunologia Básica e Aplicada da Universidade Federal do Maranhão. Os moldes foram cultivados e incubados em Dextrose de Batata Ágar (PDA, Merck, Darmstadt, Alemanha) a 25 °C até a esporulação e usados após 7 dias de crescimento ativo. A capacidade antifúngica dos filmes contra os moldes selecionados foi avaliada espalhando 100 μL de cada inóculo ($1-2 \times 10^6 \text{ ufc/mL}$) em placas de Petri. Em seguida, discos de filme de 10 mm de diâmetro foram colocados no centro das placas de Petri. Mais tarde, as placas foram incubadas a 25 °C por 3 dias e o crescimento do molde foi avaliado medindo o diâmetro dos halos de inibição (4 medidas para cada placa) em milímetros usando o software ImageJ v1.52a. O experimento foi realizado em duplicata e o % de inibição do crescimento foi calculada usando a seguinte equação:

$$\% \text{ Inibição de crescimento} = [\text{Ac} - \text{Ae}] / \text{Ac} \times 100$$

onde Ac é a zona de crescimento da placa de controle (sem Óleo) e Ae é a zona de crescimento das placas que contêm os discos de filme com óleo.

4.3 Análise Estatística

Foram calculados os efeitos das variáveis independentes sobre as respostas estudadas, bem como o erro, o coeficiente t de student e a significância estatística (p). Após a eliminação dos fatores não-significativos, verificou-se a significância da regressão e da falta de ajuste a um nível de significância de 5%, através de uma Análise de Variância (ANOVA), utilizando o teste F para o planejamento experimental estudado.

$$Y = \pm B_0 \pm B_1 X_1 \pm B_2 X_2 \pm B_3 X_3 \pm B_{11} X_1^2 \pm B_{22} X_2^2 \pm B_{33} X_3^2 \pm B_{12} X_1 X_2 \pm B_{13} X_1 X_3 \pm B_{123} X_1 X_2 X_3$$

(Equação 1)

Onde: Y é a resposta (variável dependente); B₀ é coeficiente de regressão constante; B₁, B₂ e B₃ são os coeficientes de regressão linear; B₁₁, B₂₂ e B₃₃ são os coeficientes de regressão quadráticos; B₁₂, B₁₃ e B₁₂₃ são as interações; X₁, X₂ e X₃ são as variáveis independentes concentração de alginato, concentração de glicerol e concentração de óleo polpa de açaí, respectivamente.

Realizou-se a análise estatística, a 95% (p≤0,05), dos coeficientes de regressão e em seguida foi realizada a análise de variância (ANOVA), que consistiu na avaliação do coeficiente de determinação (R²) e do teste F, para verificar se o modelo (Equação 2) representava um grau de ajuste adequado aos dados experimentais. Para a análise dos dados experimentais obtidos, bem como para a elaboração dos modelos, utilizou-se o software Statistica 9.0 (Statsoft, Tulsa, EUA). Apenas variáveis com nível de significância de 5% ou 10% (p≤0,05 ou p≤0,10) foram consideradas significativas.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{12} X_1 X_2 \quad \text{Equação (2)}$$

Onde: Y é a resposta (variável dependente); β₀ é a constante de regressão; β₁, e β₂ são os coeficientes de regressão para os termos lineares; β₁₁, e β₂₂ são os coeficientes de regressão quadráticos; β₁₂ é o coeficiente do termo de interação; X₁, e X₂ representa os valores codificados das variáveis independentes (concentração de óleo de sementes de açaí e concentração de óleo de polpa de açaí, respectivamente).

Nos filmes também foram avaliados pelo teste de comparação de médias através da ANOVA, aplicando o teste de Tukey ao nível de 5% de significância (p≤0,05) usando o software Statistica 9.0 (Statsoft, Tulsa, EUA).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Aspectos Visuais e Táteis

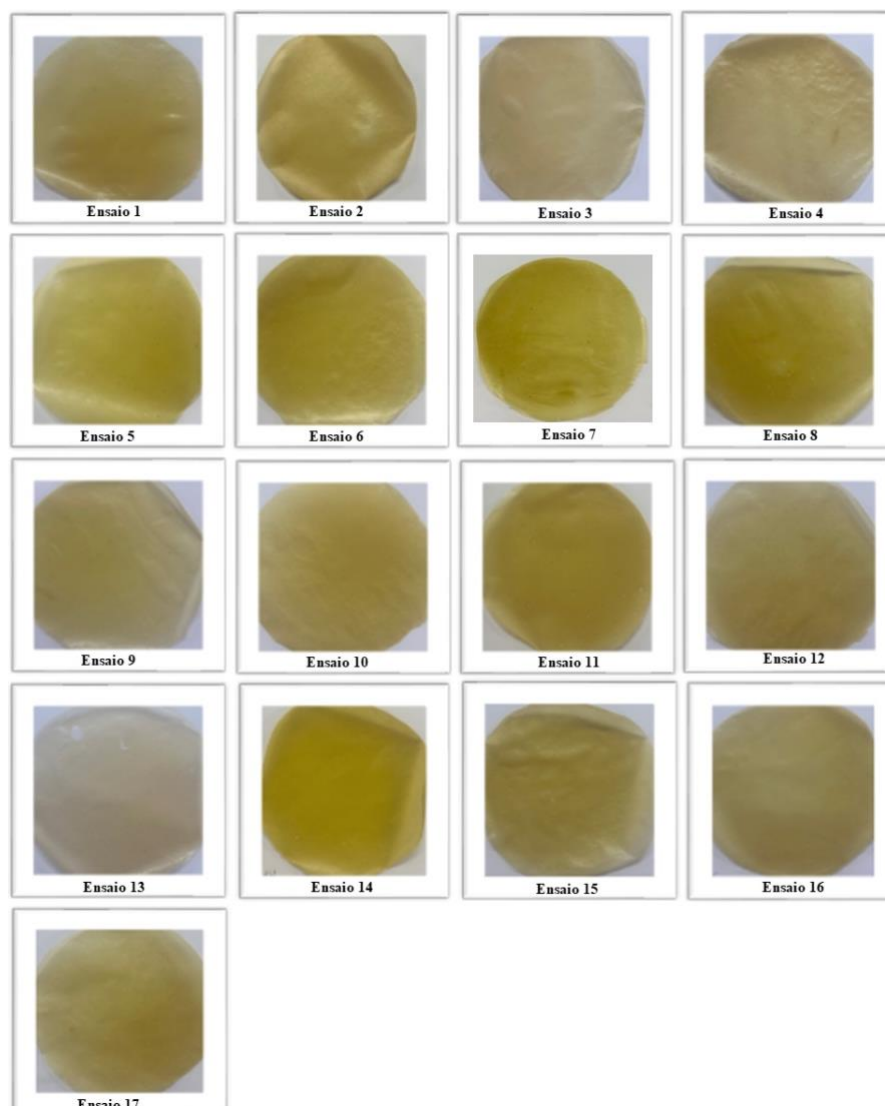
Após a produção de diferentes formulações e a etapa de secagem, dos filmes poliméricos incorporados com óleo de açaí (Figura 1), foram realizadas as avaliações das características visuais e táteis visando selecionar exclusivamente filmes que demonstram homogeneidade (sem partículas insolúveis e com coloração uniforme), continuidade (livres de rupturas ou áreas frágeis), apresentando uma superfície lisa e compacta para facilitar o manuseio (facilidade de remoção do suporte) e boa flexibilidade, conforme Tabela 6. Segundo Lima *et al.* (2023) essas características mostram a fácil manipulação do filme e sua eficácia para aplicações biotecnológicas. Filmes que não atendiam a esses critérios foram descartados, conforme metodologia descrita por Brasil *et al.* (2022) e Lopes *et al.* (2023).

Os resultados das avaliações de continuidade (ausência de rupturas e fraturas após a secagem), homogeneidade (ausência de partículas insolúveis ou visíveis a olho nu, ou zonas de opacidade ou de cores diferenciadas), transparência e flexibilidade (capacidade da membrana de fazer dobras até quebrar) dos diferentes ensaios, classificaram que os ensaios do ponto central têm a formulação mais adequada para o desenvolvimento do filme polímero incorporado com óleo de polpa açaí (Tabela 6).

Todos os filmes apresentaram facilidade de remoção das placas de Petri de vidro. Com relação à coloração e odor, todos os filmes apresentaram cor próximo de amarelo claro à escuro referente à coloração do alginato e do óleo de polpa de açaí, aumentando a tonalidade com a concentração do óleo e aroma agradável característico do açaí. Conforme Lopes *et al.* (2019) e Brasil *et al.* (2022), é essencial que os filmes apresentem uma aparência visualmente atraente, com coloração uniforme e livre de rupturas.

Atlar, Kutlu e Tornuk (2024) estudando o design e caracterizações de filmes à base de quitosana incorporados com óleo essencial de *Satureja hortensis* L. para embalagens ativas, revelou que o aumento na diferença de cor estava fortemente correlacionado com a concentração do óleo. Além disso, a adição de óleos vegetais contribui para aprimorar a uniformidade e coesão das estruturas dos filmes emulsionados (Santos *et al.*, 2022).

Figura 1. Filmes poliméricos incorporados com óleo de polpa de açaí.



Fonte: Autor, 2024.

A heterogeneidade é uma propriedade inerente das redes poliméricas. Para atingir esse objetivo, é necessário desenvolver métodos para obter uma estrutura de rede homogênea e confirmar sua homogeneidade (Sakai, 2014). Filmes que utilizam a incorporação de óleo na sua composição apresentam melhores características visuais e táteis quando passam por tratamento térmico, evitando gotículas de gordura, rachaduras, poros e apresentando superfície mais lisa (Socaciu *et al.*, 2020).

Segundo Bonilla *et al.* (2012), que investigaram o impacto da combinação dos óleos de manjerição e tomilho nas propriedades físicas de filmes à base de quitosana, revelaram que os filmes compostos com óleos essenciais apresentavam uma textura mais suave, menor rigidez e maior elasticidade.

Tabela 6: Avaliação subjetiva das formulações de biopolímeros incorporados com óleo de polpa de açaí.

Ensaio	Filmes incorporados com óleo de polpa de açaí			
	Continuidade	Homogeneidade	Transparência	Flexibilidade
1	++++	+++	+++	++++
2	+++	++	++++	++
3	+++	++++	++++	++++
4	+++	+++	++++	++++
5	++	++	++	+++
6	+++	++++	+	++
7	++++	+++	+++	++++
8	++++	+++	++	++++
9	++++	+++	++++	++++
10	++++	++++	++	+++
11	++++	+++	+	+
12	++++	++++	+++	++++
13	++	++++	++++	++++
14	+	+++	+	++++
15	+++	+++	+++	++++
16	+++	+++	+++	++++
17	+++	+++	+++	++++

Legenda: ++++ excelente, +++ bom, ++ regular, + ruim.

Fonte: Autor, 2024.

5.2 Teor de Umidade e Solubilidade em Água

A determinação do conteúdo de umidade é uma etapa fundamental na caracterização desses filmes, pois a presença de água pode afetar significativamente suas propriedades físicas, mecânicas e de barreira. No contexto específico dos filmes poliméricos à base de óleo de polpa de açaí, a análise de umidade assume uma importância ainda maior, devido as potenciais interações entre os componentes poliméricos e os constituintes do óleo (Giuseppe *et al.*, 2022).

Alterações não controladas no teor de umidade resultam em mudanças tanto físicas quanto químicas nos produtos, o que pode levar à perda de nutrientes, modificações nas características organolépticas (tais como cor, odor e sabor), além de promover o crescimento

microbiano, a oxidação de gorduras, a ação enzimática e o escurecimento não enzimático (Petikirige, Karim e Millar, 2022).

Os resultados do teor de umidade dos filmes poliméricos incorporados com óleo de polpa de açaí estão detalhados na Tabela 7.

Tabela 7: Teor de umidade de filmes poliméricos a base de óleo de polpa de açaí

Ensaio	Conteúdo de Umidade (%)	Solubilidade em Água (%)
1	17.665±0.819 ^e	28.609±2.536 ^d
2	15.423±0.571 ^c	4.889±0.615 ^a
3	44.010±0.322 ^k	52.939±0.209 ^j
4	39.342±0.553 ^l	40.292±0.796 ^h
5	11.312±0.664 ^a	17.662±1.005 ^c
6	12.174±0.144 ^b	38.209±0.179 ^g
7	19.910±0.657 ^f	44.425±0.305 ⁱ
8	36.561±0.236 ^j	44.691±0.197 ⁱ
9	36.286±0.799 ^j	44.648±0.659 ⁱ
10	25.789±1.264 ^h	43.302±0.772 ⁱ
11	26.207±0.183 ^h	31.844±0.286 ^e
12	10.587±0.812 ^a	14.051±1.238 ^b
13	32.967±0.712 ⁱ	40.770±1.067 ^h
14	16.124±0.121 ^d	37.373±0.118 ^f
15	19.999±0.218 ^f	59.854±5.225 ^j
16	19.946±0.654 ^f	45.467±2.032 ^{ij}
17	23.296±0.588 ^g	47.906±5.629 ^j

Média ± desvio médio das repetições. Médias com a letra minúscula em cada coluna indicam que não há diferença significativa a ($p \leq 0,05$) de acordo com o teste de Tukey.

Fonte: Autor, 2024.

De acordo com os resultados desta tabela, observou-se que os teores de umidade apresentaram uma faixa de valores, variando de 10,59 a 44,01%, referindo-se às formulações 12 (8,0 g de alginato, 6,0 mL de glicerol e 3,0 mL de óleo de polpa de açaí) e 3 (6,8 g de alginato, 4,8 mL de glicerol e 1,2 mL de óleo de polpa de açaí), respectivamente. Essa variação significativa entre os ensaios ressalta a influência diferenciada do óleo de polpa de açaí na absorção de umidade pelos filmes poliméricos, evidenciando a importância de uma análise detalhada para compreender essas variações e otimizar as propriedades dos materiais resultantes. Valores de umidade próximos foram obtidos por Brasil *et al.* (2022) e por Lopes *et*

al. (2020), estudando filmes à base de alginato, amido e pectina adicionados de polén da abelha Tubi e filmes mesocarpo de coco babaçu e alginato plastificados com glicerol, respectivamente.

Observa-se também uma clara correlação entre a concentração de glicerol e o teor de umidade nos ensaios realizados. Os ensaios 3, 4, 8 e 13, que possuem concentrações mais elevadas de glicerol, exibiram os maiores teores de umidade. Isto era esperado, uma vez que o glicerol é um composto muito hidrofílico (Paixão *et al.*, 2019). Por outro lado, os ensaios 1, 2, 5 e 7, caracterizados por concentrações menores de glicerol, demonstraram menores níveis de umidade. O glicerol é amplamente utilizado como plastificante na produção de filmes poliméricos naturais, apesar de suas propriedades hidrofílicas (Liang *et al.*, 2015). Sua composição inclui três grupos hidroxila, conferindo-lhe propriedades higroscópicas e solubilidade em água.

Outra característica importante a ser considerada é a concentração de alginato. Este composto também é reconhecido por sua notável característica hidrofílica. Essa propriedade é uma consequência direta da sua estrutura molecular, que é composta por grupos funcionais carregados negativamente, tais como os grupos carboxilato ($-\text{COO}^-$) e os grupos hidroxila ($-\text{OH}$). Esses grupos hidroxila e carboxilato proporcionam ao alginato de sódio uma interação favorável com as moléculas de água por meio de ligações de hidrogênio e interações eletrostáticas. Como resultado, o alginato de sódio tem a capacidade de absorver e reter grandes quantidades de água em suas redes moleculares, formando dispersões coloidais estáveis em meio aquoso (Ahmad *et al.*, 2021).

No entanto, os ensaios conduzidos neste estudo não evidenciaram uma correlação entre o teor de umidade e a concentração de alginato de sódio. Apesar disso, é importante ressaltar que a característica hidrofílica do alginato de sódio é amplamente explorada em diversas aplicações industriais, como na indústria alimentícia, farmacêutica e biomédica. Este polissacarídeo é empregado na formulação de géis, espessantes, estabilizantes e filmes comestíveis, entre outras utilizações, como destacado por Jadach *et al.* (2022).

O óleo de polpa de açaí mostrou potencial para desenvolvimento de filmes biopoliméricos. Sua composição é rica em ácidos graxos, esses ácidos podem ter contribuído na absorção de umidade. De modo geral, os óleos vegetais, devido à presença de ácidos graxos insaturados, apresentam características hidrofóbicas, o que reduz a afinidade pela água. No entanto, os ácidos graxos saturados, particularmente aqueles com grupos hidroxila (OH), podem aumentar a hidrofiliabilidade quando incorporados a um filme biopolimérico. Um exemplo é o ácido palmítico, que por meio de técnicas cromatográficas foi identificado com 23,09% do óleo de polpa de açaí. Por outro lado, o ácido oleico, que apresentou maior parte da composição

do óleo de polpa de açaí (49,15%) é insaturado e hidrofóbico, pode sofrer oxidação quando exposto à luz e ao ar. Este processo pode ter resultado na formação de compostos indesejados e na degradação do óleo. Logo, essa oxidação pode ter influenciado o aumento da umidade dos filmes (Do Nascimento *et al.*, 2008).

A análise de solubilidade, geralmente, envolve a imersão dos filmes em diferentes solventes, seguida da avaliação visual de qualquer mudança em sua integridade estrutural, bem como a medição quantitativa do material solubilizado (Da Silva *et al.*, 2019). Essa análise pode fornecer informações sobre a interação entre os componentes do biofilme e o meio ambiente, auxiliando na otimização de sua formulação e no desenvolvimento de estratégias para melhorar sua durabilidade e desempenho em aplicações práticas (Gårdebjær *et al.*, 2016; Cowen, Karim e Piletsky, 2018).

A solubilidade em água dos filmes apresentou variação nos valores, o que pode ser observado na análise estatística, entre 4,89 (referente ao ensaio 2: 9,1 g de alginato, 1,2 mL de glicerol e 1,2 mL de óleo de polpa de açaí) a 52,94% (referente ao ensaio 3: 6,8 g de alginato, 4,8 mL de glicerol e 1,2 mL de óleo de polpa de açaí). Raposo *et al.* (2021), por outro lado, obtiveram valores variando entre 5,96% - 51,01% para filmes com alginato e mesocarpo de coco babaçu, valores que estão dentro da faixa dos encontrados neste estudo. O elevado teor de solubilidade não desqualifica a utilização do filme, tudo depende da aplicação deste. Janjarasskul *et al.* (2020) destacaram que filmes com alto teor de solubilidade são aplicados como embalagens que necessitam de uma rápida degradação, ou não necessitam de teores baixos de solubilidade em água, como acontece com alimentos secos ou desidratados que apresentam menor atividade em água, por exemplo.

Nos ensaios 3, 4, 8, 9, 13 e 15 foram obtidos valores de solubilidade superiores a 40,00%, indicando um índice considerável. Por outro lado, nos ensaios 2 e 12, os percentuais médios apresentaram-se abaixo de 15,00% (11,82% e 14,05%, respectivamente). Essa variação sugere uma diferenciação significativa na solubilidade entre os diferentes ensaios, destacando a influência dos parâmetros experimentais e das condições de teste nos resultados observados.

De acordo com a pesquisa conduzida por Song *et al.* (2022), a inclusão de óleo vegetal na composição dos filmes poliméricos demonstra uma clara tendência de diminuição da sua hidrofiliabilidade ao longo do processo. Essa tendência não foi observada nesta pesquisa, porém, os valores de solubilidade obtidos foram inferiores do que os encontrados por Santana e Kiebusch (2013) para filmes de alginato e glicerol, que obtiveram valores próximos à 100%, demonstrando que a presença de óleo de polpa de açaí deixou os filmes emulsificado com características aprimoradas, tornando-os menos hidrofílicos, contribuindo para a obtenção de

menores solubilidades. De forma geral, os filmes emulsionados demonstram um grande potencial para serem empregados como embalagens primárias e/ou secundárias (Santos *et al.*, 2022).

Algumas aplicações exigem diferentes graus de umidade e solubilidade do material, sendo desejável um grau mais elevado se o material de embalagem for comestível e consumido junto com o alimento embalado. Por outro lado, a insolubilidade e a resistência à água são as propriedades preferidas para uma embalagem destinada a proteger o alimento e aumentar sua vida útil. Assim, o maior ou menor valor dessas propriedades depende da natureza do uso da embalagem (Sharma *et al.*, 2021; Meshram *et al.*, 2023).

Nas Tabelas 8 a 9 estão apresentadas as estimativas dos efeitos lineares, quadráticos e das interações, respectivamente, para a resposta conteúdo de umidade e solubilidade em água dos biopolímeros de alginato adicionados de glicerol e óleo de polpa de açaí. Para a umidade, a concentração de alginato apresentou efeitos positivos e quadráticos e efeitos lineares para as concentrações de glicerol (efeito positivo) e óleo de polpa de açaí (efeito negativo). No caso da concentração de glicerol, indica que quanto mais alto são as quantidades, maiores serão os teores de umidade. Por outro lado, maiores concentrações de óleo de polpa de açaí, serão encontradas as menores umidades. Ao nível de 95% de confiança, ainda teve efeito positivo e significativo a interação entre a concentração de alginato e a concentração de óleo de polpa de açaí, fato este que mostra que todas as variáveis independentes foram importantes para esta resposta.

Analisando a Tabela 9, pode-se observar que a concentração de glicerol (efeito negativo e quadrático), a concentração de óleo de polpa de açaí (efeito negativo e quadrático) e a interação da concentração de alginato x óleo de polpa de açaí (efeito positivo) tiveram efeitos significativos sobre a resposta solubilidade em água.

Tabela 8: Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta conteúdo de umidade (%) das formulações de biopolímeros incorporados com óleo de polpa de açaí.

Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	t (2)	p – valor
Média	21,101	1,106	19,085	0,003*
Conc. alginato (L)	-1,033	1,038	-0,994	0,425
Conc. alginato (Q)	6,896	1,143	6,033	0,026*
Conc. glicerol (L)	8,345	1,038	8,036	0,015*
Conc. glicerol (Q)	-2,043	1,143	-1,787	0,216
Conc. óleo açaí (L)	-9,491	1,038	-9,140	0,012*
Conc. óleo açaí (Q)	2,305	1,143	2,016	0,181
Conc. alginatoxConc. glicerol	3,341	1,357	2,462	0,133
Conc. alginatoxConc. óleo açaí	6,106	1,357	4,500	0,046*
Conc. glicerolxConc. óleo açaí	-4,320	1,357	-3,184	0,086

* Significativo a $p \leq 0,05$.

Fonte: Autor, 2024.

Tabela 9: Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta solubilidade em água (%) das formulações de biopolímeros incorporados com óleo de polpa de açaí.

Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	t (2)	p – valor
Média	51,102	4,437	11,518	0,007*
Conc. alginato (L)	-2,609	4,167	-0,626	0,595
Conc. alginato (Q)	-5,204	4,586	-1,135	0,374
Conc. glicerol (L)	9,234	4,167	2,216	0,157
Conc. glicerol (Q)	-20,073	4,586	-4,377	0,048*
Conc. óleo açaí (L)	1,837	4,167	0,441	0,702
Conc. óleo açaí (Q)	-8,671	4,586	-1,891	0,050*
Conc. alginatoxConc. glicerol	-2,302	5,444	-0,423	0,714
Conc. alginatoxConc. óleo açaí	14,295	5,444	2,626	0,020*
Conc. glicerolxConc. óleo açaí	-6,622	5,444	-1,216	0,348

* Significativo a $p \leq 0,05$.

Fonte: Autor, 2024.

Com a eliminação dos fatores não-significativos, verificou-se a significância da regressão e da falta de ajuste em relação a 95% de confiança ($p \leq 0,05$), através do teste F, na

Análise de Variância para as respostas umidade e solubilidade em água, respectivamente (Tabelas 10 e 11).

Tabela 10: ANOVA do modelo ajustado para a resposta conteúdo de umidade (%) das formulações de biopolímeros incorporados com óleo de polpa de açaí.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	F Calculado	F Tabelado
Regressão	857,833	7	122,548	1,251	3,290
Resíduos	881,311	9	97,923		
- Falta de ajuste	873,947	7	124,850	33,909	19,350
- Erro puro	7,364	2	3,682		
Total	1739,144	16	108,696	R ² = 93,06%	

SQ: Soma quadrática; GL: Grau de liberdade; QM: Quadrado médio.

Fonte: Autor, 2024.

Tabela 11: ANOVA do modelo ajustado para a resposta solubilidade em água (%) das formulações de biopolímeros incorporados com óleo de polpa de açaí.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	F Calculado	F Tabelado
Regressão	1631,033	3	543,678	4,417	3,410
Resíduos	1600,161	13	123,089		
- Falta de ajuste	1481,593	11	134,690	2,272	19,400
- Erro puro	118,567	2	59,284		
Total	3231,194	16	201,950	R² = 96,98%	

SQ: Soma quadrática; GL: Grau de liberdade; QM: Quadrado médio.

Fonte: Autor, 2024.

O coeficiente de determinação (R²) para os modelos ajustados para as respostas umidade e solubilidade foram de 93,06% e 96,98%, respectivamente. Estes R² foram considerados muito bons e com isto foi possível obter modelos e superfícies de respostas.

O modelo para o teor de umidade apresentou regressão significativa ao nível de 95% de confiança (F_{Calculado} < F_{Tabelado}) e com falta de ajuste em relação ao erro puro (F_{calculado} superior ao F_{tabelado}). Isso ocorreu devido ao fato de a média quadrática (QM) do erro puro apresentar um valor muito inferior à QM da falta de ajuste (devido à boa repetibilidade dos ensaios nos pontos centrais). Isso faz com que a razão entre eles resulte num valor muito alto. Portanto, o modelo ajustado para a umidade dos biopolímeros de alginato adicionados de glicerol e óleo de polpa de açaí foi considerado não preditivo e com falta de ajuste. Entretanto, analisando a solubilidade, observa-se que o modelo apresentou F_{Calculado} superior F_{Tabelado} e sem falta de ajuste (F_{calculado} inferior ao F_{tabelado}), tornando o modelo preditivo.

Os modelos codificados propostos para representarem a umidade e solubilidade dos biopolímeros de alginato adicionados de glicerol e óleo de polpa de açaí, estão descritos pelas Equações 3 e 4, respectivamente.

$$\text{Umidade}[\%] = 21,101 + 3,448\text{conc. alginato}^2 + 4,172\text{conc. glicerol} - 4,746\text{conc. óleo de açaí} + 3,053\text{conc. alginato} \times \text{conc. óleo de açaí}$$

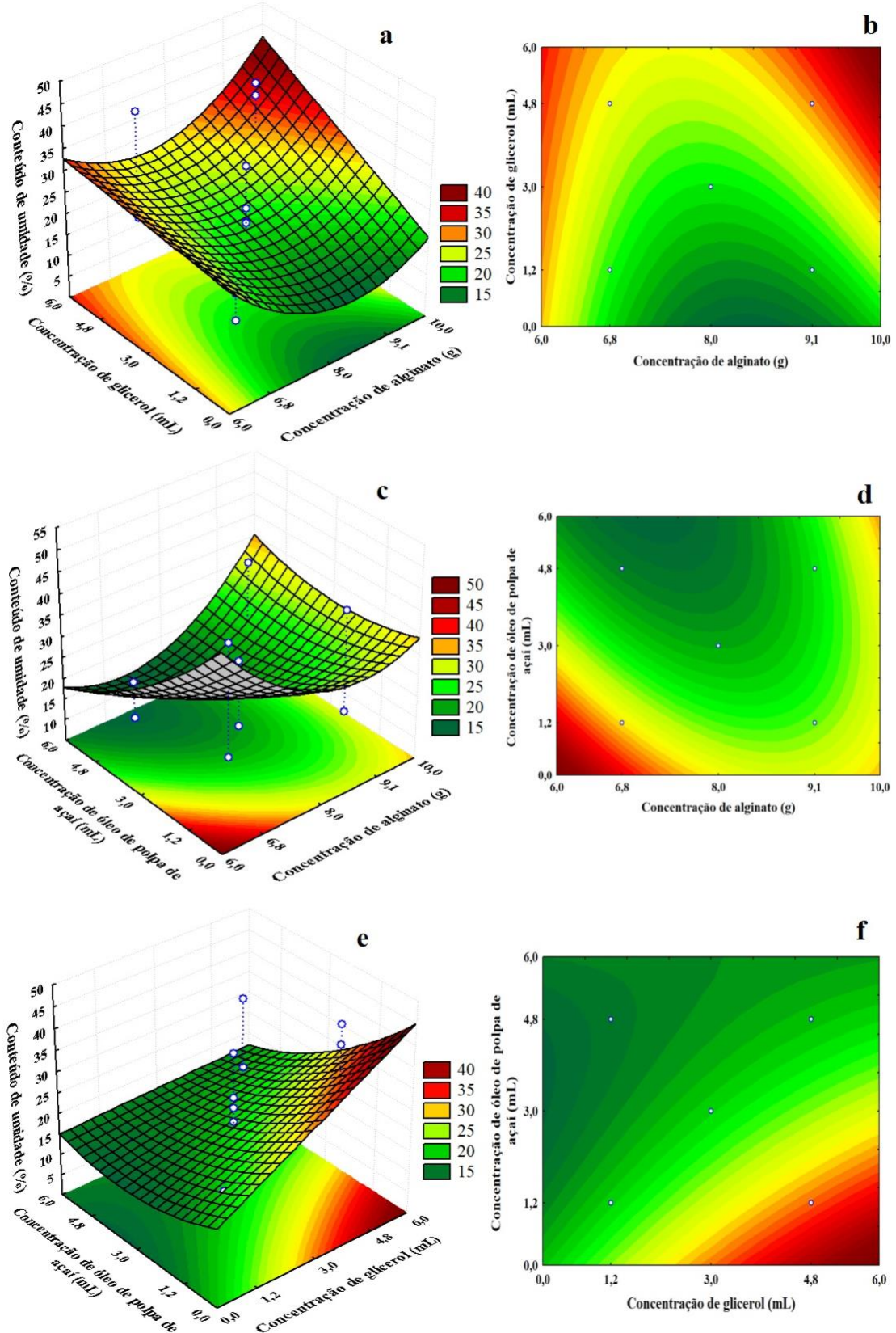
(Equação 3)

$$\text{Solubilidade}[\%] = 51,102 - 10,036\text{conc. glicerol}^2 + 0,918\text{conc. óleo de açaí}^2 - 1,115\text{conc. alginato} \times \text{conc. óleo de açaí}$$

(Equação 4)

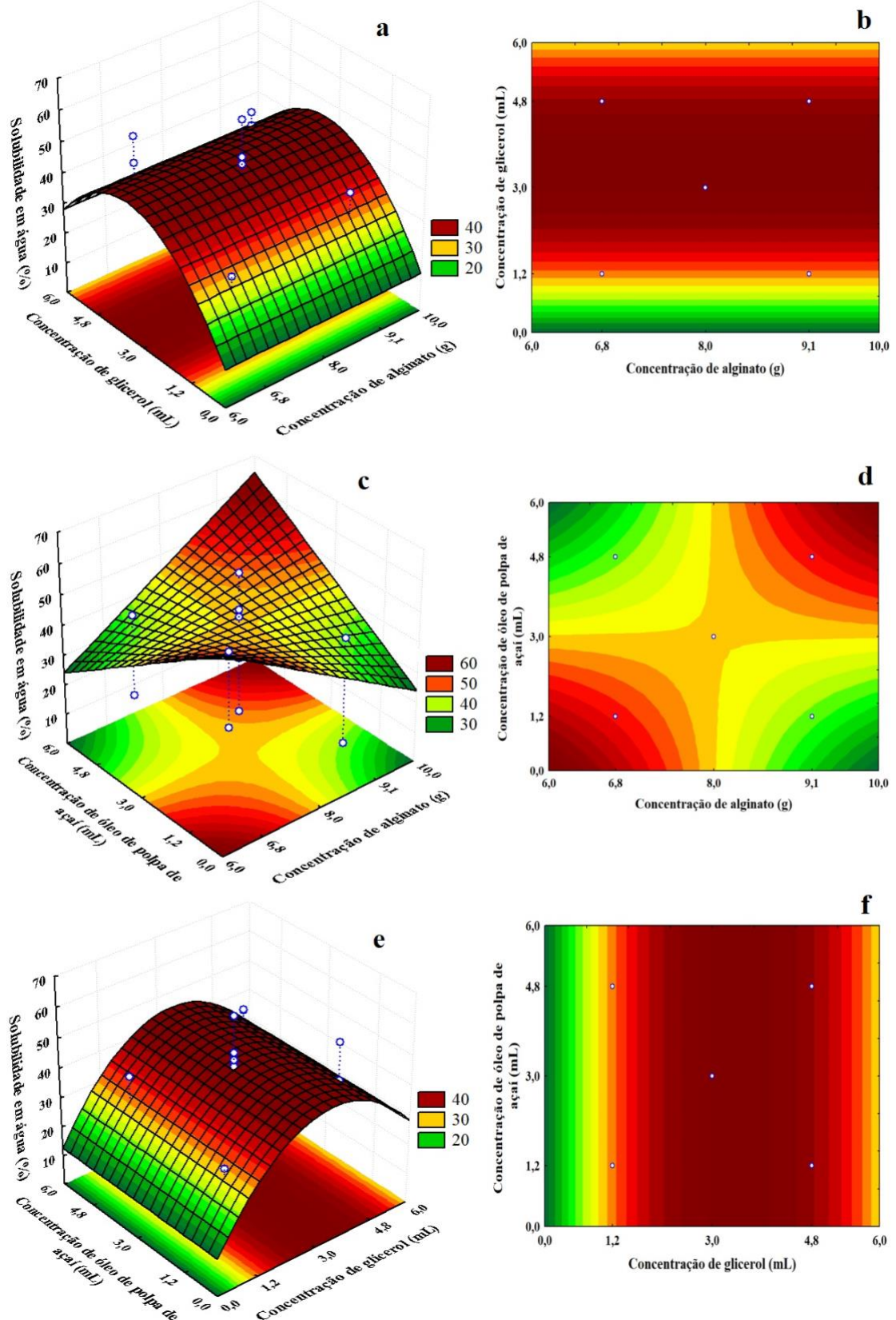
Nas Figuras 2 e 3, encontram-se as superfícies de respostas e curvas de contorno para as respostas umidade e solubilidade em água dos biopolímeros de alginato adicionados de glicerol e óleo de polpa de açaí. Os valores menores de umidade foram encontrados por volta de 8,0 a 9,0g de alginato, nas menores concentrações de glicerol e por volta de 3,0 a 4,5 mL de óleo de polpa de açaí. Entretanto, mais baixas solubilidades foram obtidas nas maiores concentrações de alginato e óleo de polpa de açaí e nas menores concentrações de glicerol, sendo que a presença do glicerol foi mais significativa do que as diferentes concentrações de alginato ou óleo de polpa de açaí.

Figura 2. Superfícies de respostas e curvas de contornos para a variável dependente teor de umidade: (a; b) – concentração de alginato versus concentração de glicerol; (c; d) - concentração de alginato versus concentração de óleo de polpa de açaí e (e; f) - concentração de glicerol versus concentração de óleo de polpa de açaí



Fonte: Autor, 2024.

Figura 3. Superfícies de respostas e curvas de contornos para a variável dependente solubilidade em água: (a; b) – concentração de alginato versus concentração de glicerol; (c; d) – concentração de alginato versus concentração de óleo de polpa de açaí e (e; f) – concentração de glicerol versus concentração de óleo de polpa de açaí



5.3 Espessura e Permeabilidade ao Vapor de Água

As respostas obtidas no planejamento experimental, como espessura e permeabilidade ao vapor de água, dos biopolímeros de alginato adicionados de glicerol e óleo de polpa de açaí, são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12: Espessura e Permeabilidade ao Vapor de Água de filmes poliméricos a base de óleo de polpa de açaí.

Ensaio	Espessura (mm)	Permeabilidade ao vapor de água (g.mm/m ² .dia.kPa)
1	0,163±0,011 ^a	5,118±1,046 ^a
2	0,197±0,007 ^a	6,772±0,235 ^a
3	0,147±0,026 ^a	5,713±1,017 ^a
4	0,170±0,018 ^a	7,547±1,926 ^{ab}
5	0,204±0,011 ^a	8,152±0,908 ^b
6	0,229±0,041 ^b	8,389±2,238 ^b
7	0,233±0,008 ^b	9,653±2,372 ^c
8	0,266±0,040 ^d	10,222±1,521 ^{cd}
9	0,180±0,028 ^a	6,948±0,798 ^a
10	0,245±0,012 ^c	8,661±0,700 ^b
11	0,230±0,014 ^b	8,350±1,132 ^b
12	0,238±0,007 ^b	8,908±0,552 ^{bc}
13	0,243±0,006 ^c	10,206±1,301 ^{cd}
14	0,299±0,010 ^e	11,699±0,309 ^d
15	0,252±0,017 ^{cd}	8,481±0,719 ^b
16	0,227±0,009 ^b	5,648±0,800 ^a
17	0,233±0,010 ^b	9,394±0,690 ^c

Média ± desvio médio das repetições. Médias com a letra minúscula em cada coluna indicam que não há diferença significativa a ($p \leq 0,05$) de acordo com o teste de Tukey.

Fonte: Autor, 2024.

Diversas técnicas estão disponíveis para medir e monitorar com precisão a espessura dos filmes poliméricos. Uma das metodologias mais comuns emprega o uso de micrômetros de alta precisão. Estes dispositivos possibilitam a medição exata da espessura do filme, em micrômetros ou até mesmo em escala nanométrica, dependendo da sensibilidade do equipamento utilizado (Shakoury *et al.*, 2021). Durante a análise realizada, foi constatado que os filmes poliméricos apresentaram uma variação média de 0,147 a 0,299 mm correspondentes

aos ensaios 3 (6,8 g de alginato, 4,8 mL de glicerol e 1,2 mL de óleo de polpa de açaí) e 14 (8,0 g de alginato, 3,0 mL de glicerol e 6,0 mL de óleo de polpa de açaí), respectivamente. Valores próximos e superiores foram obtidos por Raposo *et al.* (2021) (0,11 a 0,33mm) e Bierhalz, Silva e Kieckbusch (2012) (0,31 a 0,35 mm) estudando a caracterização de filmes biodegradáveis produzidos a partir de misturas de alginato, amido e fibras do endocarpo de coco babaçu e filmes biodegradáveis de alginato de sódio reticulado com cálcio, respectivamente.

Neste estudo, foi constatado que a concentração do óleo de açaí está diretamente associada à espessura dos filmes, sendo os filmes com maiores concentrações de óleo os que apresentaram maior espessura. Além disso, Venkatachalam, Rakkapao e Lekjing (2023) sugerem que filmes comestíveis com espessura inferior a 0,25 mm são ideais. No presente estudo, com exceção do ensaio 14, todos os filmes analisados apresentaram espessura inferior a 0,26 mm. Segundo Hammam (2019), filmes comestíveis com uma espessura de 0,050 mm são caracterizados por camadas finas e coesas.

É preciso considerar ainda os demais componentes do filme, como o glicerol. Um nível mais alto de plastificantes hidrofílicos, como o glicerol, podem reter mais umidade na matriz do filme e, assim, aumentar a espessura (Jaderi, Yazdi, Mortazavi e Koocheki, 2022). No entanto, é observado que os valores de espessura desse trabalho apresentam a maioria dos valores próximos, logo, Bierhalz *et al.* (2014) defende que valores de espessura próximos são importantes para fins de comparação de propriedades dos filmes, como por exemplo a PVA, pois estão diretamente atrelados. A solubilidade em água dos filmes também pode ser influenciada pela espessura, podendo aumentar esta análise devido a uma maior exposição à solução (Hamman, 2019).

Filmes com alta permeabilidade ao vapor de água são utilizados em embalagens para frutas e vegetais frescos, permitindo a troca gasosa e mantendo a frescura dos alimentos, enquanto filmes com baixa permeabilidade são empregados para proteger produtos sensíveis à umidade, como produtos farmacêuticos e cosmético (Turan, 2019; Saha *et al.*, 2020). A PVA dos filmes poliméricos é influenciada por diversos fatores, como a composição química do polímero, a espessura do filme, a presença de aditivos e modificadores, além das condições ambientais, como temperatura e umidade relativa.

Para esta resposta, houve uma variação de 5,118 a 11,699 g.mm/m².dia.kPa, referente aos ensaios 1 (6,8 g de alginato, 1,2 mL de glicerol e 1,2 mL de óleo de polpa de açaí) e 14 (8,0 g de alginato, 3,0 mL de glicerol e 6,0 mL de óleo de polpa de açaí) com valor médio de 8,227 g.mm/m².dia.kPa. Fontes *et al.* (2011) em seu trabalho com filmes de alginato obteve valores médios de PVA igual a 15,57 g.mm/m².dia.KPa, resultado superior ao obtido no presente

trabalho. De acordo com Krochta e Mulder-Jonhston (1997), valores de PVA entre 10-100 é considerado pobre, de 0,10-10 moderada e boa de 0,01-0,10 g.mm/m².dia.kPa. A partir dessa análise, a maioria das formulações estão na faixa de PVA apresentam faixa de PVA moderada.

A eficácia de um biopolímero em desempenhar o papel de uma barreira que limita a transferência de vapor d'água impacta diretamente na preservação da qualidade e na extensão da durabilidade dos alimentos embalados (Meshram *et al.*, 2023). A interação entre hidrofobicidade e hidrofiliabilidade influencia a habilidade dos materiais filmogênicos de regular os processos de vapor de água, conforme discutido por Sharma *et al.* (2021). Adicionalmente, Atarés e Chiralt (2016) observaram que a adição de óleos em matrizes poliméricas hidrofílicas resulta em melhorias nas propriedades de barreira, incluindo a PVA.

A presença de uma alta quantidade de óleo de polpa de açaí fez com que a espessura e PVA aumentasse. Istiqomah *et al.* (2022), estudando a incorporação de um conjunto de óleos de plantas (alho, capim-limão e aloe vera) em filmes à base de amido, afirmaram que os resultados contribuíram nas melhorias significativas nos parâmetros de PVA, tornando a formulação atrativa para aplicações em embalagens de alimentos. Da mesma forma Santos *et al.* (2022), incluindo o óleo de buriti em filmes poliméricos, observaram uma diminuição na PVA, aproximadamente 47%, indicando uma melhor eficiência como barreira à umidade.

Os ensaios 3, 9 e 12 realizados neste estudo destacaram-se pela presença de características visuais e táteis satisfatórias, além de exibirem baixa PVA. Esses resultados apontam para o potencial dessas formulações específicas na produção de biofilmes com propriedades desejáveis para aplicações em embalagens. Em particular, a baixa PVA observada nesses filmes pode ser atribuída à sua densidade e homogeneidade, uma vez que filmes mais densos e uniformes tendem a apresentar menor PVA. Por outro lado, filmes com estrutura menos coesa ou porosa tendem a exibir uma PVA mais alta, o que pode comprometer sua eficácia como barreira contra a umidade. Essas relações entre a estrutura do filme e sua PVA são consistentes com as discussões anteriores feitas por Atlar, Kutlu e Tornuk (2024), que enfatizaram a importância de entender e controlar a estrutura do material para alcançar as propriedades desejadas.

A espessura do biopolímero também pode influenciar sua PVA. O controle da espessura é difícil. Geralmente, filmes mais finos têm uma PVA mais alta devido a uma menor resistência à difusão, enquanto filmes mais espessos podem ter uma PVA mais baixa devido a uma maior distância que as moléculas de água precisam percorrer. No entanto, nesta pesquisa não foi observado essa tendência, apresentando em filmes mais espessos maiores PVAs. Porém,

segundo Paixão *et al.* (2019), em filmes não hidrofílicos, a permeabilidade e a espessura não são diretamente proporcionais.

Estão mostradas nas Tabelas 13 e 14 as estimativas dos efeitos lineares, quadráticos e das interações, respectivamente, para a resposta espessura e PVA dos biopolímeros de alginato adicionados de glicerol e óleo de polpa de açaí. Usando o software de estatística, foram feitas as análises estatísticas dos resultados. Foram estimados os efeitos das variáveis analisadas assim como a interação entre elas. Pelo nível de significância de 5% (valor de $p \leq 0,05$), observa-se que somente a concentração de alginato (termo linear e quadrático) e a concentração de óleo de polpa de açaí (termo linear) apresentaram efeitos significativos para a espessura dos biopolímeros estudados. A concentração de alginato e óleo de polpa de açaí apresentaram efeitos lineares positivos, indicando que com o aumento destas variáveis independentes, aumenta também os valores de espessura, o que já foi demonstrado na Tabela 8.

Tabela 13: Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta espessura (mm) das formulações de biopolímeros incorporados com óleo de polpa de açaí.

Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	t (2)	p – valor
Média	0,240	0,007	32,020	0,001*
Conc. alginato (L)	0,033	0,007	4,717	0,042*
Conc. alginato (Q)	-0,035	0,008	-4,471	0,047*
Conc. glicerol (L)	0,006	0,007	0,797	0,509
Conc. glicerol (Q)	-0,019	0,008	-2,513	0,128
Conc. óleo açaí (L)	0,051	0,007	7,253	0,018*
Conc. óleo açaí (Q)	0,007	0,008	0,854	0,483
Conc. alginato x Conc. glicerol	-0,001	0,009	-0,065	0,954
Conc. alginato x Conc. óleo açaí	-0,000	0,009	-0,016	0,988
Conc. glicerol x Conc. óleo açaí	0,027	0,009	2,985	0,096

* Significativo a $p \leq 0,05$.

Fonte: Autor, 2024.

Tabela 14: Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta permeabilidade ao vapor de água (g.mm/m².dia.kPa) das formulações de biopolímeros incorporados com óleo de polpa de açaí.

Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	t (2)	p – valor
Média	7,938	1,126	7,053	0,020*
Conc. alginato (L)	1,051	1,057	0,994	0,425
Conc. alginato (Q)	-0,697	1,164	-0,599	0,610
Conc. glicerol (L)	0,826	1,057	0,782	0,516
Conc. glicerol (Q)	-0,114	1,164	-0,098	0,931
Conc. óleo açaí (L)	2,018	1,057	1,909	0,057*
Conc. óleo açaí (Q)	1,529	1,164	1,314	0,319
Conc. alginato x Conc. glicerol	0,128	1,381	0,093	0,935
Conc. alginato x Conc. óleo açaí	-0,670	1,381	-0,485	0,675
Conc. glicerol x Conc. óleo açaí	0,491	1,381	0,355	0,756

* Significativo a $p \leq 0,05$.

Fonte: Autor, 2024.

Entretanto, analisando a resposta PVA dos filmes, somente a concentração de óleo de polpa de açaí apresentou efeito linear positivo significativo ao nível de 95% de confiança (Tabela 14), indicando aumento da PVA com o aumento da quantidade de óleo.

As Tabelas 15 e 16 mostram a Análise de Variância (ANOVA) para as respostas espessura e PVA, respectivamente, obtidas a partir da eliminação dos fatores não-significativos e verificando a significância da regressão e da falta de ajuste em relação a 95% de confiança ($p \leq 0,05$), através do teste F.

Tabela 15: ANOVA do modelo ajustado para a resposta espessura (mm) das formulações de biopolímeros incorporados com óleo de polpa de açaí.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	F _{Calculado}	F _{Tabelado}
Regressão	0,017	4	0,004	6,992	3,260
Resíduos	0,007	12	0,001		
- Falta de ajuste	0,007	10	0,001		
- Erro puro	0,000	2	0,000	4,224	19,400
Total	0,025	16	0,002	R ² = 98,89%	

SQ: Soma quadrática; GL: Grau de liberdade; QM: Quadrado médio.

Fonte: Autor, 2024.

Tabela 16: ANOVA do modelo ajustado para a resposta permeabilidade ao vapor de água (g.mm/m².dia.kPa) das formulações de biopolímeros incorporados com óleo de polpa de açaí.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	F _{Calculado}	F _{Tabelado}
Regressão	23,468	2	11,734	5,975	3,740
Resíduos	27,495	14	1,964		
- Falta de ajuste	19,864	12	1,655	0,434	19,410
- Erro puro	7,631	2	3,815		
Total	50,963	16	3,185	R ² = 96,05%	

SQ: Soma quadrática; GL: Grau de liberdade; QM: Quadrado médio.

Fonte: Autor, 2024.

Os R² dos modelos de regressão foram de 98,89% e 96,05% para as respostas de espessura e PVA, respectivamente. Para a espessura, somente as concentrações de alginato e óleo de polpa de açaí se ajustaram ao modelo estatístico (Equação 5). Entretanto, para a PVA, apenas a concentração de óleo de polpa de açaí foi ajustada ao modelo (Equação 6). Esses modelos descrevem adequadamente o comportamento do processo. Segundo Barros Neto *et al.* (2001), quanto mais próximo de 1 o valor de R² menor o erro e melhor o ajuste do modelo. Ainda de acordo com estes autores, modelos com R² < 0,60 devem ser usados somente como indicadores de tendência, nunca para fins preditivos.

$$\text{Espessura[mm]} = 0,272 + 0,063\text{conc. alginato} - 0,001\text{conc. alginato}^2 + 0,081\text{conc. óleo de açaí}$$

(Equação 5)

$$\text{Permeabilidade ao Vapor de Água[g. mm/m}^2\text{.dia. kPa]} = 7,938 + 1,009\text{conc. óleo de açaí}$$

(Equação 6)

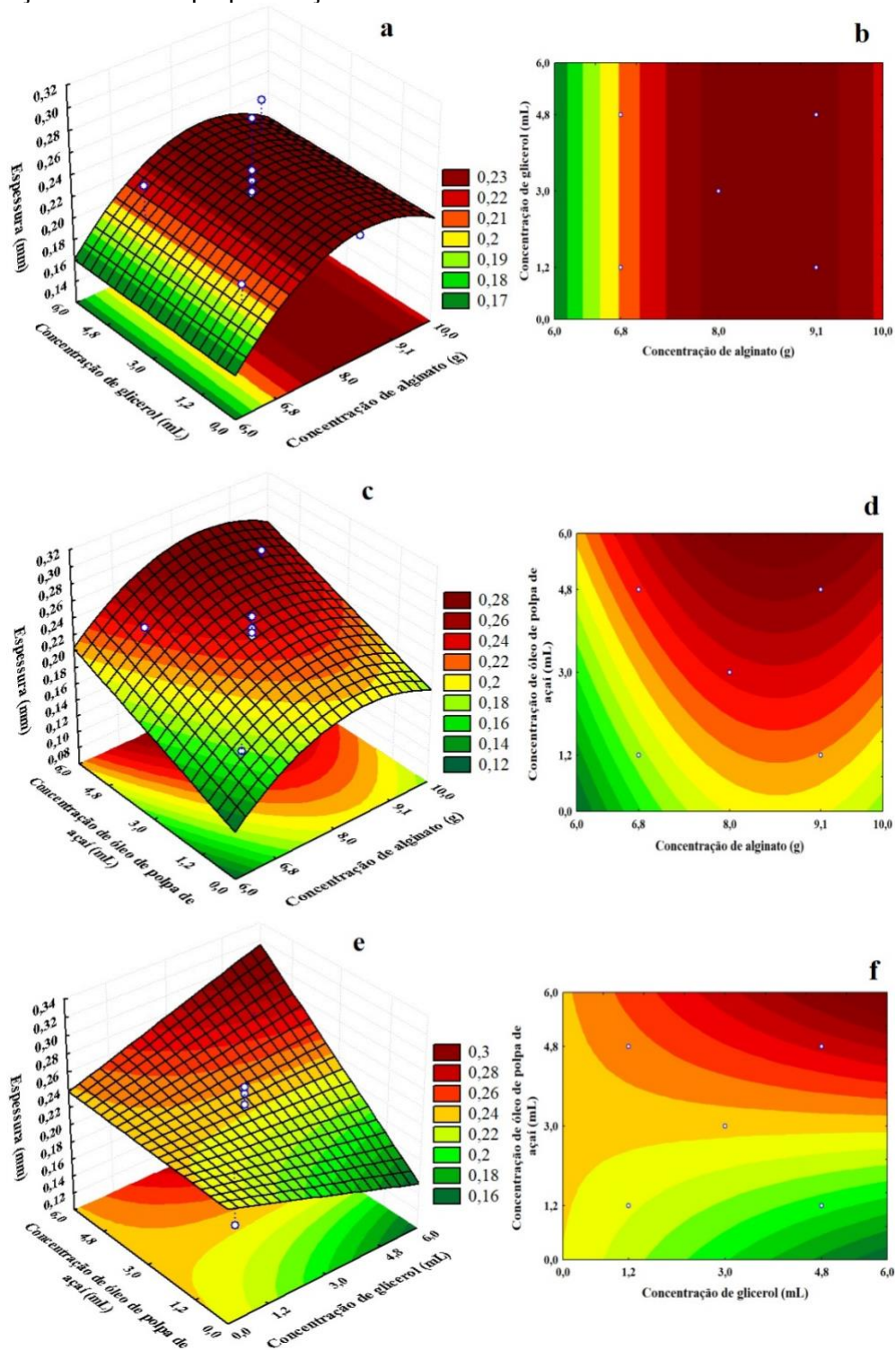
O modelo apresentado pela Equação 3 resultou valor de F_{calculado} da regressão pela distribuição de Fisher 2,14 vezes maior que o valor tabelado, dessa forma, o modelo é estatisticamente significativo para o experimento realizado e, F_{calculado}<F_{tabelado} na falta de ajuste, tornando-se significativa (distribuição de Fisher de 0,22). Isto pode ter ocorrido devido à não boa repetibilidade dos pontos centrais, visível também pelo teste de Tukey. Neste caso, o erro puro foi suavemente inferior à falta de ajuste.

Analisando o modelo apresentado na Equação 4, esse modelo apresentou-se significativo, uma vez que o F_{calculado} foi superior ao F_{tabelado} para a regressão (distribuição de Fisher de 1,60), porém sem com falta de ajuste (F_{calculado}<F_{tabelado}, numa proporção da distribuição de Fisher de 0,02). Segundo Barros Neto *et al.* (2001), a relação

$F_{\text{calculado}}/F_{\text{tabelado}}$ para a regressão tem que ser superior a 4 para o modelo ser considerado preditivo e, neste caso foi de apenas 1,60, indicando que o modelo é não preditivo. Neste caso também, houve uma boa aproximação dos dados dos pontos centrais, apesar de ter ocorrido uma variação pelo teste de Tukey, fazendo com que o erro puro seja muito inferior à falta de ajuste.

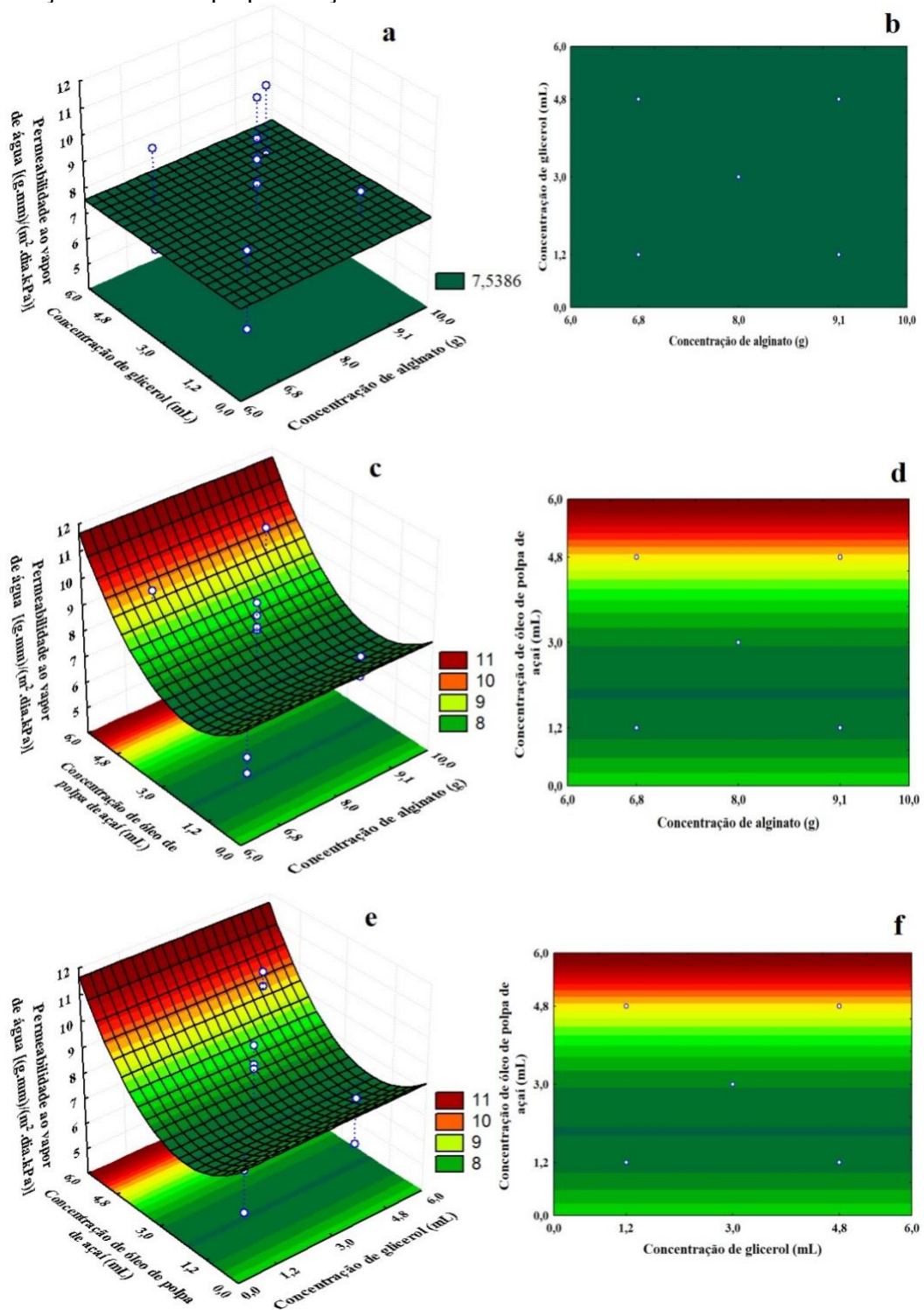
As Figura 4 e 5 mostram as curvas de contorno e superfícies de resposta geradas através dos modelos propostos, considerando-se os pontos médios de concentração de alginato, glicerol e óleo de polpa de açaí e confirmando o que foi estabelecido pela análise estatística.

Figura 4. Superfícies de respostas e curvas de contornos para a variável dependente espessura: (a; b) – concentração de alginato versus concentração de glicerol; (c; d) - concentração de alginato versus concentração de óleo de polpa de açaí e (e; f) - concentração de glicerol versus concentração de óleo de polpa de açaí.



Fonte: Autor, 2024.

Figura 5. Superfícies de respostas e curvas de contornos para a variável dependente PVA: (a; b) – concentração de alginato versus concentração de glicerol; (c; d) - concentração de alginato versus concentração de óleo de polpa de açaí e (e; f) - concentração de glicerol versus concentração de óleo de polpa de açaí.



Fonte: Autor, 2024.

Considerando a obtenção de valores menores de espessura, é possível observar nas Figuras (4a e 4b) que os mais baixos valores de espessura foram obtidos em qualquer faixa de

concentração de glicerol quando se compara com a concentração de alginato, pois esta variável não teve influência sobre esta resposta. As Figuras 4c e 4d mostra uma relação entre as concentrações de alginato e óleo de polpa de açaí, podendo ser visualizado que as menores espessuras são obtidas nas menores faixas de alginato e óleo de polpa de açaí. Entretanto, quando se analisa a relação de glicerol com a concentração de óleo de polpa de açaí (Figuras 4e e 4f), uma concentração maior de glicerol deixa os filmes menos espessos.

Em relação a resposta PVA, como pode ser observado nas Figuras 5a e 5b, as concentrações de alginato e glicerol estudadas no planejamento experimental não foi significativa para a PVA. Analisando a relação entre as concentrações de alginato e a de óleo de polpa de açaí, pode ser verificado nas Figuras 5c e 5d que as menores PVAs podem ser obtidas nas menores faixas de concentração de óleo de polpa de açaí, tendo seu ponto otimizado entre a faixa de 1,2 a 3,0 mL e para qualquer faixa de alginato. Mesmo fato foi observado nas Figuras 5e e 5f analisando as concentrações de óleo de polpa de açaí versus glicerol. O glicerol não se manteve constante e óleo de polpa de açaí na mesma faixa apresentadas nas Figuras 5c e 5d.

5.4 Análise antifúngica

O fungo utilizado nesta análise inicial foi o *Curvularia*. *Curvularia* é um gênero de fungos patogênicos comumente encontrados no solo e em detritos vegetais, capazes de infectar uma ampla variedade de plantas. O manejo das doenças causadas por *Curvularia* envolve práticas como saneamento e irrigação adequada, além do uso de fungicidas, embora a resistência a esses produtos possa ocorrer (Madrid *et al.*, 2022). Algumas espécies também são conhecidas por causar infecções oportunistas em humanos e animais, especialmente em indivíduos imunocomprometidos, manifestando-se como infecções cutâneas, sinusite ou doenças invasivas como abscessos cerebrais (Skovrlj *et al.*, 2014).

Na Figura 6, é apresentada a análise do potencial antifúngico na inibição de *Curvularia* em filmes poliméricos incorporados com óleo de polpa de açaí. A análise foi conduzida após 7 dias de incubação dos filmes com inóculos do fungo *Curvularia*. É importante ressaltar que o filme 13 foi considerado o controle devido à ausência do óleo de açaí em sua formulação. Os filmes 3, 9, 15 e 17 destacaram-se com os maiores percentuais de inibição ao crescimento de *Curvularia*, em comparação com o controle, conforme apresentado na Tabela 17.

Nos demais ensaios, a inibição não foi observada devido ao crescimento fúngico na superfície do filme durante o experimento. Em um estudo conduzido por Muñoz-Tébar *et al.*

(2022), que analisou o potencial antifúngico de filmes comestíveis de mucilagem de semente de chia com óleos essenciais de *Origanum vulgare* e *Satureja montana*, constatou-se uma inibição superior a 50% contra *Aspergillus flavus*, *Aspergillus puulauensis* e *Penicillium* comum na concentração de 1,5% de ambos os óleos analisados. Os pesquisadores concluíram também que o aumento na concentração de óleo resultou em maior inibição de diferentes fungos.

Em uma pesquisa similar, Hammoudi *et al.* (2019) exploraram as propriedades antifúngicas de filmes à base de alginato ativados com óleo essencial de limão em diferentes concentrações (0,5%, 1% e 1,5%). Os resultados dos estudos *in vitro* foram realizados contra *C.albicans* e *A. brasiliensis*. O filme demonstrou efeito antifúngico sobre ambos os fungos; entretanto, o efeito foi mais pronunciado contra *Aspergillus brasiliensis* em comparação com *C.albicans*. A susceptibilidade dos fungos revelou que o filme gerou uma zona de inibição com 30 mm de diâmetro contra *Aspergillus brasiliensis*, indicando uma notável atividade antifúngica.

Figura 6. Análise do potencial antifúngico na inibição de *Curvularia* de filmes poliméricos incorporados com óleo de polpa de açaí



Fonte: Autor, 2024.

Tabela 17: Análise do potencial antifúngico na inibição de *Curvularia* de filmes poliméricos incorporados com óleo de polpa de açaí.

Ensaio	Média (mm)	Inibição (%)
1	nd	nd
2	nd	nd
3	23,376±7,24	76,86
4	nd	nd
5	nd	nd
6	nd	nd
7	nd	nd
8	nd	nd
9	32,796±1,53	67,53
10	nd	nd
11	nd	nd
12	nd	nd
14	nd	nd
15	19,100±3,88	81,09
16	nd	nd
17	21,007±5,88	79,20

nd – Não detectada. Média ± desvio médio das repetições.

Fonte: Autor, 2024.

Neste estudo preliminar, foram observados resultados divergentes em diferentes ensaios conduzidos com as culturas fúngicas durante a análise da atividade. Existem várias razões pelas quais uma análise antifúngica em cultura de fungo *Curvularia* pode apresentar resultados divergentes. Uma possibilidade é a variabilidade na sensibilidade do fungo *Curvularia* aos filmes testados. Para Xie *et al.* (2020) as cepas de *Curvularia* podem exibir diferentes níveis de resistência aos compostos antifúngicos devido a variações genéticas ou adaptações ambientais.

5.5 Seleção das melhores condições obtidas através do DCCR

A seleção das melhores condições para os biopolímeros de alginato adicionados de glicerol e óleo de polpa de açaí foi efetuada, de modo a obter menores valores de teor de umidade, solubilidade em água, espessura e permeabilidade ao vapor de água. Assim, foram recomendadas como as condições selecionadas, de acordo com o que apresentaram no aspecto

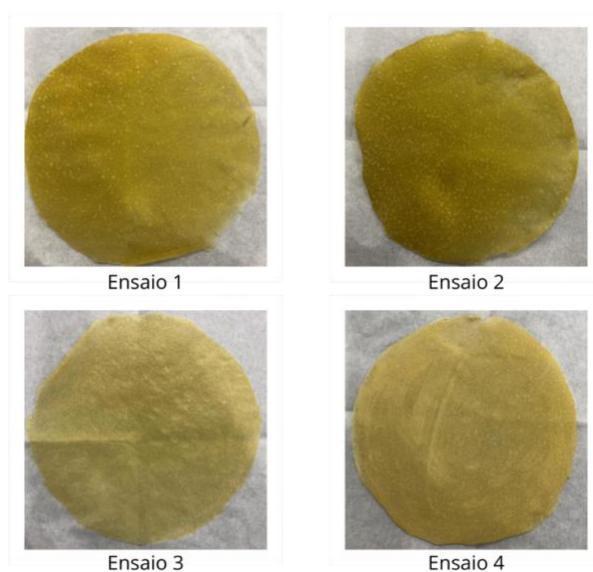
visual com boa maleabilidade, flexibilidade, de fácil desprendimento do suporte; além de apresentarem baixos valores de solubilidade e PVA e intermediários de umidade (de acordo com a otimização obtida pelas superfícies de respostas). Assim seguiu-se com as caracterizações físico-químicas, Microscopia Óptica, Espectroscopia de infravermelho, Difração de Raio X, Propriedades mecânicas, atividades antifúngica para verificar a interação das matrizes nos filmes selecionados, conforme abaixo descrito:

- 1) 9,0 g de alginato + 1,0 mL de glicerol + 4,0 mL de óleo de polpa de açaí
- 2) 10,0 g de alginato + 0,0 mL de glicerol + 6,0 mL de óleo de polpa de açaí
- 3) 6,5 g de alginato + 5,5 mL de glicerol + 2,0 mL de óleo de polpa de açaí
- 4) 8,0 g de alginato + 1,0 mL de glicerol + 1,5 mL de óleo de polpa de açaí

5.6 Aspectos visuais, táteis e ópticos das formulações otimizadas

Na Figura 7, são apresentadas as imagens dos filmes após a remoção das placas de Petri para análises subsequentes. As discrepâncias visuais observadas estão associadas à proporção de material utilizado, com destaque para a presença do óleo da polpa de açaí, evidenciada pela coloração mais amarronzada do Ensaio 2 em comparação com os demais. Na literatura, relatos indicam que a incorporação de óleos vegetais nos filmes resulta em melhorias significativas nas características gerais de cor, como luminosidade, vermelhidão e amarelecimento, em comparação com os filmes de controle (Venkatachalam *et al.*, 2023).

Figura 7. Filmes poliméricos das formulações otimizadas incorporados com óleo de polpa de açaí



Fonte: Autor, 2024.

Uma análise comparativa dos ensaios das formulações otimizadas de filmes incorporados com óleo de polpa de açaí (Tabela 18) revelou distinções significativas em relação a quatro critérios fundamentais: Continuidade, Homogeneidade, Transparência e Flexibilidade. Enquanto o Ensaio 3 se destacou em todos os aspectos, exibindo pontuações excepcionalmente altas em Homogeneidade e Transparência, os demais ensaios demonstraram variações em suas performances. O Ensaio 1 demonstrou particular aptidão em Transparência e Flexibilidade, mas mostrou-se menos consistente em termos de Continuidade e Homogeneidade. Por outro lado, o Ensaio 2 exibiu uma pontuação notavelmente alta em Continuidade, embora tenha sido relativamente inferior em Transparência e Flexibilidade. Enquanto isso, o Ensaio 4 apresentou uma sólida homogeneidade, embora tenha ficado aquém em Continuidade e Transparência.

Segundo Liu *et al.* (2017) os filmes devem ser resistentes à ruptura e abrasão, fazendo com que os alimentos não percam sua integridade e proteção por manuseio, transporte e armazenamento. Além disso, deve possuir flexibilidade suficiente para se adaptar a eventuais deformações no alimento sem dano mecânico.

Tabela 18: Avaliação subjetiva das formulações de biopolímeros incorporados com óleo de polpa de açaí.

Ensaio	Filmes incorporados com óleo de polpa de açaí			
	Continuidade	Homogeneidade	Transparência	Flexibilidade
1	++	+	+++	+++
2	+++	++	++	+
3	++++	++++	++++	++++
4	+	+++	+	++

Legenda: ++++ excelente, +++ bom, ++ regular, + ruim.

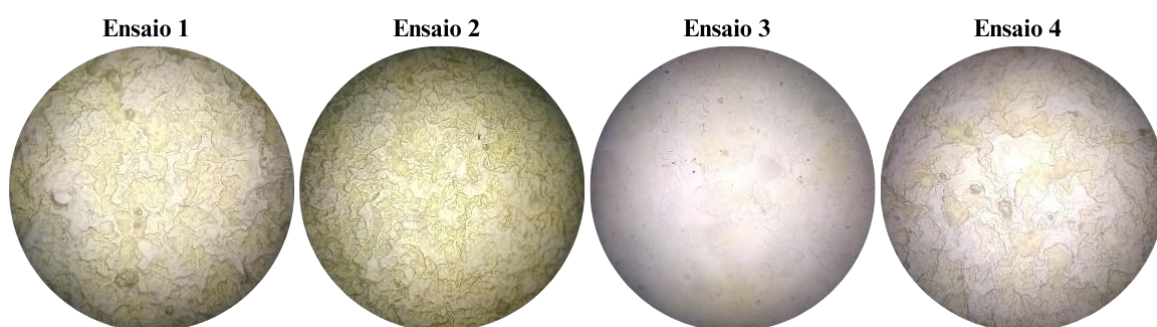
Fonte: Autor, 2024.

As micrografias ópticas dos filmes poliméricos enriquecidos com óleo da polpa de açaí é mostrada na Figura 8. A presença heterogênea do óleo, evidenciada por áreas de impregnação variáveis, sugere uma incorporação não uniforme, que pode ser atribuída a desafios na emulsificação do óleo no polímero. Esta heterogeneidade é particularmente visível nos ensaios 1, 2 e 4, indicando uma possível reticulação insuficiente, que é o processo químico responsável por interligar as cadeias poliméricas para formar uma estrutura mais estável e coesa.

Por outro lado, o ensaio 3 se destaca pela sua superfície mais homogênea, o que pode ser resultado do aumento do teor de glicerol, atuando como plastificante e conferindo maior flexibilidade e uniformidade à matriz polimérica. A formação parcial de cristais de cálcio, um indicativo do processo de reticulação do alginato na presença de íons de cálcio, é observada em

todos os ensaios. Esses cristais podem influenciar as propriedades mecânicas e de barreira dos filmes, além de terem um papel na modulação da liberação controlada do óleo de açaí. A saturação localizada do óleo, presente em todos os filmes, pode ser vantajosa para aplicações que demandam a liberação gradual de substâncias ativas, como na área de liberação controlada de fármacos ou na conservação de alimentos, onde a entrega controlada e sustentada é essencial (Contente *et al.*, 2020).

Figura 8. Microscopia óptica de Filmes poliméricos das formulações otimizadas incorporados com óleo de polpa de açaí



Fonte: Autor, 2024.

5.7 Caracterização físico-química das formulações otimizadas

A Tabela 19 apresenta os aspectos físico-químicos das formulações otimizadas de biopolímeros incorporados com óleo de polpa de açaí. Os ensaios revelaram teores de umidade variando entre $6,63 \pm 0,39\%$ (Ensaio 1) e $42,46 \pm 0,17\%$ (Ensaio 3). Notavelmente, o Ensaio 3, com o teor de umidade mais elevado, demonstrou uma variação menor, indicando uma maior uniformidade nos resultados. Esse ensaio tem o maior teor de glicerol na composição. O glicerol é reconhecido por sua hidrofiliabilidade devido afinidade pelas moléculas de água, atribuída à presença dos grupos hidroxila (-OH) em sua estrutura molecular. Esses grupos funcionais, por sua natureza polar, têm a capacidade de estabelecer interações com as moléculas de água através de ligações de hidrogênio, como destacado por Hejna *et al.* (2016). Por outro lado, o óleo da polpa de açaí é um composto hidrofóbico, o que justifica os menores teores de umidade observados nos Ensaios 1 (óleo = 4mL) e 2 (óleo = 2mL).

Resultados semelhantes foram obtidos por Muñoz-Tébar *et al.* (2022) e Hashemi e Khaneghah (2017) avaliando filmes produzidos a partir de mucilagem extraída de sementes de chia desengorduradas, os quais foram enriquecidos com óleos essenciais de orégano (*Origanum vulgare*) e *Satureja montana* e filmes comestíveis feitos com goma de sementes de manjerição

contendo óleo essencial de orégano, observando um aumento proporcional no teor de umidade à medida que a concentração de óleos aumentava.

A capacidade de um filme polimérico se dissolver em determinados solventes ou em diferentes condições ambientais pode afetar diretamente sua funcionalidade e desempenho. Os filmes poliméricos são projetados com propriedades específicas de solubilidade para atender aos requisitos de sua aplicação (Louzada *et al.*, 2021). A solubilidade dos filmes poliméricos é influenciada por fatores como a composição química do polímero, a estrutura molecular, o método de fabricação e as condições ambientais, como temperatura e umidade. Polímeros diferentes exibem diferentes graus de solubilidade em diferentes solventes devido às suas características intrínsecas (Lian *et al.*, 2020).

Cada ensaio apresentou uma taxa de solubilidade específica, conforme evidenciado na Tabela 19, com valores variando entre $24,07 \pm 1,00\%$ (Ensaio 1) e $43,62 \pm 0,17\%$ (Ensaio 3), indicando uma discrepância entre as amostras. Essa disparidade pode ser atribuída tanto ao teor de glicerol na formulação, uma vez que o Ensaio 3 possui a maior quantidade desse composto e exibe maior solubilidade, quanto ao teor de óleo de polpa de açaí, considerando que o Ensaio 1 contém a menor quantidade de óleo e é hidrofóbico. A progressiva elevação na concentração de óleo em filmes poliméricos pode resultar em uma redução significativa na solubilidade, conforme documentado por Sharma *et al.* (2021), Istiqomah *et al.* (2022) e Atlar *et al.* (2024).

Mais uma vez, a relação entre o teor de óleo de polpa de açaí e a espessura dos filmes nas formulações foi confirmada. Os filmes otimizados 1 e 2, com uma proporção maior de óleo na composição, apresentaram uma espessura de $0,22 \pm 0,002$ e $0,32 \pm 0,001$ mm, respectivamente. Esses resultados estão em concordância com descobertas prévias (Socaciu *et al.*, 2020; Istiqomah *et al.*, 2022). A espessura dos filmes poliméricos está intimamente relacionada com a Permeabilidade ao Vapor de Água, sendo ambas influenciadas pelos componentes utilizados na formulação, especialmente pela relação de hidrofobicidade e hidrofiliabilidade.

De acordo com Giuseppe *et al.* (2022), a presença de óleo provoca modificações na estrutura organizacional do filme, ocasionando um aumento na hidrofiliabilidade superficial do mesmo. A análise dos dados de Permeabilidade ao Vapor de Água (Tabela 19) revela uma variação significativa nas taxas de PVA entre as diversas amostras. Os valores de PVA oscilaram entre $6,0 \pm 0,35$ g.mm/m².dia.kPa e $11,29 \pm 0,62$ g.mm/m².dia.kPa. De maneira geral, uma menor taxa de PVA pode sugerir uma maior resistência à umidade, aspecto desejável em contextos como embalagens de alimentos, nos quais a proteção contra a umidade é crucial para a preservação do produto.

Os diversos materiais empregados na composição do biofilme, incluindo a matriz, os plastificantes e os agentes reticulantes, têm o potencial de influenciar sua PVA. Por exemplo, polímeros mais hidrofóbicos geralmente apresentam uma PVA mais baixa, enquanto a presença de plastificantes pode aumentar a flexibilidade do filme, impactando indiretamente sua PVA, conforme discutido por Atarés e Chiralt (2016).

Tabela 19: Aspectos físico-químicos das formulações otimizadas de biopolímeros incorporados com óleo de polpa de açaí.

	Variáveis independentes				Variáveis dependentes		
	AS (g)	G (mL)	OA (mL)	ω (%, w.w.b)	S (%, w.w.b)	σ (mm)	PVA (g.mm/m ² .dia.kPa)
1	9	1	4	6,625±0,387 ^a	24,071±1,002 ^a	0,224±0,002 ^c	7,323±0,187 ^b
2	10	0	6	8,532±0,305 ^b	27,188±0,480 ^b	0,323±0,001 ^d	11,294±0,616 ^d
3	6,5	5,5	2,0	42,460±0,168 ^d	43,617±0,744 ^d	0,185±0,002 ^b	9,690±0,457 ^c
4	8,0	1,0	1,5	10,500±0,122 ^c	32,719±1,328 ^c	0,176±0,003 ^a	6,013±0,346 ^a

AS - Alginato de sódio; G - Glicerol; OA - Óleo de polpa de açaí; ω - teor de umidade; S - solubilidade em água; σ - espessura; PVA - permeabilidade ao vapor de água. * As variáveis independentes correspondem aos valores reais. Médias com letras minúsculas em cada coluna indicam que não há diferença significativa a ($p \leq 0.05$) de acordo com o teste de Tukey.

Fonte: Autor, 2024.

5.8 Propriedades mecânicas das formulações otimizadas

Na Tabela 20 está apresentada a análise das propriedades mecânicas das formulações otimizadas de biopolímeros incorporados com óleo de polpa de açaí. Nesta tabela estão descritos os valores de tensão e elongação de ruptura e módulo de Young. Em relação a Tensão de Ruptura destacamos o Ensaio 2 que apresentou valor de $2,57 \pm 0,64$ MPa e o “Ensaio 3” $0,23 \pm 0,04$ MPa, sendo o maior e o menor valor dos filmes otimizados, respectivamente.

Estudo de Brasil *et al.* (2022), desenvolvendo filmes com a incorporação de pólen de abelha Tubi (*Scaptotrigona sp*) biodegradáveis de alginato, pectina e amido encontraram valores semelhantes a esta análise. Na análise de tensão da ruptura houve variação de 1,35 a 2,83 MPa, a Elongação na ruptura variou de 4,05 a 9,60% e o Módulo de Young de 0,78 a 97,98.

A ruptura de filmes poliméricos é um fenômeno complexo influenciado por diversas variáveis, incluindo a natureza do polímero, sua estrutura molecular, processamento e condições ambientais. Materiais poliméricos com maior resistência molecular tendem a exibir maior resistência à ruptura, enquanto aqueles com estruturas menos organizadas podem apresentar menor resistência (Chen *et al.*, 2019).

Para Giuseppe *et al.* (2022) uma tensão na ruptura mais alta indica uma maior resistência do material à deformação e à ruptura, o que pode ser desejável em aplicações onde a resistência é crucial, como em embalagens que necessitam de alta resistência para evitar danos durante o manuseio e o transporte. Por outro lado, em certos casos, uma tensão na ruptura mais baixa pode ser suficiente, como em aplicações onde a flexibilidade é mais importante do que a resistência à tração, como em filmes para revestimentos de superfícies flexíveis.

A elongação na ruptura apresenta uma variabilidade significativa entre as diferentes amostras analisadas, com valores variando de $3,39 \pm 0,62\%$ (Ensaio 2) a $26,90 \pm 4,35\%$ (Ensaio 3). Essa diversidade indica diferenças substanciais na maleabilidade e na capacidade de deformação dos filmes poliméricos avaliados. Notavelmente, uma alta elongação na ruptura, como observada no Ensaio 3, sugere uma maior flexibilidade do material, o que pode ser vantajoso em contextos nos quais adaptabilidade e capacidade de estiramento são requisitos cruciais, como em embalagens flexíveis ou filmes para envolvimento de alimentos. Por outro lado, em situações onde a rigidez e a resistência são prioritárias, uma menor elongação na ruptura, como observado no Ensaio 2, pode ser mais adequada. O aumento na elongação pode ser obtido com uma maior concentração de plastificantes hidrofílicos como o glicerol (Maniglia *et al.*, 2017).

O módulo de Young é uma medida da rigidez do material, indicando sua capacidade de resistir à deformação sob tensão. Observa-se uma considerável variação nos módulos de Young entre as diferentes amostras, com valores variando de $0,780 \pm 0,20$ MPa a $79,06 \pm 18,92$ MPa. Um módulo de Young mais alto indica uma maior rigidez do material, sendo vantajoso em aplicações que exigem resistência estrutural, como em embalagens rígidas. Por outro lado, em situações em que a flexibilidade é mais importante, um módulo de Young mais baixo pode ser preferível.

Da Silva *et al.* (2019) estudaram as propriedades físicas, mecânicas, térmicas e estruturais de filmes feitos a partir de pectina cítrica, mesocarpo de coco babaçu e glicerol. Em seu estudo mostram que o efeito da concentração de glicerol como agente plastificante foi maior no filme que apresentou menor módulo de elasticidade (4,669 MPa).

Tabela 20: Análise das propriedades mecânicas das formulações otimizadas de biopolímeros incorporados com óleo de polpa de açaí.

	Variáveis independentes			Variáveis dependentes		
	SA (g)	G (mL)	AO (mL)	Tensão na ruptura (MPa)	Elongação na ruptura (%)	Módulo de Young (MPa)
1	9	1	4	1,406±0,128 ^c	15,784±1,727 ^b	9,969±1,385 ^c
2	10	0	6	2,940±0,386 ^a	3,523±0,533 ^d	97,980±3,792 ^a
3	6,5	5,5	2,0	0,252±0,029 ^d	29,571±3,353 ^a	0,780±0,205 ^d
4	8,0	1,0	1,5	1,562±0,122 ^b	10,044±1,504 ^c	20,088±2,763 ^b

AS - Alginato de sódio; G - Glicerol; OA - Óleo de polpa de açaí. Médias com letras minúsculas em cada coluna indicam que não há diferença significativa a ($p \leq 0.05$) de acordo com o teste de Tukey.

Fonte: Autor, 2024.

5.9 Espectroscopia na região do infravermelho das formulações otimizadas

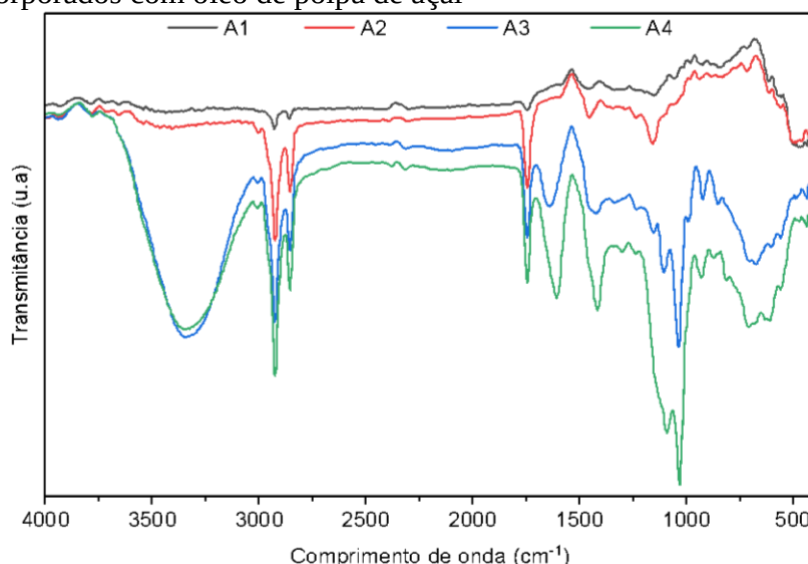
Por meio da espectroscopia infravermelha, é possível detectar características específicas de grupos funcionais presentes nos polímeros e no óleo de polpa de açaí, tais como ligações C-H, C=O e O-H. Além disso, a técnica pode ser empregada para monitorar alterações na estrutura molecular do filme polimérico induzidas pela incorporação do óleo de açaí, bem como para avaliar a estabilidade e a compatibilidade do sistema polimérico.

No estudo realizado por Custódio *et al.* (2022), foi observado que o glicerol exibe uma banda de absorção significativa em torno de 3275 cm^{-1} . Esta banda é característica do estiramento O-H, que é típico dos grupos hidroxila presentes nos álcoois. Também foram identificadas bandas em 2929 cm^{-1} e 2874 cm^{-1} , que podem ser atribuídas ao estiramento das ligações C-H. Foi também observada uma absorção em torno de 1653 cm^{-1} , que corresponde à deformação angular (também conhecida como dobramento) do grupo -OH. A banda de absorção em torno de 1408 cm^{-1} pode estar associada à deformação angular do grupo -CH₂. Por fim, foram detectadas absorções em torno de 1103 cm^{-1} e 1029 cm^{-1} . Estas correspondem ao estiramento C-O de álcoois secundários e primários, respectivamente.

Os espectros de infravermelho do alginato de sódio apresentam picos característicos em 1611 cm^{-1} e 1415 cm^{-1} . Estes picos são indicativos do estiramento simétrico e assimétrico, respectivamente, do grupo carboxilato livre. A presença de uma banda em 1031 cm^{-1} é atribuída ao estiramento da ligação C-O-C. Uma outra banda, localizada em 820 cm^{-1} , é associada ao estiramento da ligação C-O. Estas bandas são características dos ácidos manurônico e

gulurônico, que são os monômeros constituintes do alginato de sódio (Souza *et al.*, 2008; Pereira *et al.*, 2011).

Figura 9. Espectroscopia na região do infravermelho de filmes poliméricos das formulações otimizadas incorporados com óleo de polpa de açaí



Fonte: Autor, 2024.

O óleo de açaí é predominantemente composto por triglicerídeos de ácidos graxos essenciais de cadeia insaturada. No entanto, também contém antocianinas e fitoesteróis, conforme destacado por Nascimento *et al.* (2008) e Cedrim *et al.* (2018). As antocianinas, que são responsáveis pela coloração característica do açaí, são substâncias antioxidantes que auxiliam no combate ao colesterol e aos radicais livres. Destaca-se, que o fruto do açaí contém até 33 vezes mais antocianinas do que a uva (Nascimento *et al.*, 2008). Este fato é relevante, pois explica a presença dos picos de ligação O-H em 3473 cm^{-1} , identificados por Contente *et al.* (2020), que não seriam encontrados no triglicerídeo em si. De acordo com Magalhães *et al.* (2020), os picos em torno de 2935 cm^{-1} e 3012 cm^{-1} é característico das vibrações e estiramento do grupamento C-H. A banda de maior intensidade, localizada em 1750 cm^{-1} , corresponde aos grupos carbonila presentes em ácidos carboxílicos e ésteres.

A análise do gráfico das amostras dos biofilmes otimizados (Figura 9) revela que os filmes A1 (Ensaio 1) e A2 (Ensaio 2) não apresentam uma resposta significativa no pico de 3275 cm^{-1} , correspondente à ligação O-H. Este resultado era antecipado para o filme A2, que não contém glicerol em sua composição. No entanto, o filme A1 indicou um resultado não esperado. Este fenômeno pode ser atribuído à sua menor concentração de glicerol (1 mL) em comparação com as maiores concentrações de óleo, tornando-se indetectável na análise espectral. Todos os filmes exibem uma resposta ao pico de 1750 cm^{-1} , característico do óleo de

açaí. Os estiramentos do alginato de sódio são claramente visíveis nos filmes A3 (Ensaio 3) e A4 (Ensaio 4). Contudo, eles aparecem em bandas mais modestas nos filmes A1 e A2, com uma convolução considerável de sinais na região acima de 1500 cm^{-1} . Portanto, a análise por FTIR demonstrou uma estrutura coesa e esperada, com picos e ligações químicas características presentes em cada componente da matriz polimérica.

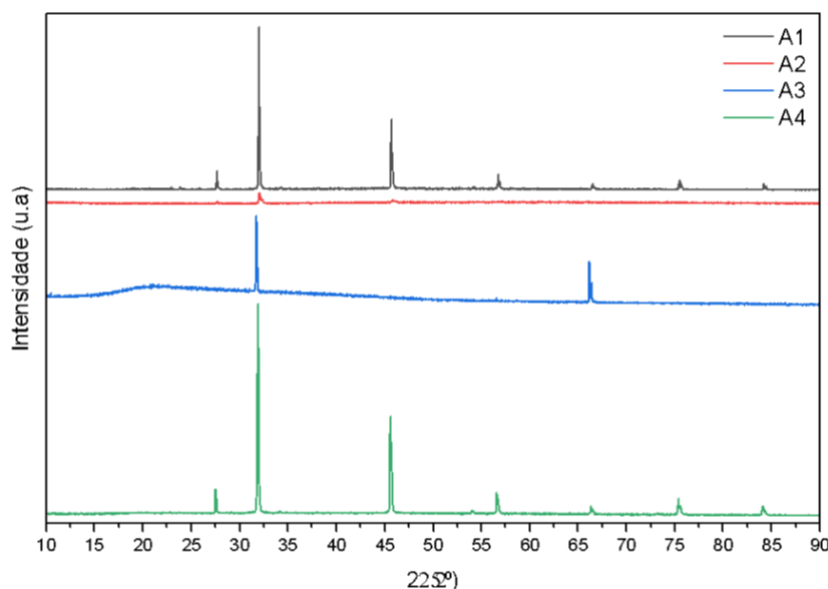
5.10 Análise de Difração de raios-X das formulações otimizadas

A análise de DRX permite avaliar como a incorporação do óleo afeta a organização molecular do polímero e a formação de estruturas cristalinas. Além disso, a técnica pode ser utilizada para investigar a influência de parâmetros de processamento, como temperatura e tempo de cura, na cristalinidade dos filmes. A interpretação dos padrões de DRX obtidos pode fornecer informações valiosas sobre a distribuição espacial e a orientação molecular das cadeias poliméricas, bem como sobre possíveis interações entre o polímero e o óleo de açaí.

Na Figura 10, é exibida a análise de difração de raios-X dos filmes poliméricos das formulações otimizadas, contendo óleo de polpa de açaí incorporado. Observou-se uma formação mínima de região amorfa, que se torna mais visível no início do DRX dos biofilmes. Todas as formulações reveladas pelo difratograma apresentaram picos nitidamente acentuados em torno de $32,19^\circ$ (2θ), e outro menos pronunciado em $45,38^\circ$ (2θ) para as formulações A1 (Ensaio 1) e A4 (Ensaio 4). Esses picos são próximos aos picos característicos do alginato puro. Além disso, esses padrões de difração se assemelham à ficha cristalográfica da halita, indicando a presença de impurezas, presumivelmente oriundas do alginato, o sal marinho. A pureza do material utilizado, estimada em 90%, e sua origem a partir de algas marinhas marrons, podem influenciar significativamente essas características no difratograma (Qi *et al.*, 2015; Marangoni Júnior *et al.*, 2021).

O pico cristalino de 45° surgiu para as formulações A1 e A4, enquanto o de 66° (2θ) apareceu para a A3 (Ensaio 3). A formulação A2 (Ensaio 2) permaneceu praticamente amorfa em grande parte de sua composição, o que pode ser justificado pela incorporação parcial do óleo na formulação (SILVA, 2021). Embora as composições tenham apresentado padrões de picos semelhantes, alguns deles exibiram uma redução na intensidade. Essa diminuição pode ser atribuída às interações entre o óleo de polpa de açaí e os outros constituintes da composição, bem como à sua distribuição na matriz polimérica. Tais interações podem ter provocado alterações na estrutura cristalina do material, influenciando esse comportamento.

Figura 10. Difração de raios-X de filmes poliméricos das formulações otimizadas incorporados com óleo de polpa de açaí



Fonte: Autor, 2024.

5.11 Análise Antifúngica das formulações otimizadas

Nos últimos anos, tem havido uma crescente preocupação com o aumento das infecções fúngicas. O crescimento de fungos pode causar perdas na qualidade e na quantidade de alimentos, além de representar riscos à saúde. No entanto, os estudos sobre as propriedades antifúngicas dos óleos de plantas têm sido limitados em comparação com as pesquisas sobre suas atividades antibacterianas (Powers *et al.*, 2019; Mutlu-Ingok *et al.*, 2020).

A produção de polímeros capazes de impedir o crescimento de patógenos de diferentes espécies, como bactérias e fungos é uma enorme área de pesquisa. Isso se deve à grande variedade de técnicas usadas para prevenir o crescimento de patógenos, bem como à grande variedade de microrganismos patogênicos direcionados (Narayana e Pichika, 2019). Assim, a inclusão de atividade antifúngica em filmes poliméricos surge como uma alternativa promissora para reduzir os efeitos nocivos da contaminação fúngica.

Há necessidade de novos agentes antifúngicos, principalmente devido ao aumento da incidência de infecções fúngicas invasivas, alta frequência de morbidade e mortalidade associadas e limitações dos agentes antifúngicos atuais (por exemplo, toxicidade, interações medicamentosas e resistência (Vahedi-Shahandashti e Lass-Flörl, 2020). Além disso, o aumento do uso de antifúngicos “clássicos” levou ao desenvolvimento de cepas resistentes (Wiederhold, 2017).

Em um estudo conduzido por Munoz-Tébar *et al.* (2022), que investigou o potencial antifúngico de filmes poliméricos incorporados com óleo de *Satureja montana* e *Origanum vulgare*, foi observada a inibição de cinco cepas de fungos (*A. flavus*, *A. puulaauensis*, *P. commune*, *P. crustosum* e *P. verrucosum*) à medida que a concentração dos óleos aumentava. Filmes contendo 1,5% de óleo (independentemente do tipo) foram os mais eficazes contra todas as cepas de fungos testadas.

A Tabela 20 exibe a atividade antifúngica das formulações otimizadas de biopolímeros incorporadas com óleo de polpa de açaí. Na avaliação do potencial antifúngico das distintas formulações contra *Aspergillus niger*, apenas o Ensaio 2 demonstrou atividade, alcançando 90,41%. Essa formulação apresenta a maior concentração de óleo de açaí (OA = 6 mL) o que pode justificar a ação. Estudos anteriores relatam que um ou dois dos principais componentes encontrados em um óleo serão responsáveis pela bioatividade observada contra um microrganismo (Powers *et al.*, 2019).

Tabela 20: Atividade antifúngica das formulações otimizadas de biopolímeros incorporados com óleo de polpa de açaí.

	<i>Aspergillus niger</i>		<i>Aspergillus flavus</i>		<i>Penicillium</i>		<i>Curvularia</i>	
	(mm)	%	(mm)	%	(mm)	%	(mm)	%
1	nd	0,0	29±40,46	71,39	29±41,55	70,62	nd	0,0
2	10±4,12	90,41%	6±9,09	93,57	50±70,71	50,00	nd	0,0
3	nd	0,0	6±8,30	94,13	50±70,71	50,00	12±4,38	88,02
4	nd	0,0	7±9,85	93,04	nd	0,0	nd	0,0

Legenda: nd – Não Detectado

Fonte: Autor, 2024.

Noshirvani *et al.* (2017) examinaram o impacto dos óleos de canela e gengibre na atividade antifúngica contra *Aspergillus niger* em filmes de quitosana-carboximetil celulose emulsionados com ácido oleico. Os filmes que continham óleo de canela demonstraram uma atividade antifúngica *in vitro* superior contra *Aspergillus niger* em comparação com aqueles contendo gengibre, apresentando taxas de inibição de 24,90% e 43,50%, respectivamente.

Na análise do potencial antifúngico de *Aspergillus flavus* todos as formulações apresentaram atividade antifúngica, independente da composição da formulação. Os Ensaios 2, 3 e 4 apresentaram inibição superior a 90,00%, mostrando uma eficácia muito alta na prevenção do crescimento de *Aspergillus flavus*. O gênero *Aspergillus* abrange uma variedade significativa de espécies fúngicas, tem capacidade de colonizar uma ampla gama de substratos, desde

materiais orgânicos em decomposição até produtos manufaturados. As espécies mais prevalentes de *Aspergillus* são *A. fumigatus*, *A. flavus*, *A. terreus* e *A. niger* (A Mayr e Lass-Flörl, 2011).

A capacidade desses fungos de produzir esporos em grande quantidade, bem como de tolerar uma variedade de condições ambientais, contribui para sua persistência e propagação em ambientes hospitalares, domiciliares e industriais (Sugui *et al.*, 2014). A aspergilose invasiva, uma infecção causada por fungos do táxon *Aspergillus*, continua sendo uma ameaça significativa, particularmente em pacientes imunossuprimidos. *Aspergillus spp.* tem a capacidade de causar uma ampla gama de doenças clínicas, desde infecções leves e superficiais, até doenças invasivas e com risco de vida com mais de 80,00% de taxa de mortalidade (A Mayr e Lass-Flörl, 2011).

Embora os Ensaios 1, 2 e 3 tenham exibido alguma atividade na inibição do crescimento do fungo *Penicillium*, o Ensaio 4 não demonstrou eficácia antifúngica contra essa espécie específica de fungo. O Ensaio 1 registrou uma taxa de inibição de 70,62%, evidenciando uma eficácia moderada na supressão do crescimento do fungo *Penicillium*.

Souza *et al.* (2013) que formularam filmes à base de amido de mandioca incorporados com óleos essenciais de canela e cravo. Todos os filmes investigados, que continham diversas concentrações de óleo essencial, demonstraram uma atividade antimicrobiana eficaz contra *Penicillium commune*, um fungo frequentemente presente em produtos de panificação. Os resultados indicaram uma inibição completa de 100,00% com a adição do óleo essencial de canela.

Em relação à avaliação da inibição do crescimento do fungo *Curvularia*, somente o Ensaio 3 demonstrou atividade antifúngica, com uma taxa de inibição de 88,02%, indicando uma eficácia significativa na supressão do crescimento deste fungo. O gênero *Curvularia* pertence ao grupo monofilético *Pleosporaleano* e abriga uma ampla variedade de espécies, algumas das quais são conhecidas por serem patogênicas para plantas, animais e humanos. Por isso, a identificação precisa dessas espécies através de observação microscópica é desafiadora devido à similaridade morfológica entre elas, como observado por Iturrieta-González e colaboradores (2020). As espécies fitopatogênicas dentro deste gênero têm o potencial de causar danos significativos a gramíneas tanto selvagens quanto cultivadas, incluindo culturas importantes como arroz, milho, trigo e sorgo, resultando em perdas substanciais na produção agrícola (Tan, Crous e Shivas, 2018).

O elevado conteúdo de compostos fenólicos, como o carvacrol e o timol presentes no óleo da polpa de açaí, pode ser atribuído à sua atividade antifúngica. Brito *et al.* (2022)

demonstraram que o extrato de *Euterpe oleracea* Mart. exibiu atividade antifúngica contra os biofilmes de *Candida albicans*, *C. parapsilosis* e *C. tropicalis*, independentemente da concentração utilizada. Por outro lado, Borges *et al.* (2019) confirmaram o potencial do extrato de *Euterpe oleracea* na inibição de *Aspergillus fumigatus*.

A eficácia dos filmes antifúngicos pode ser influenciada por fatores como a concentração utilizada, o método de aplicação e as condições de cultivo, como temperatura e umidade (Morales-Rabanales *et al.*, 2022). Outros fatores a serem considerados incluem a presença de subpopulações resistentes dentro da cultura de fungos ou possíveis interações entre os compostos antifúngicos e outros componentes do meio de cultura.

Uma característica de significância considerável que exerce influência sobre o comportamento desses polímeros frente aos fungos é o equilíbrio entre suas propriedades hidrofóbicas e hidrofílicas. A manutenção desse equilíbrio é crucial, uma vez que superfícies excessivamente hidrofóbicas (tais como filmes poliméricos e dispositivos médicos) tendem a atrair proteínas, favorecendo a formação de biofilmes fúngicos, enquanto superfícies excessivamente hidrofílicas podem ser tóxicas tanto para células patogênicas quanto para células hospedeiras (Velazco-Medel *et al.*, 2020).

A natureza anfifílica pode ser ajustada mediante modificações na estrutura das cadeias poliméricas. Embora não seja uma regra universal para todos os polímeros, observou-se que cadeias com comprimento entre 6 e 8 carbonos demonstraram ser particularmente eficazes na inibição do crescimento de patógenos (bactérias e fungos), sem, contudo, apresentarem toxicidade para células de mamíferos (Muñoz-Bonilla e Fernández-García, 2012; Xue *et al.*, 2014; Ergene *et al.*, 2018).

Enquanto as bactérias são procarióticas, os fungos são eucarióticos, o que implica em diferenças na estrutura e composição celular. Embora as paredes celulares de ambos os grupos possam compartilhar semelhanças em termos de composição e carga, a densidade e distribuição dessas cargas podem divergir substancialmente entre eles (Arslan *et al.*, 2017; Hassan, 2015). Assim, nos últimos anos, houve um aumento no desenvolvimento e na avaliação de polímeros com propriedades antifúngicas específicas, com a vantagem adicional de que tais polímeros também podem exibir atividade antibacteriana.

6 CONCLUSÃO

A caracterização dos aspectos físico-químicos possibilitou compreender a estrutura, estabilidade e permeabilidade dos filmes, fundamentais para sua eficácia como embalagem de alimentos. Além disso, essa análise contribuiu para a otimização da formulação do filme, visando melhorar sua funcionalidade e desempenho em diferentes proporções de materiais. Houve ensaios com características superiores em diversas combinações de alginato de sódio, óleo de açaí e glicerol, especialmente nos ensaios otimizados.

A análise das propriedades mecânicas foi fundamental para compreender sua resistência e flexibilidade. Esses aspectos são cruciais para garantir a eficácia do filme como embalagem de alimentos, pois afetam diretamente sua capacidade de proteger e preservar os produtos durante o armazenamento e transporte. Essas informações são essenciais para o desenvolvimento de embalagens capazes de atender aos requisitos de segurança e qualidade exigidos pela indústria alimentícia.

Os resultados obtidos forneceram evidências importantes sobre a capacidade do filme em inibir o desenvolvimento de fungos indesejados, contribuindo assim para a segurança e qualidade dos produtos alimentícios. Esses filmes apresentam-se como uma solução promissora para prolongar a vida útil dos alimentos e reduzir o desperdício associado à deterioração causada por *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger*, *Penicillium* e *Curvularia*. No entanto, é essencial conduzir estudos adicionais para entender completamente os mecanismos envolvidos na ação antifúngica e garantir a eficácia do filme em diferentes condições de armazenamento e tipos de alimentos.

Os filmes poliméricos mais adequados para potenciais aplicações na indústria de alimentos são aqueles que possuem uma combinação ideal de propriedades físico-químicas e resistência mecânica para garantir a integridade da embalagem e propriedades antifúngicas para preservar suas características ao longo do tempo e em diferentes condições de armazenamento, além de serem preferencialmente biodegradáveis para minimizar o impacto ambiental. Ao considerar esses aspectos, destacamos o filme otimizado do Ensaio 3 com maior potencial para utilização na indústria alimentícia, contribuindo assim para a segurança, qualidade e sustentabilidade dos alimentos embalados.

REFERÊNCIAS

- A MAYR,; LASS-FLÖRL, C. Epidemiology and antifungal resistance in invasive aspergillosis according to primary disease - review of the literature. **European Journal Of Medical Research**, [S.L.], v. 16, n. 4, p. 153, 2011. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1186/2047-783x-16-4-153>.
- AHMAD, Awais; MUBARAK, N.M.; JANNAT, Fakiha Tul; ASHFAQ, Tayyaba; SANTULLI, Carlo; RIZWAN, Muhammad; NAJDA, Agnieszka; BIN-JUMAH, May; ABDEL-DAIM, Mohamed M.; HUSSAIN, Shahid. A Critical Review on the Synthesis of Natural Sodium Alginate Based Composite Materials: an innovative biological polymer for biomedical delivery applications. **Processes**, [S.L.], v. 9, n. 1, p. 137, 11 jan. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/pr9010137>.
- AKDAĞ, Ahmet; ÖZTÜRK, Ergin. Distillation methods of essential oils. **Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Dergisi**, v. 45, n. 1, p. 22-31, 2019. Disponível em: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/705385>. Acesso em: 30 jan. 2024.
- ALSHANNAQ, Ahmad; YU, Jae-Hyuk. Occurrence, Toxicity, and Analysis of Major Mycotoxins in Food. **International Journal Of Environmental Research And Public Health**, [S.L.], v. 14, n. 6, p. 632, 13 jun. 2017. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph14060632>.
- AMARAL, Rebeca. **Mulheres e Meninas na Ciência**. Jornal Beira do Rio – Divulgação Científica. 2023. Disponível em: <https://www.beiradorio.ufpa.br/exclusivo/680-mulheres-e-meninas-na-ciencia-3>. Acesso em: 29 jan. 2024.
- AOAC International. Official Methods of Analysis of AOAC International. 2007.
- AOAC. Official Methods of Analysis. 18th ed. Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, Maryland, 2006.
- ARAUJO NETO, Lucio Assis; SILVA, Luciano Paulino. Influence of biopolymer composition and crosslinking agent concentration on the micro- and nanomechanical properties of hydrogel-based filaments. **Journal Of The Mechanical Behavior Of Biomedical Materials**, [S.L.], v. 150, p. 106316, fev. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmbbm.2023.106316>.
- ARGÓLO, Eraldo de Jesus. **Avaliação da capacidade biodegradadora de fungos em filmes poliméricos**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, Pernambuco. 2002. Disponível em: https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/6889/1/arquivo8099_1.pdf. Acesso em: 26 jan. 2024.
- ARNOSO, Bernardo Junqueira de Moraes; MAGLIACCIO, Fabrizia Mansur; ARAËJO, Caroline Alves de; SOARES, Ricardo de Andrade; SANTOS, Izabelle Barcellos; BEM, Grazielle Freitas de; FERNANDES-SANTOS, Caroline; OGNIBENE, Dayane Teixeira; MOURA, Roberto Soares de; RESENDE, Angela Castro. Açai seed extract (ASE) rich in proanthocyanidins improves cardiovascular remodeling by increasing antioxidant response in obese high-fat diet-fed mice. **Chemico-Biological Interactions**, [S.L.], v. 351, p. 109721, jan. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cbi.2021.109721>.

ARSLAN, Murat; SARAYDIN, Dursun; ÖZTOP, A. Yasemin; ŞAHINER, Nurettin. Radiation-Induced Acrylamide/4-Vinyl Pyridine Biocidal Hydrogels: synthesis, characterization, and antimicrobial activities. **Polymer-Plastics Technology And Engineering**, [S.L.], v. 56, n. 12, p. 1295-1306, 3 jan. 2017. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/03602559.2016.1275683>.

ASTM International. ASTM D882. Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting, 2018.

ASTM. International. ASTM E96/E96M-16. Standard Test Methods fo Water Vapor Transmission of Materials. West Conshohocken, PA; 2016.

ATARÉS, Lorena; CHIRALT, Amparo. Essential oils as additives in biodegradable films and coatings for active food packaging. **Trends In Food Science & Technology**, [S.L.], v. 48, p. 51-62, fev. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2015.12.001>.

ATLAR, G. Cansu; KUTLU, Gozde; TORNUK, Fatih. Design and characterization of chitosan-based films incorporated with summer savory (*Satureja hortensis* L.) essential oil for active packaging. **International Journal Of Biological Macromolecules**, [S.L.], v. 254, p. 127732, jan. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.127732>.

BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. Como fazer experimentos pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria. Campinas: Editora UNICAMP, 2001. 401 p.

BATISTA, Jordânia Gabriel; CORRÊA, Luciane Pimentel. **Destinação do resíduo de açaí em um supermercado de Capanema-PA e a redução de emissões de metano**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal Rural da Amazônia. Campanema, Pará. 2021. Disponível em: <http://www.bdta.ufra.edu.br/jspui/bitstream/123456789/1978/1/TCC%20-%20Jord%C3%A2nia%20Batista%20e%20Luciane%20Corr%C3%AAa%20EAER%202021.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2024.

BENNETT, J. W.; KLICH, M.. Mycotoxins. **Clinical Microbiology Reviews**, [S.L.], v. 16, n. 3, p. 497-516, jul. 2003. American Society for Microbiology. <http://dx.doi.org/10.1128/cmr.16.3.497-516.2003>.

BENSASSI, Fatma; GOLLI-BENNOUR, Emna El; ABID-ESSEFI, Salwa; BOUAZIZ, Chayma; HAJLAOUI, Mohamed Rabeh; BACHA, Hassen. Pathway of deoxynivalenol-induced apoptosis in human colon carcinoma cells. **Toxicology**, [S.L.], v. 264, n. 1-2, p. 104-109, out. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tox.2009.07.020>.

BICHARA, C. M. G.; ROGEZ, H. Açaí (*Euterpe oleracea* martius). In: Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits. 2º ed. **Woodhead Publishing**, 2011.

BIERHALZ, A. C. K., DA SILVA, M. A., KIECKBUSCH, T. G. Natamycin release from alginate/pectin films for food packaging applications. *Journal of Food Engineering*, 110(1), 18-25, 2012.

BIERHALZ, A. C. K.; DA SILVA, M. A.; BRAGA, M. E. M.; SOUSA, H. J. C.; KIECKBUSCH, T. G. Effect of calcium and/or barium crosslinking on the physical and antimicrobial properties of natamycin-loaded alginate films. *LWT-Food Science and Technology*, v. 57, p. 494-501, 2014.

BONILLA, J.; ATARÉS, L.; VARGAS, M.; CHIRALT, A.. Effect of essential oils and homogenization conditions on properties of chitosan-based films. **Food Hydrocolloids**, [S.L.], v. 26, n. 1, p. 9-16, jan. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.03.015>.

BORGES, Katia Ra; RODRIGUES, Igor Vp; A PEREIRA, Liwerbeth; SILVA, Gabriel X; EM FILHO, Walbert; SILVA, Marcos Acn; ALVES, Rita Ns; BEZERRA, Carolina Rf; ROSA, Ivone G; BRITO, Luciane Mo. Euterpe oleracea Mart. inhibits virulence factors of *Aspergillus fumigatus*. **Future Microbiology**, [S.L.], v. 14, n. 8, p. 717-728, maio 2019. Future Medicine Ltd. <http://dx.doi.org/10.2217/fmb-2019-0028>.

BRAGA, Dayse Braga. **Tratamentos químicos das fibras do mesocarpo de açaí para a produção de filmes de nanocelulose e nanocompósitos de quitosana**. Tese de Doutorado. UFRA. Belém. 2019. Disponível em: <http://www.repositorio.ufra.edu.br:8080/jspui/handle/123456789/677>. Acesso em: 24 jan. 2024.

BRASIL, Gabrielle Vieira da Silva; RAPOSO, Ana Karoliny da Silva; RIBEIRO, Geyse Adriana Corrêa; SANTOS, Denilson Moreira; FIRMO, Wellyson da Cunha Araújo; LOPES, Ilmar Alves; LUZ, Djavanía Azevedo da; PAIXÃO, Louryval Coelho; SANTANA, Audirene Amorim; COSTA, Maria Célia Pires. Incorporação de pólen de abelha *Tubi* (*Scaptotrigona* sp) em filmes biodegradáveis de alginato, pectina e amido. **Research, Society And Development**, [S.L.], v. 11, n. 9, p. 1-15, 4 jul. 2022. Research, Society and Development. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i9.31603>.

BRASIL. LEI Nº 12.305. Diário Oficial da União, Brasília, DF. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em: 30 jan. 2024.

BRATOVIČIĆ, Amra *et al.* Application of polymer nanocomposite materials in food packaging. **Croatian journal of food science and technology**, v. 7, n. 2, p. 86-94, 2015. Disponível em: <https://hrcak.srce.hr/file/220980>. Acesso em: 27 jan. 2024.

BRITO, Larissa Lira; BORGES, Kátia Regina Assunção; SILVA, Gabriel Xavier; SILVA, Marcos Antonio Custódio Neto da; ALVES, Rita de Nazaré Silva; TELES, Amanda Mara; BARBOSA, Maria do Carmo Lacerda; MUNIZ FILHO, Walbert Edson; BEZERRA, Geusa Felipa de Barros; NASCIMEN, Maria do Desterro Soares Brandão. Effects of *Euterpe oleracea* Mart. extract on *Candida* spp. biofilms. **Brazilian Journal Of Microbiology**, [S.L.], v. 54, n. 1, p. 29-36, 7 fev. 2023. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s42770-023-00919-1>.

BURATTO, Rafaella T.; COCERO, Maria Jose; MARTÍN, Ángel. Characterization of industrial açaí pulp residues and valorization by microwave-assisted extraction. **Chemical Engineering and Processing-Process Intensification**, v. 160, p. 108269, 2021. Disponível em: <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/46040/Characterization-industrial-A%C3%A7a%C3%AD.pdf?sequence=4&isAllowed=y>. Acesso em: 24 jan. 2024.

CARDONA JARAMILLO, Juliana Erika Cristina *et al.* Impact of the mode of extraction on the lipidomic profile of oils obtained from selected Amazonian fruits. **Biomolecules**, v. 9, n. 8, p. 329, 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2218-273X/9/8/329/pdf>. Acesso em: 12 jan. 2024.

CAROCHO, Márcio; MORALES, Patricia; FERREIRA, Isabel C.F.R.. Natural food additives: quo vadis?. **Trends In Food Science & Technology**, [S.L.], v. 45, n. 2, p. 284-295, out. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2015.06.007>.

CEDRIM, Paula Cavalcante Amélio Silva; BARROS, Elenita Marinho Albuquerque; NASCIMENTO, Ticiano Gomes do. Propriedades antioxidantes do açaí (*Euterpe oleracea*) na síndrome metabólica. **Brazilian Journal Of Food Technology**, [S.L.], v. 21, n. 8, p. 1-20, 16 ago. 2018. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1981-6723.09217>.

CELLA, Rafael Ferraz *et al.* **Avaliação da viabilidade técnica de processos de reciclagem de espuma semirrígida de poliestireno por meio da dissolução**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/186283/PENQ0721-T.pdf?sequence=1>. Acesso em: 26 jan. 2016

CHEMAT, Farid *et al.* Review of green food processing techniques. Preservation, transformation, and extraction. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 41, p. 357-377, 2017. Disponível em: <https://hal.science/hal-01552142/document>. Acesso em: 29 jan. 2024.

CHEN, Hongbo *et al.* Application of protein-based films and coatings for food packaging: A review. *Polymers*, v. 11, n. 12, p. 2039, 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4360/11/12/2039>. Acesso em: 24 jan. 2024.

CONTENTE, Denise Maria Loureiro; PEREIRA, Rayanne Rocha; RODRIGUES, Antonio Manoel Cruz; SILVA, Edilene Oliveira da; RIBEIRO-COSTA, Roseane Maria; SILVA-JÔNIO, José Otavio Carrera. Nanoemulsions of Acai Oil: physicochemical characterization for the topical delivery of antifungal drugs. **Chemical Engineering & Technology**, [S.L.], v. 43, n. 7, p. 1424-1432, 23 abr. 2020. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/ceat.201900627>.

COSTA, Aline Noronha *et al.* **Estudo dos atributos do solo e qualidade da água do rio sob açaiuais nativos na Amazônia oriental**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural Da Amazônia, Belém, 2020. Disponível em: <http://repositorio.ufra.edu.br:8080/jspui/bitstream/123456789/1141/1/Estudo%20dos%20atributos%20do%20solo%20e%20qualidade%20da%20%C3%A1gua%20do%20rio%20sob%20a%C3%A7aiais%20nativos%20na%20Amaz%C3%B4nia%20oriental.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2024.

COUTO, Rosenildo Couto do *et al.* **Função afim aplicada na produção e comercialização da palmeira *Euterpe oleracea***. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de Abaetetuba, Curso de Matemática, Abaetetuba, 2022. Disponível em: https://www.bdm.ufpa.br:8443/jspui/bitstream/prefix/4447/6/TCC_FuncaoAfimAplicada.pdf. Acesso em: 12 jan. 2024.

COWEN, Todd; KARIM, Kal; PILETSKY, Sergey A.. Solubility and size of polymer nanoparticles. **Polymer Chemistry**, [S.L.], v. 9, n. 36, p. 4566-4573, 2018. Royal Society of Chemistry (RSC). <http://dx.doi.org/10.1039/c8py00829a>.

CUSTODIO, Andreza Cristiane; RIBEIRO, Rubson Patrik Sena; LIMA, Thais Brunelle Santana de; ARAUJO, Elmo Silvano de; ARAUJO, Patricia Lopes Barros de. Purificação

Simplificada do Rejeito de Glicerina Bruta da Produção de Biodiesel da Biorrefinaria Berso-UFPE: uma prática sustentável. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.L.], v. 15, n. 5, p. 2226-2237, 29 ago. 2022. Revista Brasileira de Geografia Física. <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v15.5.p2226-2237>.

DEGEN, Gisela H.. Mykotoxine in Lebensmitteln. **Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz**, [S.L.], v. 60, n. 7, p. 745-756, 16 maio 2017. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00103-017-2560-7>.

DEY, Prasanta Kumar *et al.* Environmental management and corporate social responsibility practices of small and medium-sized enterprises. **Journal of cleaner production**, v. 195, p. 687-702, 2018. Disponível em: <https://pureportal.coventry.ac.uk/files/20363988/Binder2.pdf>. Acesso em: 29 jan. 2024.

Embrapa Cocais e Secretaria de Estado da Agricultura Familiar. Produtores de açaí no Maranhão, 2020. <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/50385220/produtores-de-acai-no-maranhao-terao-mais-acesso-a-tecnologias-de-manejo-e-recuperacao-de-acaizais>

ERGENE, Cansu; YASUHARA, Kazuma; PALERMO, Edmund F.. Biomimetic antimicrobial polymers: recent advances in molecular design. **Polymer Chemistry**, [S.L.], v. 9, n. 18, p. 2407-2427, 2018. Royal Society of Chemistry (RSC). <http://dx.doi.org/10.1039/c8py00012c>.

FARIAS, Silvana Silveira de *et al.* Biopolímeros: uma alternativa para promoção do desenvolvimento sustentável. **Revista Geonorte**, v. 7, n. 26, p. 61-77, 2016. Disponível em: <https://periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/download/2759/2495/>. Acesso em: 20 jan. 2024.

FAVACHO, Hugo A. S.; OLIVEIRA, Bianca R.; SANTOS, Kelem C.; MEDEIROS, Benedito J. L.; SOUSA, Pergentino J. C.; PERAZZO, Fabio F.; CARVALHO, José Carlos T.. Anti-inflammatory and antinociceptive activities of Euterpe oleracea Mart., Arecaceae, oil. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, [S.L.], v. 21, n. 1, p. 105-114, fev. 2011. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-695x2011005000007>.

FEI, Yanpei *et al.* Extrusion foaming of lightweight polystyrene composite foams with controllable cellular structure for sound absorption application. **Polymers**, v. 11, n. 1, p. 106, 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4360/11/1/106/htm>. Acesso em: 20 jan. 2024.

FREITAS, Alair Ferreira de; SILVA, Suany Machado da. Mudanças nos Meios de Vida dos Ribeirinhos a Partir da Ressignificação Econômica do Açaí (Euterpe oleracea Mart.): um estudo em igarapé-miri/pa. **Amazônica - Revista de Antropologia**, [S.L.], v. 13, n. 1, p. 345, 31 ago. 2021. Universidade Federal do Para. <http://dx.doi.org/10.18542/amazonica.v13i1.9063>.

FREITAS, Rodrigo Sousa. **Efeito do teor e do tamanho de partícula do polietileno reticulado (XLPE) nas propriedades de engenharia de polietileno de alta densidade (HDPE)**. Dissertação de Mestrado. Centro Universitário FEI. São Bernardo do Campo, São Paulo. 2017. Disponível em: <https://repositorio.fei.edu.br/bitstream/FEI/674/1/fulltext.pdf>. Acesso em: 28 jan. 2024.

GÅRDEBJER, S.; ANDERSSON, M.; ENGSTRÖM, J.; RESTORP, P.; PERSSON, M.; LARSSON, A.. Using Hansen solubility parameters to predict the dispersion of nano-particles in polymeric films. **Polymer Chemistry**, [S.L.], v. 7, n. 9, p. 1756-1764, 2016. Royal Society of Chemistry (RSC). <http://dx.doi.org/10.1039/c5py01935d>.

GASPARINI, Kaio Allan Cruz; FONSECA, Mariana Duarte Silva; PASTRO, Milena Scaramussa; LACERDA, Leonardo Cassani; SANTOS, Alexandre Rosa dos. Agroclimatic zoning of acai crop (*Euterpe oleracea* Mart.) for the state of Espírito Santo. **Revista Ciência Agronômica**, [S.L.], v. 46, n. 4, p. 707-717, 2015. GN1 Genesis Network. <http://dx.doi.org/10.5935/1806-6690.20150057>.

GIUSEPPE, Fabio Angelo di; VOLPE, Stefania; CAVELLA, Silvana; MASI, Paolo; TORRIERI, Elena. Physical properties of active biopolymer films based on chitosan, sodium caseinate, and rosemary essential oil. **Food Packaging And Shelf Life**, [S.L.], v. 32, p. 100817, jun. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.100817>.

GONG, Chuanjie; HE, Yunxiang; TANG, Yao; HU, Rong; LV, Yuanping; ZHANG, Qisheng; TARDY, Blaise L.; RICHARDSON, Joseph J.; HE, Qiang; GUO, Junling. Biofilms in plant-based fermented foods: formation mechanisms, benefits and drawbacks on quality and safety, and functionalization strategies. **Trends In Food Science & Technology**, [S.L.], v. 116, p. 940-953, out. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2021.08.026>.

GONSALVES, Arlan de Assis; ARAÚJO, Cleônia Roberta Melo; SOARES, Nivaldo Alves; GOULART, Marília Oliveira Fonseca; ABREU, Fabiane Caxico de. Diferentes estratégias para a reticulação de quitosana. **Química Nova**, [S.L.], v. 34, n. 7, p. 1215-1223, 2011. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422011000700021>.

GRENIER, B.; OSWALD, I.. Mycotoxin co-contamination of food and feed: meta-analysis of publications describing toxicological interactions. **World Mycotoxin Journal**, [S.L.], v. 4, n. 3, p. 285-313, 1 ago. 2011. Wageningen Academic Publishers. <http://dx.doi.org/10.3920/wmj2011.1281>.

GUERRA, Joyce Ferreira da Costa. **Efeito protetor do açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) sobre a esteatose hepática, resistência à insulina e estresse oxidativo induzidos por dieta hiperlipídica em camundongos**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, Minas Gerais. 2015. Disponível em: https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/7183/1/TESE_EfeitoProtetorA%C3%A7a%C3%AD.pdf. Acesso em: 27 jan. 2024.

GUPTA, Monoj. Practical guide to vegetable oil processing. 2ªed. **Elsevier**, 2017.

GUPTA, Vijai Kumar. Valorization of Biomass to Bioproducts: Biochemicals and Biomaterials. 1ª ed. **Elsevier**, 2023.

HAMMAM, Ahmed R. A.. Technological, applications, and characteristics of edible films and coatings: a review. **Sn Applied Sciences**, [S.L.], v. 1, n. 6, p. 1-24, 24 maio 2019. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s42452-019-0660-8>.

HAMMOUDI, Naima; CHERIF, Hocine Ziani; BORSALI, Fethi; BENMANSOUR, Kamal; MEGHEZZI, Asma. Preparation of active antimicrobial and antifungal alginate-montmorillonite/lemon essential oil nanocomposite films. **Materials Technology**, [S.L.], v.

35, n. 7, p. 383-394, 11 dez. 2019. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/10667857.2019.1685292>.

HASHEMI, Seyed Mohammad Bagher; KHANEGHAH, Amin Mousavi. Characterization of novel basil-seed gum active edible films and coatings containing oregano essential oil.

Progress In Organic Coatings, [S.L.], v. 110, p. 35-41, set. 2017. Elsevier BV.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.porgcoat.2017.04.041>.

HASSAN, Mohammad Mahbubul. Binding of a quaternary ammonium polymer-grafted-chitosan onto a chemically modified wool fabric surface: assessment of mechanical, antibacterial and antifungal properties. **Rsc Advances**, [S.L.], v. 5, n. 45, p. 35497-35505, 2015. Royal Society of Chemistry (RSC). <http://dx.doi.org/10.1039/c5ra03073k>.

HEJNA, Aleksander; KOSMELA, Paulina; FORMELA, Krzysztof; PISZCZYK, Łukasz; HAPONIUK, Józef T.. Potential applications of crude glycerol in polymer technology—Current state and perspectives. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [S.L.], v. 66, p. 449-475, dez. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.020>.

HERMANS, P. H.; WEIDINGER, A.. On the determination of the crystalline fraction of polyethylenes from X-ray diffraction. **Die Makromolekulare Chemie**, [S.L.], v. 44, n. 1, p. 24-36, mar. 1961. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/macp.1961.020440103>.

ISTIQOMAH, Annisa; UTAMI, Maryam Rahmi; FIRDAUS, Maulidan; SURYANTI, Venty; KUSUMANINGSIH, Triana. Antibacterial chitosan-Dioscorea alata starch film enriched with essential oils optimally prepared by following response surface methodology. **Food Bioscience**, [S.L.], v. 46, p. 101603, abr. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101603>.

ITURRIETA-GONZÁLEZ, Isabel; GENÉ, Josepa; WIEDERHOLD, Nathan; GARCÍA, Dania. Three new *Curvularia* species from clinical and environmental sources. **Mycokeys**, [S.L.], v. 68, p. 1-21, 17 jun. 2020. Pensoft Publishers. <http://dx.doi.org/10.3897/mycokeys.68.51667>.

JADACH, Barbara; ŚWIETLIK, Weronika; FROELICH, Anna. Sodium Alginate as a Pharmaceutical Excipient: novel applications of a well-known polymer. **Journal Of Pharmaceutical Sciences**, [S.L.], v. 111, n. 5, p. 1250-1261, maio 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.xphs.2021.12.024>.

JADERI, Zeinab; YAZDI, Fardieh Tabatabaee; MORTAZAVI, Seyed Ali; KOOCHEKI, Arash. Effects of glycerol and sorbitol on a novel biodegradable edible film based on Malva sylvestris flower gum. **Food Science & Nutrition**, [S.L.], v. 11, n. 2, p. 991-1000, 17 nov. 2022. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/fsn3.3134>.

JANJARASSKUL, Theeranun; TANANUWONG, Kanitha; PHUPOKSAKUL, Thunyaluck; THAIPHANIT, Somruedee. Fast dissolving, hermetically sealable, edible whey protein isolate-based films for instant food and/or dry ingredient pouches. **Lwt**, [S.L.], v. 134, p. 110102, dez. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110102>.

JANOWICZ, Monika *et al.* The Potential of Edible Films, Sheets, and Coatings Based on Fruits and Vegetables in the Context of Sustainable Food Packaging Development. **Polymers**, v. 15, n. 21, p. 4231, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4360/15/21/4231/pdf?version=1698307461>. Acesso em: 29 jan. 2024.

KEDZIERSKI, Mikaël *et al.* Why is there plastic packaging in the natural environment? Understanding the roots of our individual plastic waste management behaviours. **Science of the total environment**, v. 740, p. 139985, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720335051>. Acesso em: 28 jan. 2024.

KROCHTA, J. M.; MULDER-JOHNSTON, C. D. Edible and biodegradable polymer films: Challenges and opportunities. *Food Technology*, v. 51, p. 61-73, 1997.

LAGOS, Jeannine Bonilla; VARGAS, Flávia Carolina; OLIVEIRA, Tiara Gomes de; MAKISHI, Gisele Lourenço da Aparecida; SOBRAL, Paulo José do Amaral. Recent patents on the application of bioactive compounds in food: a short review. **Current Opinion In Food Science**, [S.L.], v. 5, p. 1-7, out. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cofs.2015.05.012>.

LEAL, T.; ABRUNHOSA, L.; DOMINGUES, L.; VENÂNCIO, A.; OLIVEIRA, C. BSA-based sample clean-up columns for ochratoxin A determination in wine: Method development and validation. *Food Chem.* **2019**, 300, 125204.

LIAN, Huan; SHI, Jingying; ZHANG, Xiaoyan; PENG, Yong. Effect of the added polysaccharide on the release of thyme essential oil and structure properties of chitosan based film. **Food Packaging And Shelf Life**, [S.L.], v. 23, p. 100467, mar. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100467>.

LIMA, Elaine Cristina de Souza. **Processamento de caroços de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) para a extração de inulina**. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2015. Disponível em: <https://tede.ufrrj.br/bitstream/jspui/3162/2/2015%20-%20Elaine%20Cristina%20de%20Souza%20Lima.pdf>. Acesso em: 28 jan. 2024.

LIMA, Meyrelle Figueiredo; ROCHA, Adones Almeida; HORA, Luiz Felipe da; VILLA-VÉLEZ, Harvey Alexander; SILVA, Dennys Correia da; SANTANA, Audirene Amorim. The influence of cupuaçu extract in the production of biofilms based on babassu coconut mesocarp. **Polymer Bulletin**, [S.L.], v. 80, n. 8, p. 8961-8975, 30 set. 2022. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00289-022-04487-6>.

LIRA, Gilso Blanco; LOPES, Anna Sylmara da Costa; NASCIMENTO, Fabiana Cristina de Araújo; CONCEIÇÃO, Gyselle dos Santos; BRASIL, Davi do Socorro Barros. Processos de extração e usos industriais de óleos de andiroba e açaí: uma revisão. **Research, Society And Development**, [S.L.], v. 10, n. 12, p. 227, 18 set. 2021. Research, Society and Development. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i12.20227>.

LIU, Sijun; LI, Yong; LI, Lin. Enhanced stability and mechanical strength of sodium alginate composite films. **Carbohydrate Polymers**, [S.L.], v. 160, p. 62-70, mar. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.12.048>.

LIU, Wen-Ying; WANG, Xue; REN, Jie; ZHENG, Cheng-Dong; WU, Han-Shuo; MENG, Fan-Tong; LING, Kong; QI, Xiu-Yu; ZHOU, Ming; WANG, Yue. Preparation, characterization, identification, and antioxidant properties of fermented açaí (*Euterpe oleracea*). **Food Science & Nutrition**, [S.L.], v. 11, n. 6, p. 2925-2941, 28 fev. 2023. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/fsn3.3274>.

LOPES, Ilmar Alves; PAIXÃO, Louryval Coelho; SILVA, Layrton José Souza da; ROCHA, Adones Almeida; BARROS FILHO, Allan Kardec D.; SANTANA, Audirene Amorim. Elaboration and characterization of biopolymer films with alginate and babassu coconut mesocarp. **Carbohydrate Polymers**, [S.L.], v. 234, p. 115747, abr. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115747>.

LOUZADA, Ludmilla Batista; LOPES, Amanda Tibães; MOLINA, Gustavo; PELISSARI, Franciele Maria. Effect of Casting Process Conditions on Mechanical Properties and Water Solubility of Films Made from Wolf Fruit and Its Optimization. **Journal Of Polymers And The Environment**, [S.L.], v. 29, n. 8, p. 2435-2446, 23 jan. 2021. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10924-021-02047-z>.

MADRID, A. M. Jimenez; ALLEN, T. W.; VARGAS, A.; CONNOR, A.; WILKERSON, T. H.. First Report of *Curvularia* Leaf Spot of Field Corn, Caused by *Curvularia* lunata, in Mississippi. **Plant Disease**, [S.L.], v. 106, n. 7, p. 1984, 1 jul. 2022. Scientific Societies. <http://dx.doi.org/10.1094/pdis-10-21-2189-pdn>.

MAGALHÃES, Thalita Sévia Soares de Almeida; MACEDO, Pollyana Cristina de Oliveira; PACHECO, Stephany Yumi Kawashima; SILVA, Sofia Santos da; BARBOSA, Euzébio Guimarães; PEREIRA, Rayanne Rocha; COSTA, Roseane Maria Ribeiro; SILVA JUNIOR, José Otávio Carréra; FERREIRA, Marília Andreza da Silva; ALMEIDA, José Cezário de. Development and Evaluation of Antimicrobial and Modulatory Activity of Inclusion Complex of *Euterpe oleracea* Mart Oil and β -Cyclodextrin or HP- β -Cyclodextrin. **International Journal Of Molecular Sciences**, [S.L.], v. 21, n. 3, p. 942, 31 jan. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ijms21030942>.

MAGALHÃES, Thalita Sévia Soares de Almeida; MACEDO, Pollyana Cristina de Oliveira; PACHECO, Stephany Yumi Kawashima; SILVA, Sofia Santos da; BARBOSA, Euzébio Guimarães; PEREIRA, Rayanne Rocha; COSTA, Roseane Maria Ribeiro; SILVA JUNIOR, José Otávio Carréra; FERREIRA, Marília Andreza da Silva; ALMEIDA, José Cezário de. Development and Evaluation of Antimicrobial and Modulatory Activity of Inclusion Complex of *Euterpe oleracea* Mart Oil and β -Cyclodextrin or HP- β -Cyclodextrin. **International Journal Of Molecular Sciences**, [S.L.], v. 21, n. 3, p. 942, 31 jan. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ijms21030942>.

MANIGLIA, Bianca C.; TESSARO, Larissa; LUCAS, Alessandra A.; TAPIA-BLÁCIDO, Delia R.. Bioactive films based on babassu mesocarp flour and starch. **Food Hydrocolloids**, [S.L.], v. 70, p. 383-391, set. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.04.022>.

MANJARE, Sampatrao D.; DHINGRA, Kabir. Supercritical fluids in separation and purification: a review. **Materials Science For Energy Technologies**, [S.L.], v. 2, n. 3, p. 463-484, dez. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mset.2019.04.005>.

MARANGONI JÚNIOR, Luís; RODRIGUES, Plínio Ribeiro; SILVA, Renan Garcia da; VIEIRA, Roniérík Pioli; ALVES, Rosa Maria Vercelino. Sustainable Packaging Films Composed of Sodium Alginate and Hydrolyzed Collagen: preparation and characterization. **Food And Bioprocess Technology**, [S.L.], v. 14, n. 12, p. 2336-2346, 4 nov. 2021. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11947-021-02727-7>.

MARIN, S.; RAMOS, A.J.; CANO-SANCHO, G.; SANCHIS, V.. Mycotoxins: occurrence, toxicology, and exposure assessment. **Food And Chemical Toxicology**, [S.L.], v. 60, p. 218-237, out. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fct.2013.07.047>.

MARQUES, E s; TSUBOY, M s F; CARVALHO, J C T; ROSA, P C P; PERAZZO, F F; GAIVÃO, I O M; MAISTRO, E L. Research Article First cytotoxic, genotoxic, and antigenotoxic assessment of Euterpe oleracea fruit oil (açai) in cultured human cells. **Genetics And Molecular Research**, [S.L.], v. 16, n. 3, p. 327, 2017. Genetics and Molecular Research. <http://dx.doi.org/10.4238/gmr16039700>.

MARROQUÍN-CARDONA, A.G.; JOHNSON, N.M.; PHILLIPS, T.D.; HAYES, A.W.. Mycotoxins in a changing global environment – A review. **Food And Chemical Toxicology**, [S.L.], v. 69, p. 220-230, jul. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fct.2014.04.025>.

MARTINS, Gabriel R.; AMARAL, Felipe Rafael L. do; BRUM, Felipe L.; MOHANA-BORGES, Ronaldo; MOURA, Sayonara S.T. de; FERREIRA, Fabienne A.; SANGENITO, Leandro S.; SANTOS, André L.s.; FIGUEIREDO, Natália G.; SILVA, Ayla Sant'ana da. Chemical characterization, antioxidant and antimicrobial activities of açai seed (Euterpe oleracea Mart.) extracts containing A- and B-type procyanidins. **Lwt**, [S.L.], v. 132, p. 109830, out. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109830>.

MARTINS, Gabriel Rocha; GUEDES, Douglas; PAULA, Urbano Luiz Marques de; OLIVEIRA, Maria do Socorro Padilha de; LUTTERBACH, Marcia Teresa Soares; REZNIK, Leila Yone; SÉRVULO, Eliana Flávia Camporese; ALVIANO, Celuta Sales; SILVA, Antonio Jorge Ribeiro da; ALVIANO, Daniela Sales. Açai (Euterpe oleracea Mart.) Seed Extracts from Different Varieties: a source of proanthocyanidins and eco-friendly corrosion inhibition activity. **Molecules**, [S.L.], v. 26, n. 11, p. 3433, 5 jun. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/molecules26113433>.

MATTA, Fernanda V.; XIONG, Jia; LILA, Mary Ann; WARD, Neil I.; FELIPE-SOTELO, Mónica; ESPOSITO, Debora. Chemical Composition and Bioactive Properties of Commercial and Non-Commercial Purple and White Açai Berries. **Foods**, [S.L.], v. 9, n. 10, p. 1481, 16 out. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/foods9101481>.

MENDES, Eliakim do Nascimento; SILVA, Allysson Kayron de Carvalho; MORAES, Amaury Vieira Cruz; FONSECA, João Victor Veras da; MENDES, Juliana Moura; NASCIMENTO, Maria do Desterro Soares Brandão. Amazon potential: technological prospect on the use of acai oil (euterpe oleracea) in the development of bioproducts in the last decade (2014-2023). **Observatório de La Economía Latinoamericana**, [S.L.], v. 22, n. 2, p. 1-22, 6 fev. 2024. South Florida Publishing LLC. <http://dx.doi.org/10.55905/oelv22n2-013>.

MERTENS-TALCOTT, Susanne U.; RIOS, Jolian; JILMA-STOHLAWETZ, Petra; PACHECO-PALENCIA, Lisbeth A.; MEIBOHM, Bernd; TALCOTT, Stephen T.; DERENDORF, Hartmut. Pharmacokinetics of Anthocyanins and Antioxidant Effects after the Consumption of Anthocyanin-Rich Açai Juice and Pulp (Euterpe oleracea Mart.) in Human Healthy Volunteers. **Journal Of Agricultural And Food Chemistry**, [S.L.], v. 56, n. 17, p. 7796-7802, 12 ago. 2008. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/jf8007037>.

MESHARAM, Bhushan Devidas; LULE, Vaibhav Kisanrao; VYAWAHARE, Shivani; RANI, Rekha. Application of Edible Packaging in Dairy and Food Industry. **Food Processing And**

Packaging Technologies - Recent Advances, [S.L.], p. 1-12, 5 abr. 2023. IntechOpen. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.107850>.

MNGADI, P.T., Govinden, R. & Odhav, B., 2008. Co-occurring mycotoxins in animal feeds. *Journal of Biotechnology*, 7, pp.2239–2243.

MOEINI, Arash; GERMANN, Natalie; MALINCONICO, Mario; SANTAGATA, Gabriella. Formulation of secondary compounds as additives of biopolymer-based food packaging: a review. **Trends In Food Science & Technology**, [S.L.], v. 114, p. 342-354, ago. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2021.05.040>.

MORAES, Roseane de Paula *Gomes et al.* **A cadeia de valor de bioprodutos do Amazonas: a contribuição do estudo de tecnologias de processo**. Tese (Doutorado em Biodiversidade e Biotecnologia da Rede Bionorte) - Universidade Federal do Amazonas. Manaus. 2018. Disponível em: <https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/6784>. Acesso em: 21 jan. 2024.

MORALES-RABANALES, Quetzali Nicté; COYOTL-PÉREZ, Wendy Abril; RUBIO-ROSAS, Efraín; CORTES-RAMÍREZ, Georgina Salud; RAMÍREZ, José Francisco Sánchez; VILLA-RUANO, Nemesio. Antifungal properties of hybrid films containing the essential oil of *Schinus molle*: protective effect against postharvest rot of tomato. **Food Control**, [S.L.], v. 134, p. 108766, abr. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108766>.

MOREIRA, Marcia Athayde; SOUSA, Ana Lidia Ferreira de. Treatment and analysis of açai berry production waste: a study by the optics of eco-efficiency. **Revista Ambiente Contábil - Universidade Federal do Rio Grande do Norte - Issn 2176-9036**, [S.L.], v. 12, n. 2, p. 327, 1 jul. 2020. Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN. <http://dx.doi.org/10.21680/2176-9036.2020v12n2id21519>.

MUÑOZ-BONILLA, Alexandra; FERNÁNDEZ-GARCÍA, Marta. Polymeric materials with antimicrobial activity. **Progress In Polymer Science**, [S.L.], v. 37, n. 2, p. 281-339, fev. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2011.08.005>.

MUÑOZ-TÉBAR, Nuria; CARMONA, Manuel; ELGUEA-CULEBRAS, Gonzalo Ortiz de; MOLINA, Ana; BERRUGA, María Isabel. Chia Seed Mucilage Edible Films with *Origanum vulgare* and *Satureja montana* Essential Oils: characterization and antifungal properties. **Membranes**, [S.L.], v. 12, n. 2, p. 213, 11 fev. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/membranes12020213>.

MUTLU-INGOK, Aysegul; DEVECIOGLU, Dilara; DIKMETAS, Dilara Nur; KARBANCIOGLU-GULER, Funda; CAPANOGLU, Esra. Antibacterial, Antifungal, Antimycotoxigenic, and Antioxidant Activities of Essential Oils: an updated review. **Molecules**, [S.L.], v. 25, n. 20, p. 4711, 14 out. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/molecules25204711>.

NASCIMENTO, Rhutynéia Joana Silva do; COURI, Sonia; ANTONIASSI, Rosemar; FREITAS, Suely Pereira. Composição em ácidos graxos do óleo da polpa de açaí extraído com enzimas e com hexano. **Revista Brasileira de Fruticultura**, [S.L.], v. 30, n. 2, p. 498-502, jun. 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-29452008000200040>.

NASCIMENTO, Rhutynéia Joana Silva do; COURI, Sonia; ANTONIASSI, Rosemar; FREITAS, Suely Pereira. Composição em ácidos graxos do óleo da polpa de açaí extraído com

enzimas e com hexano. **Revista Brasileira de Fruticultura**, [S.L.], v. 30, n. 2, p. 498-502, jun. 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-29452008000200040>.

NASROLLAHZADEH, Mahmoud; SHAFIEI, Nasrin; NEZAFAT, Zahra. Application of biopolymers in bioplastics. 2ªed. **Elsevier**: Iran, 2021.

NOGUEIRA, Gislaine Ferreira *et al.* Methods of incorporating plant-derived bioactive compounds into films made with agro-based polymers for application as food packaging: A brief review. **Polymers**, v. 12, n. 11, p. 2518, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4360/12/11/2518/pdf>. Acesso em: 29 jan. 2024.

NOSHIRVANI, Nooshin; GHANBARZADEH, Babak; GARDRAT, Christian; REZAEI, Mokarram Reza; HASHEMI, Mahdi; COZ, Cédric Le; COMA, Véronique. Cinnamon and ginger essential oils to improve antifungal, physical and mechanical properties of chitosan-carboxymethyl cellulose films. **Food Hydrocolloids**, [S.L.], v. 70, p. 36-45, set. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.03.015>.

OLEAN-OLIVEIRA, André; MACHINI, Wesley Bruno da Silva; TEIXEIRA, Marcos Fernando de Souza. DESENVOLVIMENTO DE FILMES POLIMÉRICOS NANOESTRUTURADOS DE poli[Ni(α,α' -Me₂Salen)]-OH COMO SENSOR BIOMIMÉTICO NA DETECÇÃO DE GLICEROL. **Colloquium Exactarum**, [S.L.], v. 6, n. 3, p. 84-96, 30 out. 2014. Associacao Prudentina de Educacao e Cultura (APEC). <http://dx.doi.org/10.5747/ce.2014.v06.n3.e090>.

OLIVEIRA, Aryane Ribeiro; RIBEIRO, Alline Emannuele Chaves; OLIVEIRA, Érica Resende; GARCIA, Marina Costa; SOARES JÚNIOR, Manoel Soares; CALIARI, Márcio. Structural and physicochemical properties of freeze-dried açaí pulp (*Euterpe oleracea* Mart.). **Food Science And Technology**, [S.L.], v. 40, n. 2, p. 282-289, jun. 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/fst.34818>.

OLIVEIRA, Maureline Teles da Silva de *et al.* Bioeconomic evaluation of an agroforestry system and the potential to recover degraded areas and capitalize producers in the state of Pará, Brazilian Amazon. **Desenvolv. Meio Ambiente**, v. 61, p. 439-455. 2023. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/made/article/download/80516/49591>. Acesso em: 29 jan. 2024

OLIVEIRA, Paola Raquel B. de; COSTA, Cristiane A. da; BEM, Grazielle F. de; CORDEIRO, Viviane S. C.; SANTOS, Izabelle B.; CARVALHO, Lenize C. R. M. de; CONCEIÇÃO, Ellen Paula S. da; LISBOA, Patrícia Cristina; OGNIBENE, Dayane T.; SOUSA, Pergentino José C.. *Euterpe oleracea* Mart.-Derived Polyphenols Protect Mice from Diet-Induced Obesity and Fatty Liver by Regulating Hepatic Lipogenesis and Cholesterol Excretion. **Plos One**, [S.L.], v. 10, n. 12, p. 721, 2 dez. 2015. Public Library of Science (PLoS). <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0143721>.

OSSA, Duvan Esteban Hoyos; HINCAPIÉ, Diego Alfonso; PEÑUELA, Gustavo Antonio. Determination of aflatoxin M1 in ice cream samples using immunoaffinity columns and ultra-high performance liquid chromatography coupled to tandem mass spectrometry. **Food Control**, [S.L.], v. 56, p. 34-40, out. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.03.011>.

P., S. V. V. S. Narayana; P., S. V. V. Srihari. A Review on Surface Modifications and Coatings on Implants to Prevent Biofilm. **Regenerative Engineering And Translational Medicine**,

[S.L.], v. 6, n. 3, p. 330-346, 16 jul. 2019. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s40883-019-00116-3>.

PAIXÃO, Louryval Coelho; LOPES, Ilmar Alves; BARROS FILHO, Allan Kardec Duailibe; SANTANA, Audirene Amorim. Alginate biofilms plasticized with hydrophilic and hydrophobic plasticizers for application in food packaging. **Journal Of Applied Polymer Science**, [S.L.], v. 136, n. 48, p. 1-11, 17 jul. 2019. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/app.48263>.

PATERSON, R.R.M.; LIMA, N.. Further mycotoxin effects from climate change. **Food Research International**, [S.L.], v. 44, n. 9, p. 2555-2566, nov. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2011.05.038>.

PEREIRA, Carlos Victor Lamarão *et al.* Extratos bioativos de frutos amazônicos por química verde: Extração por Líquido Pressurizado (PLE) e Fluido Supercrítico (SFE). Tese (Doutorado em Biotecnologia) - Universidade Federal do Amazonas. Manaus. 2015. Disponível em: <https://tede.ufam.edu.br/bitstream/tede/5080/2/Tese%20-%20Carlos%20Lamar%C3%A3o%20Pereira.pdf>. Acesso em: 21 jan. 2024.

PEREIRA, Rúben; TOJEIRA, Ana; VAZ, Daniela C.; MENDES, Ausenda; BÁRTOLO, Paulo. Preparation and Characterization of Films Based on Alginate and Aloe Vera. **International Journal Of Polymer Analysis And Characterization**, [S.L.], v. 16, n. 7, p. 449-464, out. 2011. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/1023666x.2011.599923>.

PEREIRA, V.L.; FERNANDES, J.O.; CUNHA, S.C.. Mycotoxins in cereals and related foodstuffs: a review on occurrence and recent methods of analysis. **Trends In Food Science & Technology**, [S.L.], v. 36, n. 2, p. 96-136, abr. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2014.01.005>.

PETIKIRIGE, Jasmine; KARIM, Azharul; MILLAR, Graeme. Effect of drying techniques on quality and sensory properties of tropical fruits. **International Journal Of Food Science & Technology**, [S.L.], v. 57, n. 11, p. 6963-6979, 8 set. 2022. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/ijfs.16043>.

PETRUK, Ganna; GIUDICE, Rita del; RIGANO, Maria Manuela; MONTI, Daria Maria. Antioxidants from Plants Protect against Skin Photoaging. **Oxidative Medicine And Cellular Longevity**, [S.L.], v. 2018, p. 1-11, 2 ago. 2018. Hindawi Limited. <http://dx.doi.org/10.1155/2018/1454936>.

PFOHL-LESZKOWICZ, Annie; MANDERVILLE, Richard A.. An Update on Direct Genotoxicity as a Molecular Mechanism of Ochratoxin A Carcinogenicity. **Chemical Research In Toxicology**, [S.L.], v. 25, n. 2, p. 252-262, 16 nov. 2011. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/tx200430f>.

PIERGIOVANNI, Luciano; LIMBO, Sara. Food packaging materials. 1ªed. **Switzerland: Springer**, 2016.

PINTO, Fernando. O crescente mercado do Açaí: um estudo da cadeia de suprimento da polpa do açaí em Imperatriz/MA. **Editores Dialética**, 2023.

PINTO, Milena Patrícia Martinez de Almeida. Análise da viabilidade tecnológica da obtenção de biopolímeros a partir do açaí para aplicação em embalagens. Universidade Federal do Rio

de Janeiro, Escola de Química, 2022. Disponível em:
<https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/18684/1/MPMAPinto.pdf>. Acesso em: 27 jan. 2024.

PITT, John I.; MILLER, J. David. A Concise History of Mycotoxin Research. **Journal Of Agricultural And Food Chemistry**, [S.L.], v. 65, n. 33, p. 7021-7033, 27 dez. 2016. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/acs.jafc.6b04494>.

POWERS, Chelsea N.; SATYAL, Prabodh; MAYO, John A.; MCFEETERS, Hana; MCFEETERS, Robert L.. Bigger Data Approach to Analysis of Essential Oils and Their Antifungal Activity against *Aspergillus niger*, *Candida albicans*, and *Cryptococcus neoformans*. **Molecules**, [S.L.], v. 24, n. 16, p. 2868, 7 ago. 2019. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/molecules24162868>.

QI, Yun; JIANG, Meng; CUI, Yuan-Lu; ZHAO, Lin; ZHOU, Xia. Synthesis of Quercetin Loaded Nanoparticles Based on Alginate for Pb(II) Adsorption in Aqueous Solution. **Nanoscale Research Letters**, [S.L.], v. 10, n. 1, p. 1-16, 17 out. 2015. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1186/s11671-015-1117-7>.

QUARESMA, A. P.; EULER, AMC. Açaí, mais que um fruto, símbolo da cultura alimentar e bioeconomia da Amazônia. In: VASCONCELLOS, M. B. de G. Bioeconomia e o mercado dos produtos florestais não madeireiros: desafios e possibilidades. São Paulo: Synergia Consultoria, v.5, p.74-99. 2023. Disponível em:
<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1155560>. Acesso em: 16 jan. 2024.

RANI, Heena; SHARMA, Sanjula; BALA, Manju. Technologies for extraction of oil from oilseeds and other plant sources in retrospect and prospects: a review. **Journal Of Food Process Engineering**, [S.L.], v. 44, n. 11, p. 327, 3 set. 2021. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/jfpe.13851>.

RAPOSO, Ana Karoliny da Silva; PAIXÃO, Lourival Coelho; ROCHA, Adones Almeida; LOPES, Ilmar Alves; SANTOS, Gustavo Augusto Silva; RIBEIRO, Geyse Adriana Corrêa; MENEZES, Alan Silva de; BARROS FILHO, Allan Kardec D.; SANTANA, Audirene Amorim. Characterization of Biodegradable Films Produced from Mixtures of Alginate, Starch and Babassu Fibers. **Journal Of Polymers And The Environment**, [S.L.], v. 29, n. 4, p. 1212-1226, 5 nov. 2020. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10924-020-01952-z>.

REINISCH, Maria Alves. **Principais embalagens de alimentos por segmentação da indústria alimentícia: uma abordagem atual e sustentável**. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Florianópolis, 2022. Disponível em:
https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/232605/TCC_-_Maria_Alves_Reinich.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 27 jan. 2024.

ROCHA, Maria Edite Bezerra da; FREIRE, Francisco da Chagas Oliveira; MAIA, Fábio Erlan Feitosa; GUEDES, Maria Izabel Florindo; RONDINA, Davide. Mycotoxins and their effects on human and animal health. **Food Control**, [S.L.], v. 36, n. 1, p. 159-165, fev. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.08.021>.

ROCHA, Mateus Aparecido Gonçalves da. **Produção e caracterização de Ramnolipídios obtidos a partir de óleos nativos**. Dissertação (mestrado). Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Biociências, Rio Claro. 2023. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/ef61caaf-86dd-4167-8fd7-637ff3a0a7c6/content>. Acesso em: 20 jan. 2023.

RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; DE BRITO, E. S.; DE MORAIS, S. M.; SAMPAIO, C. G.; PÉREZJIMÉNEZ, J. E.; SAURA-CALIXTO, F. D. Metodologia científica: Determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre DPPH. Comunicado técnico online. EMBRAPA, Fortaleza, 2007.

RUFINO, M.; ALVES, R.; DE BRITO, E. S.; DE MORAES, S. M.; SAMPAIO, C. G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J. E.; SAURA-CALIXTO, F. D. Metodologia científica: determinação de atividade antioxidante total em frutas pelo método de redução de ferro (FRAP). Comunicado Técnico online. EMBRAPA, Fortaleza, 2006.

SÁ, Bruno Camargo. **Extensão do ciclo de vida das embalagens: estratégias para desenvolvimento e implementação dos conceitos de extensão do ciclo de vida das embalagens através da reutilização**. Tese de Doutorado. Universidade Europeia. Lisboa, Portugal. 2019. Disponível em: https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/32345/1/Sa_Bruno_MDPE_Disserta%C3%A7%C3%A3o_revis%C3%A3o.pdf. Acesso em: 29 jan. 2024.

SAHA, Tilottoma; HOQUE, Md Enamul; MAHBUB, Tariq. Biopolymers for Sustainable Packaging in Food, Cosmetics, and Pharmaceuticals. **Advanced Processing, Properties, And Applications Of Starch And Other Bio-Based Polymers**, [S.L.], p. 197-214, 2020. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-819661-8.00013-5>.

SAKAI, Takamasa. Experimental verification of homogeneity in polymer gels. **Polymer Journal**, [S.L.], v. 46, n. 9, p. 517-523, 28 maio 2014. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/pj.2014.28>.

SANTANA, A. A.; KIECKBUSCH, T. G.. Physical evaluation of biodegradable films of calcium alginate plasticized with polyols. **Brazilian Journal Of Chemical Engineering**, [S.L.], v. 30, n. 4, p. 835-845, dez. 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0104-66322013000400015>.

SANTOS, Adriano Castelo dos; FREITAS, Joao da Luz; CRUZ JUNIOR, Francisco de Oliveira. Mapping of natural populations of *Eutepa oleracea* Mart., structure and estimates of fruit production at Araguari River, Eastern Amazon. **Scientia Forestalis**, v. 49, n. 132, 2021. Disponível em: <https://www.ipef.br/PUBLICACOES/SCIENTIA/nr132/2318-1222-scifor-49-132-e3714.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2024.

SANTOS, Andreлина Maria P.; YOSHIDA, Cristiana Maria P. Técnico em Alimentos: Embalagem. Recife: EDUFRPE, 2011.

SANTOS, Rogério Willian Silva dos; SANTANA NETO, Deocleciano Cassiano de; LEITE, Manuela Souza; JORGE, Regina Maria Matos; DANTAS, Tirzhá Lins Porto. Buriti oil and natural surfactant improve the properties of cassava starch and carboxymethylcellulose films. **Packaging Technology And Science**, [S.L.], v. 36, n. 4, p. 281-292, 26 dez. 2022. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/pts.2711>.

SCHAEFFER, Daiane. **Obtenção e caracterização de biopolímeros a partir de fécula de mandioca e amido de milho. Monografia.** Universidade do Vale do Taquari. Lajeado, Rio Grande do Sul. 2020. Disponível em: <https://www.univates.br/bduserver/api/core/bitstreams/3535dae1-0b36-47cc-882f-6041c86f4a8c/content>. Acesso em: 29 jan. 2024.

SCHAUSS, Alexander G.; WU, Xianli; PRIOR, Ronald L.; OU, Boxin; PATEL, Dinesh; HUANG, Dejian; KABABICK, James P.. Phytochemical and Nutrient Composition of the Freeze-Dried Amazonian Palm Berry, *Euterpe oleracea* Mart. (Açaí). **Journal Of Agricultural And Food Chemistry**, [S.L.], v. 54, n. 22, p. 8598-8603, 7 out. 2006. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/jf060976g>.

SCHIRMANN, Gabriela da Silva *et al.* **Composição em ácidos graxos do açaí (*Euterpe edulis*) de diversas regiões de Santa Catarina.** Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas. 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/92945/272800.pdf?sequence=1>. Acesso em: 26 jan. 2024.

SHAKOURY, Reza; TALEBANI, Negin; ZELATI, Amir; IÄLU, Ştefan; ARMAN, Ali; MIRZAEI, Saeed; JAFARI, Azadeh. The effect of thickness and film homogeneity on the optical and microstructures of the ZrO₂ thin films prepared by electron beam evaporation method. **Optical And Quantum Electronics**, [S.L.], v. 53, n. 8, p. 1-20, 22 jul. 2021. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11082-021-03079-4>.

SHARMA, Shubham; BARKAUSKAITE, Sandra; JAISWAL, Amit K.; JAISWAL, Swarna. Essential oils as additives in active food packaging. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 343, p. 128403, maio 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128403>.

SILVA, D.C. da; LOPES, I.A.; SILVA, L.J.s. da; LIMA, M.F.; BARROS FILHO, A.K.D.; VILLA-VÉLEZ, H.A.; SANTANA, A.A.. Physical properties of films based on pectin and babassu coconut mesocarp. **International Journal Of Biological Macromolecules**, [S.L.], v. 130, p. 419-428, jun. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.02.151>.

SILVA, Fernanda Geny Calheiros *et al.* Óleo de *Euterpe oleracea* (açaí): produção científica e prospecção tecnológica. **Humanidades & Inovação**, v. 9, n. 13, p. 178-190, 2022. Disponível em: <https://revista.unitins.br/index.php/humanidadesinovacao/article/view/1822/4273>. Acesso em: 25 jan. 2023.

SILVA, Girlaine Santos da. Produção de blendas de celulose bacteriana/alginato com incorporação de óleo de canela (*cinnamomum zeylanicum*). 2021. Dissertação (Mestrado em Ciência de Materiais) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2021.

SILVA, Marcos Antonio Custódio Neto da; TESSMANN, Josiane Weber; BORGES, Kátia Regina Assunção; WOLFF, Laís Araújo Souza; BOTELHO, Fernanda Diniz; VIEIRA, Leandro Alegria; MORGADO-DIAZ, Jose Andres; FRANCA, Tanos Celmar Costa; BARBOSA, Maria do Carmo Lacerda; NASCIMENTO, Maria do Desterro Soares Brandão. Açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) Seed Oil Exerts a Cytotoxic Role over Colorectal Cancer Cells: insights of annexin a2 regulation and molecular modeling. **Metabolites**, [S.L.], v. 13, n. 7, p. 789-800, 25 jun. 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/metabo13070789>.

SILVA, Maria Lúcia Perez Gomes da. **Definição de práticas operacionais padrão em Polímeros para fins de importação**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, Minas Gerais. 2017. Disponível em: https://repositorio.unifei.edu.br/jspui/bitstream/123456789/864/1/dissertacao_silva7_2017.pdf. Acesso em: 25 jan. 2024.

SILVA, Renata Santos da. **Açaí: Importância socioeconômica nos Estados do Pará e Goiás**. Monografia (Graduação em Tecnologia em Agronegócio), Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/bitstream/prefix/1711/1/TCC%20-%20RENATA%20SANTOS%20DA%20SILVA.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2024.

SITI, Hawa Nordin; MOHAMED, Suhaila; KAMISAH, Yusof. Potential Therapeutic Effects of Citrus hystrix DC and Its Bioactive Compounds on Metabolic Disorders. **Pharmaceuticals**, [S.L.], v. 15, n. 2, p. 167, 29 jan. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ph15020167>.

SKOVRLJ, Branko; HAGHIGHI, Maryam; SMETHURST, Mark E.; CARIDI, John; BEDERSON, Joshua B.. *Curvularia* Abscess of the Brainstem. **World Neurosurgery**, [S.L.], v. 82, n. 1, p. 241-241, jul. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wneu.2013.07.014>.

SOCACIU, Maria-Ioana; FOGARASI, Melinda; SEMENIUC, Cristina Anamaria; SOCACI, Sonia Ancuța; ROTAR, Mihaela Ancuța; MUREȘAN, Vlad; POP, Oana Lelia; VODNAR, Dan Cristian. Formulation and Characterization of Antimicrobial Edible Films Based on Whey Protein Isolate and Tarragon Essential Oil. **Polymers**, [S.L.], v. 12, n. 8, p. 1748, 5 ago. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/polym12081748>.

SOMSUBSIN, Somying; SEEBUNRUENG, Ketsarin; BOONCHIANGMA, Suthasinee; SRIJARANAI, Supalax. A simple solvent based microextraction for high performance liquid chromatographic analysis of aflatoxins in rice samples. **Talanta**, [S.L.], v. 176, p. 172-177, jan. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.talanta.2017.08.028>.

SOUSA, Francisco Acácio. **Determinação de polifenóis extraíveis, não extraíveis e atividade antioxidante in vitro nos sucos da polpa e clarificado de açaí**. Dissertação de Mestrado Acadêmico em Sociobiodiversidade e Tecnologias Sustentáveis (MASTS), Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB). Redenção, Ceará. 2020. Disponível em: <https://repositorio.unilab.edu.br/jspui/bitstream/123456789/2158/1/FRANCISCO%20AC%C3%81CIO%20DE%20SOUSA%20Dissert.pdf>. Acesso em: 19 jan. 2024.

SOUZA, A.C.; GOTO, G.e.O.; MAINARDI, J.A.; COELHO, A.C.V.; TADINI, C.C.. Cassava starch composite films incorporated with cinnamon essential oil: antimicrobial activity, microstructure, mechanical and barrier properties. **Lwt - Food Science And Technology**, [S.L.], v. 54, n. 2, p. 346-352, dez. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2013.06.017>.

SOUZA, Kely Viviane de; PERALTA-ZAMORA, Patricio; ZAWADZKI, Sônia Faria. Imobilização de ferro (II) em matriz de alginato e sua utilização na degradação de corantes têxteis por processos Fenton. **Química Nova**, [S.L.], v. 31, n. 5, p. 1145-1149, 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422008000500041>.

SOUZA, Melina Oliveira de; SILVA, Maísa; SILVA, Marcelo Eustáquio; OLIVEIRA, Riva de Paula; PEDROSA, Maria Lucia. Diet supplementation with acai (*Euterpe oleracea* Mart.) pulp improves biomarkers of oxidative stress and the serum lipid profile in rats. **Nutrition**, [S.L.], v. 26, n. 7-8, p. 804-810, jul. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.nut.2009.09.007>.

SPRENGER, Lew Kan; GIESE, Elane Guerreiro; SANTOS, Jeannie Nascimento dos; MOLENTO, Marcelo Beltrão. In vitro antibacterial effect of *Euterpe oleracea* Mart. and *Theobroma grandiflorum* hydroalcoholic extracts. **Archives Of Veterinary Science**, [S.L.], v. 21, n. 2, p. 321, 24 nov. 2016. Universidade Federal do Parana. <http://dx.doi.org/10.5380/avs.v21i2.43627>.

SUGUI, J. A.; KWON-CHUNG, K. J.; JUVVADI, P. R.; LATGE, J.-P.; STEINBACH, W. J.. *Aspergillus fumigatus* and Related Species. **Cold Spring Harbor Perspectives In Medicine**, [S.L.], v. 5, n. 2, p. 1-12, 6 nov. 2014. Cold Spring Harbor Laboratory. <http://dx.doi.org/10.1101/cshperspect.a019786>.

TACER-CABA, Z. The concept of superfoods in diet. In: **The role of alternative and innovative food ingredients and products in consumer wellness**. Academic Press, p. 73-101. 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Maria-Lopez-Belchi/publication/335311234_Wellness_Ingredients_and_functional_Food/links/62ae862340d84c1401b68200/Wellness-Ingredients-and-functional-Food.pdf#page=90. Acesso em: 23 jan. 2024.

TAN, Yu Pei; CROUS, Pedro W.; SHIVAS, Roger G.. Cryptic species of *Curvularia* in the culture collection of the Queensland Plant Pathology Herbarium. **Mycokeys**, [S.L.], v. 35, p. 1-25, 15 jun. 2018. Pensoft Publishers. <http://dx.doi.org/10.3897/mycokeys.35.25665>.

TEIXEIRA-COSTA, Barbara E.; ANDRADE, Cristina T. Natural polymers used in edible food packaging—History, function and application trends as a sustainable alternative to synthetic plastic. **Polysaccharides**, v. 3, n. 1, p. 32-58, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2673-4176/3/1/2>. Acesso em: 25 jan. 2024.

TEIXEIRA-COSTA, Barbara E.; FERREIRA, Willian Hermogenes; GOYCOOLEA, Francisco M.; MURRAY, Brent S.; ANDRADE, Cristina T.. Improved Antioxidant and Mechanical Properties of Food Packaging Films Based on Chitosan/Deep Eutectic Solvent, Containing Açaí-Filled Microcapsules. **Molecules**, [S.L.], v. 28, n. 3, p. 1507, 3 fev. 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/molecules28031507>.

TEIXEIRA, Isabella Lorenzini da Silva. **Potencial produtivo e econômico do açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) no estado do Pará**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG. 2018. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/EQVA-BBWE4U/1/disserta_o_isabella_lorenzini_folha_de_aprova_o.pdf. Acesso em: 18 jan. 2024.

TEIXEIRA, Samiris Côcco. **Desenvolvimento de filme inteligente incorporado de antocianinas como indicador de qualidade de alimentos**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais. 2021. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/29980/1/texto%20completo.pdf>. Acesso em: 29 jan. 2024.

TURAN, Deniz. Water Vapor Transport Properties of Polyurethane Films for Packaging of Respiring Foods. **Food Engineering Reviews**, [S.L.], v. 13, n. 1, p. 54-65, 19 nov. 2019. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s12393-019-09205-z>.

VAHEDI-SHAHANDASHTI, Roya; LASS-FLÖRL, Cornelia. Novel Antifungal Agents and Their Activity against Aspergillus Species. **Journal Of Fungi**, [S.L.], v. 6, n. 4, p. 213, 9 out. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/jof6040213>.

VELAZCO-MEDEL, Marlene Alejandra; CAMACHO-CRUZ, Luis Alberto; LUGO-GONZÁLEZ, José Carlos; BUCIO, Emilio. Antifungal polymers for medical applications. **Medical Devices & Sensors**, [S.L.], v. 4, n. 1, p. 1-20, 3 nov. 2020. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/mds3.10134>.

VENKATACHALAM, Karthikeyan; RAKKAPAO, Natthida; LEKJING, Somwang. Physicochemical and Antimicrobial Characterization of Chitosan and Native Glutinous Rice Starch-Based Composite Edible Films: influence of different essential oils incorporation. **Membranes**, [S.L.], v. 13, n. 2, p. 161, 27 jan. 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/membranes13020161>.

VIANNA, Léia Maria Coelho; OLIVEIRA, Letícia de; MÜHL, Diego Durante. Waste valorization in agribusiness value chains. **Waste Management Bulletin**, v. 1, n. 4, p. 195-204, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2949750723000408>. Acesso em: 30 jan. 2024.

WANG, Jiaxiu; EURING, Markus; OSTENDORF, Kolja; ZHANG, Kai. Biobased materials for food packaging. **Journal Of Bioresources And Bioproducts**, [S.L.], v. 7, n. 1, p. 1-13, fev. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jobab.2021.11.004>.

WILLIAMS, P.L., James, R.C. & Roberts, S.M., 2015. *Principles of Toxicology: Environmental and Industrial Applications*, John Wiley & Sons. Available at: <https://books.google.com/books?id=KrqnBQAAQBAJ&pgis=1>

XIE, Shanshan; LIU, Juan; GU, Shuangyue; CHEN, Xiaojie; JIANG, Haiyang; DING, Ting. Antifungal activity of volatile compounds produced by endophytic *Bacillus subtilis* DZSY21 against *Curvularia lunata*. **Annals Of Microbiology**, [S.L.], v. 70, n. 1, p. 1-12, 24 fev. 2020. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1186/s13213-020-01553-0>.

XUE, Yan; PAN, Yuanfeng; XIAO, Huining; ZHAO, Yi. Novel quaternary phosphonium-type cationic polyacrylamide and elucidation of dual-functional antibacterial/antiviral activity. **Rsc Adv.**, [S.L.], v. 4, n. 87, p. 46887-46895, 2014. Royal Society of Chemistry (RSC). <http://dx.doi.org/10.1039/c4ra08634a>.

YAMAGUCHI, Klenicy Kazumy de Lima *et al.* Amazon acai: Chemistry and biological activities: A review. **Food chemistry**, v. 179, p. 137-151, 2015. Disponível em: https://www.academia.edu/download/48340723/Amazon_acai_Chemistry_and_biological_act_20160826-21470-19r9kn4.pdf. Acesso em: 12 jan. 2024.

YAN, Peiling; LAN, Weiqing; XIE, Jing. Modification on sodium alginate for food preservation: a review. **Trends In Food Science & Technology**, [S.L.], v. 143, p. 104217, jan. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2023.104217>.

ZAIN, Mohamed E.. Impact of mycotoxins on humans and animals. **Journal Of Saudi Chemical Society**, [S.L.], v. 15, n. 2, p. 129-144, abr. 2011. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jscs.2010.06.006>.

ZHANG, Yan; PEDERSEN, Jacob Nedergaard; ESER, Bekir Engin; GUO, Zheng. Biodegradation of polyethylene and polystyrene: from microbial deterioration to enzyme discovery. **Biotechnology Advances**, [S.L.], v. 60, p. 107991, nov. 2022. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.biotechadv.2022.107991>.

ZHAO, Xubo; SCHAFFNER, Donald W.; YUE, Tianli. Quantification of aflatoxin risk associated with Chinese spices: point and probability risk assessments for aflatoxin b1. **Food Control**, [S.L.], v. 33, n. 2, p. 366-377, out. 2013. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.03.012>.

APÊNDICE

APÊNDICE A - ARTIGO PUBLICADO

Título: Potencial Amazônico- Prospecção tecnológica sobre uso de óleo de açaí (*Euterpe oleracea*) no desenvolvimento de bioprodutos na última década (2014-2023).

Periódico: Observatório de la Economía Latinoamericana ISSN 1696-8352

Autores: Eliakim do Nascimento Mendes; Allysson Kayron de Carvalho Silva; Amaury Vieira Cruz Moraes; João Victor Veras da Fonseca; Juliana Moura Mendes; Maria do Desterro Soares Brandão Nascimento

Qualis: A4 – Biotecnologia

CLASSIFICAÇÕES DE PERIÓDICOS QUADRIÊNIO 2017-2020

Área de Avaliação:
☐ BIOTECNOLOGIA

ISSN:
☒ 1696-8352

Título:
☐

Classificação:
☐ -- SELECIONE --

Consultar Cancelar

Periódicos

ISSN	Título	Área com publicação no quadriênio	Classificação	Área mãe
1696-8352	OBSERVATORIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA	ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA E DE EMPRESAS, CIÊNCIAS CONTÁBEIS E TURISMO	A4	ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA E DE EMPRESAS, CIÊNCIAS CONTÁBEIS E TURISMO
1696-8352	OBSERVATORIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA	BIODIVERSIDADE	A4	ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA E DE EMPRESAS, CIÊNCIAS CONTÁBEIS E TURISMO
1696-8352	OBSERVATORIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA	BIOTECNOLOGIA	A4	ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA E DE EMPRESAS, CIÊNCIAS CONTÁBEIS E TURISMO
1696-8352	OBSERVATORIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA	CIÊNCIA DE ALIMENTOS	A4	ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA E DE EMPRESAS, CIÊNCIAS CONTÁBEIS E TURISMO



**Potencial Amazônico: prospecção tecnológica sobre uso de óleo de açaí
(*Euterpe oleracea*) no desenvolvimento de bioprodutos na última
década (2014-2023)**

**Amazon potential: technological prospect on the use of acai oil
(*Euterpe oleracea*) in the development of bioproducts in the last decade
(2014-2023)**

**Potencial Amazónico: perspectiva tecnológica sobre el uso del aceite de
acai (*Euterpe oleracea*) en el desarrollo de bioproductos en la última
década (2014-2023)**

DOI: 10.55905/oelv22n2-013

Receipt of originals: 01/04/2024

Acceptance for publication: 01/26/2024

Eliakim do Nascimento Mendes

Doutorando em Biotecnologia em Saúde

Instituição: Universidade Federal do Maranhão

Endereço: Av. dos Portugueses, 1966, Bacanga, São Luís – MA, CEP: 65080-805

E-mail: eliakim.nutri@hotmail.com

Allysson Kayron de Carvalho Silva

Doutorando em Biotecnologia em Saúde

Instituição: Universidade Federal do Maranhão

Endereço: Av. dos Portugueses, 1966, Bacanga, São Luís – MA, CEP: 65080-805

E-mail: allyssonkayron@hotmail.com

Amaury Vieira Cruz Moraes

Graduando em Nutrição

Instituição: Centro Universitário UNDB

Endereço: Av. Cel. Colares Moreira, 443, Jardim Renascença, São Luís – MA,
CEP: 65075-441

E-mail: vieiraamaury17@gmail.com

João Victor Veras da Fonseca

Graduando em Nutrição

Instituição: Centro Universitário UNDB

Endereço: Av. Cel. Colares Moreira, 443, Jardim Renascença, São Luís – MA,
CEP: 65075-441

E-mail: 1victorveras@gmail.com

Juliana Moura Mendes

Doutora em Ciências Biomédicas

Instituição: Universidad Nacional de Asuncion

Endereço: Dr. Gaspar Villamayor, Dr Cecilio Baéz, Campus Universitario de la UNA,
San Lorenzo, CEMIT, Assuncion, Paraguay, 111421

E-mail: jmendes@rec.una.py

Maria do Desterro Soares Brandão Nascimento

Doutora em Medicina

Instituição: Universidade Federal do Maranhão

Endereço: Av. dos Portugueses, 1966, Bacanga, São Luís – MA, CEP: 65080-805

E-mail: maria.desterro@ufma.br

RESUMO

O óleo de açaí, extraído da *Euterpe oleracea*, possui uma ampla gama de atividades biológicas promissoras, sendo produzido em larga escala no Brasil, principalmente na região amazônica. Estudos destacam seus benefícios à saúde, incluindo atividade antimicrobiana, ação anticâncer, antiaterogênica, anti-hipercolesterolêmica, anti-hipertrigliceridêmica, anti-inflamatória e antinociceptiva. O óleo de açaí também mostra potencial na produção tecnológica. Essa prospecção tecnológica foi realizada entre 2014 e 2023 para identificar patentes relacionadas ao seu uso. Foram encontrados 15 registros de patentes, com aplicações em diversos setores como alimentício, farmacêutico e cosmético. A supremacia do Brasil nesse campo, especialmente por instituições de ensino superior, reflete o potencial científico e inovador do país, destacando o papel fundamental das universidades e centros de pesquisa na geração de conhecimento aplicado e na busca por soluções sustentáveis. É essencial continuar apoiando e incentivando a pesquisa e inovação, promovendo parcerias estratégicas entre academia, indústria e governo, para que o conhecimento gerado contribua efetivamente para o progresso social, econômico e ambiental, tanto no Brasil quanto globalmente.

Palavras-chave: *Euterpe oleracea*, óleo de açaí, prospecção tecnológica.

ABSTRACT

The acai oil, extracted from *Euterpe oleracea*, has a wide range of promising biological activities, being produced on a large scale in Brazil, mainly in the Amazon region. Studies highlight its health benefits, including antimicrobial activity, anticancer action, antiatherogenic, anti-hypercholesterolemic, anti-hypertriglyceridemic, anti-inflammatory, and antinociceptive. Acai berry oil also shows potential in technological production. This technological prospecting was carried out between 2014 and 2023 to identify patents related to its use. 15 patent registrations were found, with applications in various sectors such as food, pharmaceutical and cosmetics. Brazil's supremacy in this field, especially by higher education institutions, reflects the country's scientific and innovative potential, highlighting the fundamental role of universities and research centers in generating applied knowledge and in the search for sustainable solutions. It is essential to continue supporting and encouraging research and innovation, promoting

strategic partnerships between academia, industry and government, so that the knowledge generated contributes effectively to social, economic and environmental progress, both in Brazil and globally.

Keywords: *Euterpe oleracea*, acai berry oil, technological prospecting.

RESUMEN

El aceite de acai, extraído de *Euterpe oleracea*, tiene una amplia gama de actividades biológicas prometedoras, produciéndose a gran escala en Brasil, principalmente en la región amazónica. Los estudios destacan sus beneficios para la salud, incluyendo actividad antimicrobiana, acción anticancerosa, antiaterogénico, antihipercolesterolémico, antihipertrigliceridémico, antiinflamatorio y antinociceptivo. El aceite de baya de Acai también muestra potencial en la producción tecnológica. Esta prospección tecnológica se realizó entre 2014 y 2023 para identificar patentes relacionadas con su uso. Se encontraron 15 registros de patentes, con solicitudes en diversos sectores como alimentación, farmacéutica y cosmética. La supremacía de Brasil en este campo, especialmente por parte de las instituciones de educación superior, refleja el potencial científico e innovador del país, destacando el papel fundamental de las universidades y centros de investigación en la generación de conocimiento aplicado y en la búsqueda de soluciones sostenibles. Es esencial seguir apoyando y alentando la investigación y la innovación, promoviendo asociaciones estratégicas entre el mundo académico, la industria y el gobierno, de manera que el conocimiento generado contribuya eficazmente al progreso social, económico y ambiental, tanto en el Brasil como a nivel mundial.

Palabras clave: *Euterpe oleracea*, aceite de baya de acai, prospección tecnológica.

1 INTRODUÇÃO

O açaí, típico das florestas tropicais da região amazônica, é uma fruta de destaque por suas propriedades nutricionais, versatilidade culinária e potencial biotecnológico. Originária das palmeiras da espécie *Euterpe oleracea*, essa fruta roxa escura é cultivada principalmente no Brasil, nos estados da região Norte, como Pará, Amapá e Amazonas, estendendo-se até o Nordeste, especialmente no Maranhão (Oliveira; Schwartz, 2018).

O seu cultivo ocorre em áreas de floresta tropical úmida, onde as palmeiras de açaí crescem em solos alagados. As condições climáticas ideais incluem temperaturas elevadas e alta umidade, características encontradas nas extensões da bacia amazônica. O ciclo de vida do açaí inicia-se com a semeadura das sementes, que são retiradas dos frutos

maduros. O crescimento da palmeira é relativamente lento nos primeiros anos, mas, uma vez estabelecida, ela pode produzir frutos por décadas (Moraes *et al.*, 2019).

Com sua combinação equilibrada de nutrientes, o açaí serve também como uma fonte de energia natural, tornando-se uma opção saudável para impulsionar a vitalidade, o desempenho físico, prevenção e tratamento de doenças (Silva *et al.*, 2021). Além de seu impacto na nutrição, o óleo de açaí, derivado dessa fruta, destaca-se na indústria cosmética, farmacêutica e de alimentos. Reconhecido também por suas propriedades antioxidantes, o óleo de açaí tornou-se um componente valioso, tendo um importante potencial tecnológico (Teixeira-Costa *et al.*, 2020).

Por apresentar uma variedade de atividades biológicas, o óleo da *Euterpe oleracea*, é um composto vegetal promissor. O Brasil, especialmente a região amazônica, produz extensivamente o óleo de açaí. Os compostos bioativos presentes no óleo justificam os efeitos benéficos a saúde, desde atividade antimicrobiana (Magalhães *et al.*, 2020) até ação anticâncer, segundo Silva *et al.* (2023). Estudos variados destacam ainda a ação antiaterogênica (Souza *et al.*, 2017a), anti-hipercolesterolemico e anti-hipertrigliceridêmico (Souza *et al.*, 2017b), anti-inflamatória e antinociceptiva (Favacho *et al.*, 2011). Além disso, foi relatada a ausência de citotoxicidade e genotoxicidade (Marques *et al.*, 2016). O óleo de açaí apresenta um notável potencial na produção tecnológica (Teixeira-Costa *et al.*, 2020).

Nesse sentido o artigo tem como objetivo realizar uma abordagem abrangente sobre os avanços tecnológicos e científicos associados ao óleo de *Euterpe oleracea* (açaí) na última década. A identificação e análise de depósitos de patentes e produção científica relacionados ao óleo de açaí em bases nacionais e internacionais são importantes para compreender o estado atual das pesquisas e inovações nesse campo. Ao fazer isso, busca-se contribuir para a disseminação do conhecimento, promover estratégias de pesquisa e desenvolvimento eficazes e destacar oportunidades para avanços tecnológicos que possam beneficiar não apenas a comunidade científica, mas também a indústria, a saúde e o meio ambiente.

Ao investigar o período de 2014 a 2023, busca-se oferecer informações sobre as trajetórias de inovação ao longo do tempo, fornecendo uma base sólida para a

compreensão das dinâmicas patentárias relacionadas ao óleo de açaí. Sendo assim o objetivo dessa prospecção tecnológica é identificar em bases de dados nacional e internacional patentes que incorporaram o óleo de açaí no desenvolvimento de produtos na última década (2014-2023).

2 METODOLOGIA

2.1 BASES DE PATENTES

As bases de patentes representam uma compilação extensiva de documentos legais que descrevem inovações e descobertas, é uma fonte essencial para a pesquisa e desenvolvimento em diversos setores. Essa reserva de conhecimento, frequentemente mantida por escritórios de patentes em níveis nacionais e internacionais, serve como um repositório valioso para identificar tendências tecnológicas. Além disso, a análise cuidadosa da base de patentes oferece oportunidades para tomadores de decisão, pesquisadores e inovadores, permitindo a identificação de oportunidades de mercado, estratégias de desenvolvimento tecnológico e a compreensão do panorama em constante evolução (Suzuki; Sakata; Hosoya, 2008).

Inicialmente, foram definidas as bases de patentes para realização da prospecção tecnológica. Optou-se por banco de dados nacional: o Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) e como bancos de dados internacionais o Derwent Innovations Index (Derwent) e o World Intellectual-Property Organization (WIPO).

O Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) é uma instituição governamental brasileira responsável por administrar e regulamentar questões relacionadas à propriedade industrial no país. Criado em 1970, o Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) é uma autarquia federal vinculada ao Ministério da Economia, responsável pelo aperfeiçoamento, disseminação e gestão do sistema brasileiro de concessão e garantia de direitos de propriedade intelectual para a indústria, incluindo as concessões de patentes (BRASIL, 1996).

Já o Derwent Innovations Index (Derwent), é uma ferramenta de pesquisa e análise que faz parte da base de dados Web of Science, fornecida pela Clarivate Analytics. Este índice é especializado em informações relacionadas a patentes e inovações

tecnológicas, oferecendo uma cobertura de documentos de patentes de diversas partes do mundo. O Derwent é uma ferramenta valiosa para pesquisadores, inovadores e profissionais que buscam explorar o cenário global de patentes, identificar tendências tecnológicas e realizar análises de concorrência (CLARIVATE, 2024).

A WIPO, ou Organização Mundial da Propriedade Intelectual, é uma agência da ONU que promove e protege os direitos de propriedade intelectual globalmente desde 1967. Ela facilita a discussão e coordenação de políticas, administra tratados internacionais como patentes e direitos autorais, e busca harmonizar leis entre países. A WIPO também promove educação, pesquisa e cooperação técnica para fortalecer a aplicação dos direitos de propriedade intelectual em todo o mundo (MAY, 2006).

2.2 PERÍODO DE ESTUDO E DE DADOS COLETADOS

A coleta de dados dessa prospecção tecnológica nas bases de dados de patentes e foi realizada nos meses de Novembro e Dezembro de 2023 e Janeiro de 2024. Com o intuito de avaliar a evolução tecnológica do uso do óleo de açaí (*Euterpe oleracea*), definiu-se como marco temporal a última década (2014-2023).

2.3 DESCRITORES E PALAVRAS-CHAVE

Para padronização na coleta de informações nas bases de dados de patente e científicas definiu-se previamente os descritores. Os descritores utilizados estão apresentados no quadro 1, em português para pesquisa nacional e em inglês para buscas internacionais.

Quadro 1: Descritores em português e inglês utilizados para busca nas bases de dados.

	Descritor em português	Descritor em inglês
1	Óleo <i>Euterpe oleracea</i>	Oil <i>Euterpe oleracea</i>
2	Óleo Açaí	Oil Açaí

Fonte: Autores

2.4 ANÁLISE E APRESENTAÇÃO DOS DADOS

Os resultados serão apresentados em tabelas e gráficos. A análise foi realizada após quantificados os dados nas plataformas de patentes, filtrando os que utilizaram especificamente o óleo de *Euterpe oleracea* na composição. Os dados avaliados nas bases de patentes foram: número de pedidos patentes por descritor, ano, área de classificação IPC, depositantes, inventores e país de origem.

Quando disponível, os dados foram diretamente transcritos das plataformas para análise, como no caso da Dewrent. Quando não possível a análise diretamente da plataforma, os dados foram tabulados em planilha do Microsoft Excel® e posteriormente analisados, como os disponíveis no INPI.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A pesquisa e a inovação têm sido aliadas no avanço tecnológico em diversas áreas e impulsionam o desenvolvimento econômico e a melhoria da qualidade de vida. A obtenção de patentes é um indicador significativo de atividade inovadora e progresso científico (Park; Leahey; Funk, 2023). No contexto específico do Brasil sendo um dos maiores produtores de açaí do mundo, é importante ressaltar o papel do óleo de açaí (*Euterpe oleracea*). O óleo tem se destacado não apenas como um componente valioso na indústria alimentícia e de cosméticos, mas também como objeto de pesquisa e inovação. Seus benefícios nutricionais e propriedades antioxidantes têm despertado interesse crescente na comunidade científica, resultando em uma série de estudos e desenvolvimentos patenteados (Teixeira-Costa *et al.*, 2020).

A tabela 1 propõe uma análise do número de patentes, focando especificamente nos descritores presentes nos títulos e resumos. O descritor "Óleo *Euterpe oleracea*" apresenta uma presença significativa na base DEWRENT com 46 registros, indicando um interesse considerável nessa base de dados. No entanto, observa-se que a presença é relativamente baixa nas bases INPI e WIPO, com 4 e 14 registros, respectivamente. O descritor "Óleo Açaí" revela uma presença substancial nas três bases de dados, com destaque também para a base DEWRENT, que apresenta um número significativamente maior de 252 registros. Esses números sugerem que o interesse por esse óleo,

especificamente na base DEWRENT, pode estar mais relacionado a abrangência de publicação, já que esta base inclui patentes do mundo todo (Clarivate, 2024).

Para Oliveira e Schwartz (2018), o Brasil se destaca como um dos maiores produtores de açaí do mundo, ocupando uma posição proeminente na produção e exportação dessa fruta de valor nutricional, cultural e tecnológico. No entanto, observa-se que a base de dados do INPI apresenta um número relativamente baixo de 9 registros considerando os dois descritores, indicando uma possível discrepância de interesse em comparação com as outras bases. Essa análise preliminar destaca a importância de considerar a variabilidade nos dados entre diferentes bases de patentes, como áreas geográficas de foco, políticas de patentes, tendências de pesquisa e o país de origem da patente.

Com a leitura detalhada das patentes encontradas nas bases de dados, foi possível observar uma variedade de utilizações do óleo de açaí em diferentes setores e campos de aplicação. Foram eliminadas as duplicatas presentes nas bases de dados e, após identificar as patentes que incorporaram o óleo em seus produtos desenvolvidos, foram encontrados 15 registros de patentes. Na base DEWRENT, um total de 7 patentes foram identificadas, destacando-se pela diversidade de aplicações, desde a indústria alimentícia até a farmacêutica e cosmética. No INPI, 5 patentes registradas, evidenciando sua relevância para a inovação nacional. Enquanto isso, na WIPO, 3 patentes, conforme apresentado na tabela 1.

Tabela 1: Número de patentes por descritor em título e resumo nas bases Dewrent, INPI e WIPO para o período compreendido entre 2014 e 2023.

Descritores	DEWRENT	INPI	WIPO
Óleo <i>Euterpe oleracea</i>	46	4	14
Óleo Açaí	252	5	6
Patentes com uso efetivo do óleo de Açaí*	7	5	3

Fonte: Autores, 2024

A tabela 2 apresenta uma descrição das patentes que incorporaram o óleo de açaí em sua composição, conforme catalogadas nas bases de dados de estudo durante o período de uma década, de 2014 a 2023. Essa compilação fornece uma perspectiva abrangente

sobre a aplicação prática do óleo de açaí em múltiplos contextos, desde produtos alimentícios e cosméticos até aplicações farmacêuticas e industriais.

Nos últimos 10 anos, o Brasil se destacou globalmente ao registrar 53,33% (n=8) de depósitos de patentes relacionadas ao uso do óleo de açaí. Esse número reflete a importância dos recursos naturais do país e de avanço significativo em pesquisa e inovação (Maciel-Silva et al., 2021). Essas patentes possibilitam a evolução da economia nacional e reforçam a posição do Brasil como destaque em tecnologia e desenvolvimento de produtos naturais que incluem o açaí (Barbosa e Carvalho Junior, 2022).

Destaca-se ainda que a China e a Coreia do Sul somam 5 patentes e são proeminentes na produção de patentes relacionadas ao óleo de *Euterpe oleracea*. Com investimento significativo em pesquisa e desenvolvimento, ambas as nações têm demonstrado um compromisso notável com a pesquisa e inovação utilizando a *Euterpe oleracea* (Zhang et al., 2015).

Os depositantes, muitas vezes representados por empresas, instituições de pesquisa ou até mesmo indivíduos, são responsáveis por submeter as solicitações de patentes aos órgãos competentes. Por outro lado, os inventores são aqueles que concebem as ideias originais e desenvolvem as inovações que são objeto dessas patentes. Juntos, depositantes e inventores colaboram para proteger e promover a propriedade intelectual, incentivando novas pesquisas, desenvolvimentos e avanços tecnológicos que beneficiam a sociedade (Chae e Gim, 2019).

Os resultados dessa prospecção tecnológica revelam uma participação diversificada de depositantes, destacando o envolvimento ativo de diferentes setores na inovação relacionada ao óleo de açaí. Das 15 patentes registradas, 6 foram depositadas por instituições de ensino superior, demonstrando o compromisso acadêmico com a pesquisa e o desenvolvimento de novas tecnologias. Além disso, 5 empresas contribuíram significativamente, trazendo a expertise do setor privado para impulsionar a inovação e comercialização dessas tecnologias.

De acordo com o estudo de Raghupathi e Raghupathi (2017), o acesso à educação superior estimula a inovação. Eles também destacam que, entre os setores, o governo e o ensino superior têm maiores gastos em Pesquisa e Desenvolvimento do que os setores



privados e sem fins lucrativos nos Estados Unidos. No Brasil, encontra-se uma relação negativa entre o desenvolvimento econômico regional e os resultados de patenteamento. As universidades localizadas em regiões com níveis mais altos de atividade econômica e inovadora geram mais patentes (Soares, Torkomian e Nagano, 2020).



Tabela 2: Descrição das patentes que utilizaram óleo de açaí em sua composição descritas nas bases Derwent, INPI e WIPO na última década (2014-2023).

Nº do Pedido	Data	Classificação IPC	Título	Resumo	Depositante	Inventor	País
KR1020160059263	18/11/2014	A61K 8/65 A61K 8/30 A61K 8/64 A61K 8/92 A61Q 5/02	Composição de xampu sem água em formato de espuma.	A invenção é um shampoo em espuma sem água, adequado para cuidados do couro cabeludo prolongados. Ingredientes incluem colágeno hidrolisado de cocoyl de potássio, oligopeptídeo de palmitoila, e extratos naturais como Camellia sinensis e Glycyrrhiza inflata.	Jeong, Seok Hoonjeong, Seok Hoon	Jeong, Seok Hoonjeong, Seok Hoon	Coreia do Sul
BR112017004045 0A2	31/07/2015	A61Q 3/00 A61Q 5/12 A61Q 19/00 A61K 8/02 A61K 8/92	Composições para formulação cosmética compreendendo uma mistura selecionada dentre manteiga de murumuru, manteiga de ucuuba, óleo de castanha, óleo de maracujá, manteiga de cupuaçu, óleo de açaí e/ou óleo de andiroba	A invenção apresenta composições cosméticas com ingredientes como manteiga de murumuru, ucuuba, óleo de castanha, maracujá, cupuaçu, açaí e andiroba ou seus ésteres. Essa mistura aplicada na pele, cabelos, mãos e unhas resulta em produtos cosméticos tecnologicamente diferenciados e eficazes.	Natura Cosméticos S.A.	Joyce Kazue Alves Wada / Marcos Rogério Spina	Brasil
CN106361653	27/11/2016	A61K-008/49 A61K-008/60 A61K-008/68 A61K-008/81 A61K008/9789 A61Q-019/02 A61Q-019/08	Loção para cuidados com a pele com efeito clareador contendo aditivo funcional para cuidados com a pele preparado usando extrato de raiz de Glycyrrhiza glabra, extrato de óleo de frutas de Euterpe oleracea, arbutina, extrato de frutas de cranberry e extrato de frutas de morango.	A loção clareadora de pele contém suco de bétula branca asiática, aditivos como extrato de raiz de Glycyrrhiza glabra, óleo de Euterpe oleracea, arbutina, cranberry e extrato de morango, com glicerina, ceramida 3 e hialuronato de sódio. Método de preparação inclui aquecimento, dissolução, mistura e resfriamento.	Prettyjane Guangzhou Cosmetics Co Ltd	Li Y	China



BR102017013407 5	21/06/2017	A61K 36/889 A61K 38/28 A61K 47/10 A61P 3/10	Sistema micelar termoreversível de poloxâmero 407, óleo vegetal e insulina, processo de obtenção, composição farmacêutica e usos	A invenção aborda um sistema micelar termo reversível de poloxâmero 407 com óleos vegetais, como o de açaí e buriti, e insulina para tratar diabetes tipos 1 e 2. Estudos pré-clínicos mostram efeito hipoglicêmico prolongado nas formulações, destacando a segurança e eficácia do uso não invasivo de açaí e buriti na absorção de insulina.	Universidade Federal De Ouro Preto	José Mário Barichello / Lucas Andrade Ferreira et al.	Brasil
WO2018014100	17/07/2017	A61K-033/06 A61K-009/48 A61P-001/10 A61P-003/02 A61K-033/14 A61K-047/14 A61K-009/08 A61K-009/10 A61K-009/107	A composição de dosagem ingerível inclui uma mistura de cloreto de magnésio e óleo, sendo este mineral ou vegetal, selecionado entre óleo de soja, coco, milho, semente de girassol, algodão, oliva, amendoim e amêndoas, contidos em cápsula gelatinosa.	A composição farmacêutica inclui uma mistura de 5-5000mg de cloreto de magnésio e óleo, formulado como dispersão, suspensão ou emulsão. O óleo pode ser mineral ou vegetal, contendo ácidos graxos essenciais e outros aditivos farmacêuticos. A cápsula macia pode conter corantes ou impressão de superfície.	Pianowski L F	Pianowski L F	Brasil
WO2019/136105	02/01/2018	A61K-036/74 A61K-036/88 A61K-036/47 A61K-036/48 A61K-036/61	Composição para cuidados com a pele útil no tratamento de condições cutâneas, incluindo pele seca, pele irritada, inflamada, eritema, pele sensível, prurido e manchas...	A nova composição tópica para cuidados com a pele inclui extratos naturais como casca de salgueiro preto, garra de gato e sangue de dragão, ou ingredientes como resina de bálsamo copaiba, extrato de camu camu, óleo de andiroba, açaí e pequi. Trata diversas condições cutâneas.	Skinkick Llc	Schirle M; Schiele M	***
CN107951753	24/04/2018	A61K 8/92 A61Q 19/08	Composição de produto para cuidados com a pele, produto para	A composição de cuidados com a pele inclui óleo de Euterpe oleracea, Fusanus spicatus, Mauritia flexuosa, óleo essencial de camomila alemã, flor de laranja amarga e semente de cenoura. Oferece benefícios como acalmar,	Guangzhou Shan Cao Ji	Fu Zhichong Yin Jianhua	China



		A61Q 19/00	cuidados com a pele e método de preparação e aplicação da composição.	reduzir inflamação, tonificar, amaciar, hidratar, melhorar atividade celular e antioxidante, sem conservantes químicos ou aditivos.	Cosmetics Co., Ltd		
BR102018076793 3A2	20/12/2018	A61K 36/889 A61K 47/40 A61P 35/00 A61P 29/00 A61P 39/06	Sistemas binários do óleo essencial de açaí e cicloamilos	A invenção propõe sistemas binários com óleo essencial de açaí e cicloamilos para aplicação farmacológica. Ao encapsular polímeros de cicloamilos, melhora a solubilidade e estabilidade do óleo, ampliando seus efeitos anti-inflamatório, antimicrobiano e antioxidante. Oferece diversas formas farmacêuticas e vias de administração.	Universidade Federal Do Rio Grande Do Norte	Adley Antonini Neves De Lima / Eliana Arantes Ostrosky / Thaila Sévia	Brasil
BR102019004137 4A2	28/02/2019	A61K 6/889 A61K 131/00 A61P 39/06	Composições antioxidantes à base do óleo dos frutos de euterpe oleracea e uso	A invenção propõe composições antioxidantes com óleo de Euterpe oleracea para reverter alterações testiculares causadas por estresse oxidativo, incluindo exposição ao cádmio, e para proteção contra radicais livres. Destina-se à indústria de fitoterápicos.	Universidade Federal De Viçosa	Sérgio Luis Pinto Da Matta / Viviane Gorete Silveira Moura	Brasil
CN110638714A	08/11/2019	A45D-034/00 A47K-007/02 A61K-008/04 A61K-008/92 A61K-008/9789 A61M-011/00 A61Q-019/00	Óleo essencial de planta com função suavizante de rugas, compreende lanolina, óleo de semente de flor de lagoa branca, óleo de fruto de rosa mosqueta, semente de morango selvagem, óleo de fruta Euterpe oleracea...	O inovador óleo essencial vegetal, com função de suavização de rugas, é composto por ingredientes como lanolina, óleo de semente de flor de lagoa branca, óleo de rosa mosqueta, entre outros. Projetado para manter a pele, reduzir linhas finas e retardar o envelhecimento cutâneo, proporcionando benefícios abrangentes.	Suzhou Yuanshi Biotechnology Co Ltd	Xu J	China
BR1020200132539A 2	27/06/2020	A01N 65/40	Emulsão à base de euterpe oleracea mart. Com atividade larvívora	A patente aborda o uso de uma emulsão à base de Euterpe oleracea para atividade larvívora contra larvas de Ae. aegypti. A emulsão, contendo óleo de E. oleracea,	UFPE/ UFVSV UFAM	Larissa Araújo Rolim / Pedro José Rolim	Brasil



		A01N 25/04 A01P 7/04		tween 80 e água, alcançou 100% de mortalidade em larvas após 24 horas de exposição, sem toxicidade aguda observada em camundongos testados.		Neto / Rosali Maria Ferreira Da Silva et al.	
BR2020/050414	14/10/2020	A61K-008/04 A61K-008/27 A61K-008/29 A61K-008/92 A61Q-017/04 A61K-008/19 A61K-008/25 A61K-008/26	Composição fotoprotetora para proteção contra radiação ultravioleta e/ou combate ao fotoenvelhecimento, compreende uma argila, um óleo e/ou extrato de planta com atividade fotoprotetora e/ou antioxidante, e um filtro solar.	A nova composição fotoprotetora inclui argila, óleo/extrato vegetal com propriedades fotoprotetoras/antioxidantes e protetor solar inorgânico. Utilizada para proteção UV e combate ao fotoenvelhecimento, a fórmula multifuncional permite a adição de outros aditivos para servir como maquiagem em diferentes formas. O método de preparação é reivindicado na patente.	Bioart Biocosméticos Ltda Univ Federal Santa Catarina	Zonta S Gpez-zini B R; Gomes M; Caon T; Gomes Zonta S	Brasil
BR102021026570A2	27/12/2021	A61K-036/889 A61P-029/02	Óleo de açaí útil para fornecer efeito antioxidante, efeito vasodilatador e efeito anti-inflamatório, sendo produzido com o uso de fluido supercrítico (dióxido de carbono supercrítico) como solvente.	O óleo de açaí é produzido com dióxido de carbono supercrítico, livre de gordura e resíduos tóxicos. Tem efeitos antioxidantes, vasodilatadores e anti-inflamatórios, com alta qualidade nutricional e cosmetológica, oferecendo um rendimento eficiente de 30-60%. É rico em flavonoides, compostos fenólicos, ácidos graxos, vitaminas e minerais.	Univ Federal Do Para	Siqueira L M M; De Souza E Silva A P; Rodrigues Ferreira M C et al.	Brasil
KR102402021	06/01/2022	A61K 8/92 A61K 8/891 A61K 8/9761 A61K 8/9767 A61K 8/9789 A61K 8/9794	Composição de óleo capilar para fornecer nutrição e manutenção do penteado	A invenção é uma composição de óleo capilar que nutre e mantém o estilo, com óleos naturais como açaí. Trata cabelos desiguais e danificados, fornecendo nutrientes ao couro cabeludo. O uso de óleo de cipreste e agulha de pinheiro oferece aroma natural e efeito esterilizante.	Ikeidi Coria In Ben Louzin	Baek Soon Sik	Coreia do Sul

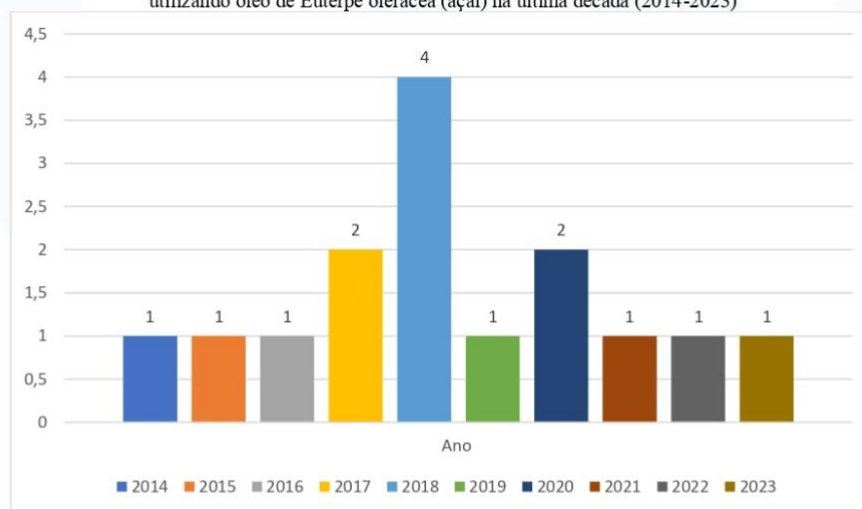
BR102012021043	10/08/2023	A61K 036/889 A61P 043/00	Composição utilizada em terapia fotodinâmica e adjuvante para diagnóstico, prevenção e tratamento de lesões pré-neoplásicas e neoplásicas, e tratamento de lesões fúngicas e bacterianas, inclui óleo de frutas de Euterpe e polímero.	A nova composição, contendo óleo de frutas Euterpe e polímero, é formulada em nano ou micropartículas. Usada na terapia fotodinâmica, efetivamente diagnóstica, previne e trata lesões pré-neoplásicas, neoplásicas e fúngicas, incluindo câncer de mama. Oferece estabilidade, biocompatibilidade e segurança, melhorando condições estéticas causadas por bactérias, fungos ou acne.	Univ Fundacao Brasilia Univ Fundacao Federal Do Acre	Bentes De Azevedo R; Drummond Viana De Faria F; Degterev I A et al.	Brasil
----------------	------------	-----------------------------	--	--	---	---	--------

***Múltiplos países
Fonte: Autores, 2024

A análise da distribuição cronológica dos pedidos de patentes na base de dados do INPI, WIPO e Derwent apresentada na figura 1 revela um panorama interessante. No ano de 2018, destacou-se um aumento significativo com 4 patentes registradas, indicando um pico de interesse e atividade na pesquisa e desenvolvimento relacionados ao óleo de açaí. Nos anos de 2017 e 2020, foram registradas 2 patentes em cada ano, evidenciando uma tendência consistente de investimento e inovação nesse período. Nos demais anos, observou-se a ocorrência de 1 patente em cada ano, sugerindo uma continuidade no interesse e na atividade de pesquisa ao longo da década.

Estudo recente forneceu evidências causais de que a publicação de patentes é importante e que as regras que regem o momento da publicação podem ter um impacto profundo na inovação de acompanhamento. A divulgação precoce parece promover a difusão do conhecimento, reduzir os custos de patenteamento e reduzir a duplicação de tecnologia (Hegde, Herkenhoff e Zhu, 2023).

Figura 1: Distribuição cronológica dos pedidos de patentes na base de dados do INPI, WIPO e Dewrente, utilizando óleo de *Euterpe oleracea* (açaí) na última década (2014-2023)



Fonte: Autores, 2024

A análise da classificação IPC, conforme figura 2, revelou resultados significativos sobre as aplicações do óleo de açaí. Do total de 72 registros, destacam-se 46 classificações (A61K) relacionadas a "Preparações para finalidades médicas,



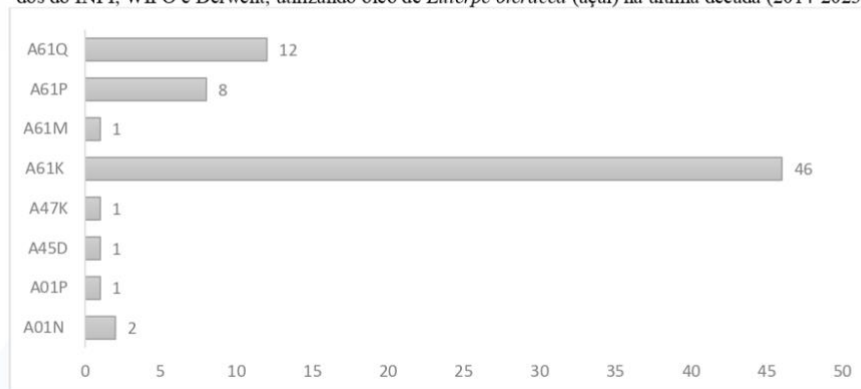
odontológicas ou higiênicas", indicando um interesse substancial na utilização desse recurso para promover a saúde e a higiene pessoal. Um estudo conduzido por Antunes *et al.* (2012) investigou a progressão das patentes no campo da saúde usando a base de dados Derwent e a classificação IPC. Os resultados indicaram um aumento significativo no número de patentes relacionadas a "Preparações para finalidades médicas, odontológicas ou higiênicas". Além disso, observou-se que os Estados Unidos se destacaram como os principais requerentes e detentores de patentes nessa categoria.

Além disso, foram identificados 12 registros (A61Q) específicos relacionados ao "uso específico de cosméticos ou preparações de banheiro semelhantes", sugerindo um potencial crescente para o óleo de açaí na indústria de cosméticos. O emprego de vegetais surgiu como uma tendência no mercado de cosméticos, refletida em um aumento nos pedidos de patentes. Uma pesquisa investigou a aplicação inovadora de plantas e seus extratos em tecnologias cosméticas, utilizando o Derwent World Patents Index de 1995 a 2015. A análise revelou um incremento no número de solicitações envolvendo ingredientes vegetais para produtos cosméticos, especialmente para tratamentos antienvhecimento e clareamento da pele (César, Carnevale Neto, Porto e Campos, 2017).

Outros 8 registros (A61P) foram classificados como "Atividade terapêutica de compostos químicos ou de preparações medicinais", evidenciando o interesse em explorar as propriedades terapêuticas do óleo de açaí para possíveis aplicações medicinais. Esses resultados destacam a versatilidade e o potencial do óleo de açaí em uma variedade de campos. É importante ressaltar que as formulações de plantas medicinais têm sido usadas em medicamentos tradicionais há milhares de anos. A medicina à base de plantas ainda é uma das principais fontes de novas drogas e os tratamentos à base de plantas são altamente lucrativos no mercado internacional. A fusão do conhecimento moderno e tradicional leva a correlações, elucidações e insights com um grande potencial de descoberta patenteável (Pennyroyal, Dhondup e Husted, 2011).



Figura 2: Gráfico referente a frequência de Classificação Internacional de Patentes (CIP) nas bases de dados do INPI, WIPO e Derwent, utilizando óleo de *Euterpe oleracea* (açaí) na última década (2014-2023)



Fonte: Autores, 2024

4 CONCLUSÃO

Ao longo da última década, a prospecção tecnológica sobre o uso do óleo de açaí (*Euterpe oleracea*) revelou importante potencial amazônico para o desenvolvimento de bioprodutos. A pesquisa demonstrou a aplicação na indústria cosmética, farmacêutica e alimentícia, destacando a versatilidade e os benefícios desse recurso natural. Considerando o crescente interesse e investimento nesse campo, é evidente que o potencial do açaí na economia e na inovação tecnológica é significativo, representando uma valiosa contribuição para o desenvolvimento sustentável da região amazônica.

A supremacia do Brasil no que diz respeito ao maior número de patentes relacionadas ao óleo da *Euterpe* (açaí), principalmente depositadas por instituições de ensino superior, é um reflexo do potencial científico e inovador presente nas universidades e centros de pesquisa do país. Esse cenário ressalta o papel fundamental das instituições acadêmicas no desenvolvimento de tecnologias e na geração de conhecimento aplicado. Além disso, demonstra o compromisso dessas instituições em explorar e valorizar os recursos naturais brasileiros de maneira sustentável, buscando soluções inovadoras para desafios locais e globais. Portanto, é essencial continuar incentivando e apoiando as atividades de pesquisa nas instituições de ensino superior, promovendo parcerias estratégicas entre academia, indústria e governo, para garantir que o conhecimento científico e tecnológico gerado contribua efetivamente para o progresso social, econômico e ambiental do Brasil e do mundo.



Embora a prospecção tecnológica sobre o óleo de açaí ofereça informações importantes sobre suas aplicações potenciais e oportunidades de desenvolvimento de bioprodutos, é fundamental reconhecer algumas limitações inerentes a esse tipo de análise. Primeiramente, a qualidade e a disponibilidade dos dados utilizados na prospecção podem variar, podendo influenciar a precisão das conclusões. Outra limitação está relacionada à amplitude do escopo da prospecção, que pode não capturar todas as tendências emergentes no campo do óleo de açaí. Ademais, é importante considerar que a prospecção tecnológica é uma ferramenta complementar e não definitiva, requerendo análises adicionais e avaliações de viabilidade técnica, econômica e ambiental.

REFERÊNCIAS

ANTUNES, Adelaide Maria de Souza; ALENCAR, Maria Simone de Menezes; SILVA, Cicera Henrique da; NUNES, Jeziel; MENDES, Flavia Maria Lins. Trends in Nanotechnology Patents Applied to the Health Sector. **Recent Patents On Nanotechnology**, [S.L.], v. 6, n. 1, p. 29-43, 1 jan. 2012. Bentham Science Publishers Ltd.. <http://dx.doi.org/10.2174/187221012798109309>.

BARBOSA, Jhonatas Rodrigues; CARVALHO JUNIOR, Raul Nunes de. Food sustainability trends - How to value the açaí production chain for the development of food inputs from its main bioactive ingredients? **Trends In Food Science & Technology**, [S.L.], v. 124, p. 86-95, jun. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2022.04.005>.

BRASIL. Lei Nº 9.279, de 14 de Maio de 1996. Dispõe sobre a Regulação de direitos e obrigações relativos à propriedade industrial. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 1996.

CÉSAR, Francine Celise Siqueira; CARNEVALE NETO, Fausto; PORTO, Geciane Silveira; CAMPOS, Patricia Maia. Patent analysis: a look at the innovative nature of plant-based cosmetics. **Química Nova**, Ribeirão Preto, v. 40, n. 7, p. 840-847, 24 fev. 2017. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170022>.

CHAE, Soohyeon; GIM, Jangwon. A Study on Trend Analysis of Applicants Based on Patent Classification Systems. **Information**, [S.L.], v. 10, n. 12, p. 364, 23 nov. 2019. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/info10120364>.

CLARIVATE. **Derwent Innovations Index on Web of Science**: identify technological advances and forecast technological trends. Identify technological advances and forecast technological trends. 2024. Disponível em: <https://clarivate.com/products/scientific-and-academic-research/research-discovery-and-workflow-solutions/webofscience-platform/derwent-innovations-index-on-web-of-science/>. Acesso em: 10 jan. 2024.

FAVACHO, Hugo A. S.; OLIVEIRA, Bianca R.; SANTOS, Kelem C.; MEDEIROS, Benedito J. L.; SOUSA, Pergentino J. C.; PERAZZO, Fabio F.; CARVALHO, José Carlos T.. Anti-inflammatory and antinociceptive activities of Euterpe oleracea Mart., Arecaceae, oil. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, [S.L.], v. 21, n. 1, p. 105-114, fev. 2011. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-695x2011005000007>.

HEGDE, Deepak; HERKENHOFF, Kyle; ZHU, Chenqi. Patent Publication and Innovation. **Journal Of Political Economy**, [S.L.], v. 131, n. 7, p. 1845-1903, 1 jul. 2023. University of Chicago Press. <http://dx.doi.org/10.1086/723636>.

MACIEL-SILVA, Francisco W; BULLER, Luz s; GONÇALVES, Maria L M B B; A ROSTAGNO, Mauricio; FORSTER-CARNEIRO, Tânia. Sustainable development in the Legal Amazon: energy recovery from açaí seeds. **Biofuels, Bioproducts And**

Biorefining, [S.L.], v. 15, n. 4, p. 1174-1189, 12 abr. 2021. Wiley.
<http://dx.doi.org/10.1002/bbb.2222>.

MAGALHÃES, Thalita Sévia Soares de Almeida; MACEDO, Pollyana Cristina de Oliveira; PACHECO, Stephany Yumi Kawashima; SILVA, Sofia Santos da; BARBOSA, Euzébio Guimarães; PEREIRA, Rayanne Rocha; COSTA, Roseane Maria Ribeiro; SILVA JUNIOR, José Otávio Carrera; FERREIRA, Marília Andreza da Silva; ALMEIDA, José Cezário de. Development and Evaluation of Antimicrobial and Modulatory Activity of Inclusion Complex of Euterpe oleracea Mart Oil and β -Cyclodextrin or HP- β -Cyclodextrin. **International Journal Of Molecular Sciences**, [S.L.], v. 21, n. 3, p. 942, 31 jan. 2020. MDPI AG.
<http://dx.doi.org/10.3390/ijms21030942>.

MARQUES, E.s.; FRODER, J.G.; CARVALHO, J.C.T.; ROSA, P.C.P.; PERAZZO, F.F.; MAISTRO, E.L.. Evaluation of the genotoxicity of Euterpe oleraceae Mart. (Arecaceae) fruit oil (açai), in mammalian cells in vivo. **Food And Chemical Toxicology**, [S.L.], v. 93, p. 13-19, jul. 2016. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.fct.2016.04.018>.

MAY, Christopher. The world intellectual property organization. **New Political Economy**, [S.L.], v. 11, n. 3, p. 435-445, set. 2006. Informa UK Limited.
<http://dx.doi.org/10.1080/13563460600841140>.

MORAES, José Reinaldo da Silva Cabral de; ROLIM, Glauco de Souza; MARTORANO, Lucieta Guerreiro; APARECIDO, Lucas Eduardo de Oliveira; OLIVEIRA, Maria do Socorro Padilha de; FARIAS NETO, João Tome de. Agrometeorological models to forecast açai (Euterpe oleracea Mart.) yield in the Eastern Amazon. **Journal Of The Science Of Food And Agriculture**, [S.L.], v. 100, n. 4, p. 1558-1569, 19 dez. 2019. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.10164>.

OLIVEIRA, Maria do S.P. de; SCHWARTZ, Gustavo. Açai— Euterpe oleracea. **Exotic Fruits**, [S.L.], p. 1-5, 2018. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-803138-4.00002-2>.

PARK, Michael; LEAHEY, Erin; FUNK, Russell J.. Papers and patents are becoming less disruptive over time. **Nature**, [S.L.], v. 613, n. 7942, p. 138-144, 4 jan. 2023. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/s41586-022-05543-x>.

PENNYROYAL, Greg; DHONDUP, Lobsang; HUSTED, Cynthia. A Review of Medicinal Plant Patents. **Recent Patents On Biomedical Engineering**, [S.L.], v. 4, n. 2, p. 126-138, 1 ago. 2011. Bentham Science Publishers Ltd..
<http://dx.doi.org/10.2174/1874764711104020126>.

RAGHUPATHI, Viju; RAGHUPATHI, Wullianallur. Innovation at country-level: association between economic development and patents. **Journal Of Innovation And Entrepreneurship**, [S.L.], v. 6, n. 1, p. 1-20, 27 fev. 2017. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1186/s13731-017-0065-0>.

SILVA, Marcos Antonio Custódio Neto da; NASCIMENTO, Maria do Desterro Soares Brandão; CARVALHO, João Ernesto de. Traditional Uses, Phytochemistry, Pharmacology and Anticancer Activity of Açaí (*Euterpe oleracea* Mart): a narrative review. **Current Traditional Medicine**, [S.L.], v. 7, n. 5, p. 41-62, out. 2021. Bentham Science Publishers Ltd.. <http://dx.doi.org/10.2174/221508380699200508081308>.

SILVA, Marcos Antonio Custódio Neto da; TESSMANN, Josiane Weber; BORGES, Kátia Regina Assunção; WOLFF, Laís Araújo Souza; BOTELHO, Fernanda Diniz; VIEIRA, Leandro Alegria; MORGADO-DIAZ, Jose Andres; FRANCA, Tanos Celmar Costa; BARBOSA, Maria do Carmo Lacerda; NASCIMENTO, Maria do Desterro Soares Brandão. Açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) Seed Oil Exerts a Cytotoxic Role over Colorectal Cancer Cells: insights of annexin a2 regulation and molecular modeling. **Metabolites**, [S.L.], v. 13, n. 7, p. 789, 25 jun. 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/metabo13070789>.

SOARES, Thiago J.; TORKOMIAN, Ana L.V.; NAGANO, Marcelo Seido. University regulations, regional development and technology transfer: the case of Brazil. **Technological Forecasting And Social Change**, [S.L.], v. 158, p. 120129, set. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120129>.

SOUZA, Belmira S. Faria e; CARVALHO, Helison O.; FERREIRA, Irlon M.; CUNHA, Edilson L. da; BARROS, Albenise Santana; TAGLIALEGNA, Talisson; CARVALHO, José C.T.. Effect of the treatment with *Euterpe oleracea* Mart. oil in rats with Triton-induced dyslipidemia. **Biomedicine & Pharmacotherapy**, [S.L.], v. 90, p. 542-547, jun. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biopha.2017.04.005>.

SOUZA, Belmira S. Faria e; CARVALHO, Helison O.; TAGLIALEGNA, Talisson; BARROS, Albenise Santana A.; CUNHA, Edilson Leal da; FERREIRA, Irlon Maciel; KEITA, Hady; NAVARRETE, Andres; CARVALHO, José Carlos Tavares. Effect of *Euterpe oleracea* Mart. (Açaí) Oil on Dyslipidemia Caused by *Cocos nucifera* L. Saturated Fat in Wistar Rats. **Journal Of Medicinal Food**, [S.L.], v. 20, n. 9, p. 830-837, set. 2017. Mary Ann Liebert Inc. <http://dx.doi.org/10.1089/jmf.2017.0027>.

SUZUKI, Katsuhiko; SAKATA, Junichi; HOSOYA, Jun. Innovation Position: a quantitative analysis to evaluate the efficiency of research and development on the basis of patent data. **Proceedings Of The 41st Annual Hawaii International Conference On System Sciences (Hicss 2008)**, [S.L.], p. 1-20, jan. 2008. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/hicss.2008.207>.

TEIXEIRA-COSTA, Bárbara Elisabeth; PEREIRA, Bárbara Cristina Silva; LOPES, Gisela Kloc; ANDRADE, Cristina Tristão. Encapsulation and antioxidant activity of assai pulp oil (*Euterpe oleracea*) in chitosan/alginate polyelectrolyte complexes. **Food Hydrocolloids**, [S.L.], v. 109, p. 106097, dez. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106097>.

Zhang JJ, Chen SH, Zhu YL, Wang C, Wang JX, Wang LY, Gao XM. [Efficacy analysis and theoretical study on Chinese herbal properties of Açaí (*Euterpe oleracea*)]. *Zhongguo Zhong Yao Za Zhi*. 2015 Jun;40(11):2258-64. Chinese. PMID: 26552192.

APÊNDICE B - ARTIGO SUBMETIDO

Título: Characterization of Biodegradable Films Produced from Mixtures of Alginate and Açai Oil (*Euterpe oleracea*) with antifungal properties.

Periódico: Journal of Applied Polymer Science

Qualis: A1 – Biotecnologia

Área de Avaliação:

ISSN:

Título:

☒ Journal of Applied Polymer Science

Classificação:

ISSN	Título	Área com publicação no quadriênio	Classificação	Área mãe
0021-8995	JOURNAL OF APPLIED POLYMER SCIENCE (PRINT)	ARQUITETURA, URBANISMO E DESIGN	A1	ENGENHARIAS II
1097-4628	JOURNAL OF APPLIED POLYMER SCIENCE (ONLINE)	ASTRONOMIA / FÍSICA	A1	ENGENHARIAS II
0021-8995	JOURNAL OF APPLIED POLYMER SCIENCE (PRINT)	ASTRONOMIA / FÍSICA	A1	ENGENHARIAS II
0021-8995	JOURNAL OF APPLIED POLYMER SCIENCE (PRINT)	BIODIVERSIDADE	A1	ENGENHARIAS II
1097-4628	JOURNAL OF APPLIED POLYMER SCIENCE (ONLINE)	BIOTECNOLOGIA	A1	ENGENHARIAS II
0021-8995	JOURNAL OF APPLIED POLYMER SCIENCE (PRINT)	BIOTECNOLOGIA	A1	ENGENHARIAS II
0021-8995	JOURNAL OF APPLIED POLYMER SCIENCE (PRINT)	CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO	A1	ENGENHARIAS II
1097-4628	JOURNAL OF APPLIED POLYMER SCIENCE (ONLINE)	CIÊNCIA DE ALIMENTOS	A1	ENGENHARIAS II

Journal of Applied Polymer Science
Characterization of Biodegradable Films Produced from Mixtures of Alginate and Açai
Oil (*Euterpe oleracea*) with antifungal properties.
 --Manuscript Draft--

Manuscript Number:	app.20241282
Article Type:	Research Article
Corresponding Author:	Eliakim do Nascimento Mendes, MD Universidade Federal do Maranhão São Luís, Maranhão BRAZIL
Corresponding Author E-Mail:	eliakim.nutri@hotmail.com
Order of Authors (with Contributor Roles):	Eliakim do Nascimento Mendes, MD (Conceptualization: Lead; Investigation: Lead; Methodology: Lead; Validation: Lead; Writing – original draft: Lead) Amaury Vieira Cruz Moraes (Methodology: Supporting) João Victor Veras da Fonseca (Methodology: Supporting) Allysson Kayron de Carvalho Silva (Formal analysis: Supporting; Methodology: Equal) Audirene Amorim Santana Paixão, PhD (Supervision: Lead; Writing – review & editing: Equal) Juliana Moura Mendes, Phd (Supervision: Equal; Writing – review & editing: Equal) Maria do Desterro Soares Brandão Nascimento, Phd (Resources: Equal; Writing – review & editing: Lead)
Manuscript Classifications:	Biodegradable; Biomaterials; Biopolymers and Renewable Polymers
Section/Category:	No
Abstract:	The study aimed to develop polymeric films incorporating açai oil for potential applications in food packaging, analyzing physicochemical, mechanical, antioxidant, and antifungal properties. The açai palm tree, native to the Amazon region, is recognized for its oil rich in bioactive compounds, with beneficial health properties, including antimicrobial and antifungal activity. The preparation process involved dissolving sodium alginate in distilled water, mixing with açai oil, adding glycerol and dihydrate calcium chloride, followed by solution deposition onto Petri dishes and drying in an oven. The films were evaluated for continuity, homogeneity, transparency, flexibility, moisture content, solubility, thickness, and water vapor permeability. Results indicated that the formulated films were suitable, with good continuity, homogeneity, and flexibility. Moisture content varied between 10.59% and 44.01%, correlating with glycerol concentration. Water solubility ranged from 4.89% to 52.94%, with positive quadratic effects of alginate concentration and linear effects of glycerol and açai oil concentration. Higher glycerol concentrations increased moisture content, while higher açai oil concentrations resulted in lower moisture content. Four formulations exhibited good antifungal parameters against the <i>Curvularia</i> fungus. In summary, polymeric films incorporated with açai oil showed promise for applications in food packaging, with suitable physicochemical properties and antifungal action influenced by component concentration.
Suggested Reviewers:	Antonio Carlos Romao Borges Federal University of Maranhão romao.antonio@ufma.br Louryval Coelho Paixão Federal University of Maranhão louryval.paixao@ufma.edu.br
Opposed Reviewers:	
Author Comments:	
Additional Information:	

Characterization of Biodegradable Films Produced from Mixtures of Alginate and açai oil (*Euterpe oleracea*) with antifungal properties

ABSTRACT

The study aimed to develop polymeric films incorporating açai oil for potential applications in food packaging, analyzing physicochemical, mechanical, antioxidant, and antifungal properties. The açai palm tree, native to the Amazon region, is recognized for its oil rich in bioactive compounds, with beneficial health properties, including antimicrobial and antifungal activity. The preparation process involved dissolving sodium alginate in distilled water, mixing with açai oil, adding glycerol and dihydrate calcium chloride, followed by solution deposition onto Petri dishes and drying in an oven. The films were evaluated for continuity, homogeneity, transparency, flexibility, moisture content, solubility, thickness, and water vapor permeability. Results indicated that the formulated films were suitable, with good continuity, homogeneity, and flexibility. Moisture content varied between 10.59% and 44.01%, correlating with glycerol concentration. Water solubility ranged from 4.89% to 52.94%, with positive quadratic effects of alginate concentration and linear effects of glycerol and açai oil concentration. Higher glycerol concentrations increased moisture content, while higher açai oil concentrations resulted in lower moisture content. Four formulations exhibited good antifungal parameters against the *Curvularia* fungus. In summary, polymeric films incorporated with açai oil showed promise for applications in food packaging, with suitable physicochemical properties and antifungal action influenced by component concentration.

Palavras-chave: Biopolímeros; Biodegradável; *Euterpe oleracea*; antifungal

Introdução

Euterpe oleracea is the açai palm tree, a species belonging to the Arecaceae family, native to various countries in the Amazon region of Central and Tropical South America, including Brazil, Ecuador, and Venezuela¹. Brazil has become its producer and the world's largest exporter, meeting the increasing rates of fruit consumption². Data from the Brazilian Agricultural Research Corporation indicate that Maranhão is the third-largest producer of açai in the country, with Pará and Amazonas in first and second place, respectively³.

The açai seed constitutes 80% to 95% of the overall proportions of the fruit⁴. At maturity, an individual açai berry measures 1.5 to 2.0 cm in width with black and purple coloring². A variety of fatty acids have been identified in nutritional composition assays of açai⁵. Although unsaturated fatty acids are predominantly present, saturated forms (e.g., lauric acid, palmitoleic acid, palmitic acid, myristic acid) are also present⁶.

The high content of polyphenols in açai has been associated with antimicrobial activity⁴. A study investigated the effects of açai oil complex against *Escherichia coli*,

Pseudomonas aeruginosa, *Streptomyces aureus*, and *Enterococcus faecalis*⁷. Furthermore, hydroalcoholic extracts produced from dried pulp, leaves, and seeds of açai demonstrated significant antimicrobial activity against *Clostridium perfringens*, *S. aureus*, and *P. aeruginosa*⁸. Another highlighted potential is its antifungal activity.

A study conducted by Borges⁹ in Maranhão also demonstrated that *Euterpe oleracea* extract exhibited adhesion and biofilm removal properties against *Aspergillus fumigatus* on abiotic surfaces. Considering the antimicrobial, antifungal activities, chemical, and nutritional properties, açai oil has also been studied in the development of films, especially for use in food packaging¹⁰.

According to Buratto¹¹, açai, due to its nutritional composition rich in antioxidants, grants the oil derived from this fruit a strategic position. The multifaceted use of açai, beyond its dietary use, drives a sustainable approach in polymer film manufacturing. The pursuit of synergy between the properties of açai oil and the demands of the packaging industry aligns with a broader movement towards bioeconomy and environmental responsibility.

Food packaging can be developed for different purposes, such as passive packaging, active packaging, and sustainable or green packaging¹². It can also be incorporated with bioactive additives, which interact with foods to improve their quality and shelf life¹³. Different natural substances, such as polyphenols, carotenoids, and polyunsaturated fatty acids, can be used for preservation purposes and may also exhibit beneficial properties for consumers' health¹⁴. Thus, açai oil becomes promising for the development of biofilms with antifungal characteristics.

The transition to a more sustainable packaging industry, employing açai oil in biofilms, will require a balance between technical innovation, economic viability, and environmental imperatives¹⁵. In this context, the objective of this study is to develop and characterize polymeric films incorporated with açai oil with antifungal characteristics.

Material and Methods

Materials

The following items were used to develop the biopolymers films: sodium alginate (A-2033, average molar mass of 90 kDa, intrinsic viscosity of 690 mL/g at 25 °C, composed of 61% mannuronic acid and 39% guluronic acid), obtained from Sigma-Aldrich (USA); glycerol from Synth (Diadema, Brazil); calcium chloride dihydrate from Merck

(Darmstadt, Germany); the açaí oil was acquired from the company Harmonie Aromatherapy LTDA (Florianópolis, Santa Catarina, Brazil).

Production of the Composites, Experimental Design, and Analyses

The films were obtained according to adaptations of the methods established^{16,17,18}. In the preparation of the solution, the matrix (Purified Sodium Alginate) was dissolved in 200ml of distilled water (quantity obtained from preliminary tests) and placed under agitation at 2000 rpm at room temperature for 30 min. Then, the plasticizer glycerol (according to the experimental design) was added and agitated for 1 h at the same rotation. After this interval, a quantity of solution of dihydrated calcium chloride was added for an additional 15 min, maintaining the temperature at 40°C¹⁷. The heated gel was mixed with açaí oil (according to the experimental design) and deposited into 15 cm diameter Petri dishes, which were then placed for drying at 40°C in an oven with forced convection for 24 h (SP Labor, model 1911, Brazil). Subsequently, the material was removed from the dishes and stored in a desiccator at 52% RH for 48 h before being subjected to characterization.

Visual Aspect

A subjective analysis was carried out in order to evaluate the visual aspects of the composite films, analyzing the visual parameters of homogeneity (absence of insoluble particles and uniform color), ease of removing from the support, transparency and flexibility. Films not presenting these characteristics were disposed of.

Moisture Content (ω)

A gravimetric method was used drying in an oven (Solar, SL-100A, Brazil) at 105 °C for 24 h according to the AOAC methodology n° 926.12¹⁹. The moisture content was determined in triplicate for each formulation and expressed as the mass fraction after calculating the mean.

$$\omega = \left(\frac{m_i - m_f}{m_i} \right) \times 100$$

Water Solubility (S)

This was determined in triplicate using the adapted methodology²⁰, in which the masses determined for each composite film (m_i) were immersed in 50 mL distilled water and shaken constantly in a table shaker (model 3545–40-EA, Termo Fisher Sci Inc., USA) for 24 h at room temperature 25 °C (± 2 °C). The material was then dried in an oven (Nova Técnica, model 400-1ND, Brazil), at 105 °C for 24 h to obtain the dry mass (m_f), and the solubility calculated according to Eq. 1:

$$S = \left(\frac{m_i - m_f}{m_i} \right) \times 100$$

Thickness (δ)

This was determined using a digital micrometer (model MDC-25S, Mitutoyo, Japan) with a resolution of 0.01 mm, taking ten measurements at different symmetrical points in a total area of 50.3 cm².

Water Vapor Permeability (WVP)

The water vapor permeability (WVP) was determined using a gravimetric method according to the methodology E95–96²¹. Rectangular samples with areas of approximately 36 cm² were cut from each composite film and placed on acrylic pots filled to the brim with anhydrous calcium chloride (Êxodo, Brazil) to maintain the moisture content inside the pot at approximately 0%. The composites were carefully placed on top of the pots, which were then placed in another flask containing a NaCl solution (Synth, Brazil) at the bottom to establish a relative humidity of 75%, thus obtaining a difference in the vapor pressure. The rate of increase of the total mass of the composite film was obtained by monitoring the measurements for 72 h to obtain the permeability of water through the film. The WVP values were obtained using Eq. 2:

$$WVP = \left(\frac{\varphi \delta}{A_e \Delta P_w} \right) F$$

Where δ is the thickness of the composite film (mm), G the water permeability rate (g/day), calculated from the linear regression of the ratio of mass per time, A_e is the area

of the film surface exposed (m), ΔP_a is the partial pressure of the water through the composite (kPa). F is a correction factor which takes into account the additional resistance to the transfer of a mass of water vapor through a film stagnated with air between the surface of the calcium chloride layer and the film. For the methodology used, this correction was very close to 1.0 and was not considered.

Evaluation of Antifungal Activity

The in vitro antifungal activity of the films was conducted according to Muñoz-Tébar²². ATCC cultures of *Curvularia* were provided by the Mycology Laboratory of the Basic and Applied Immunology Center at the Federal University of Maranhão. The molds were cultured and incubated on Potato Dextrose Agar (PDA, Merck, Darmstadt, Germany) at 25°C until sporulation and used after 7 days of active growth. The antifungal capacity of the films against the selected molds was assessed by spreading 100 µL of each inoculum ($1-2 \times 10^6$ cfu/mL) onto Petri dishes. Subsequently, 10 mm diameter film discs were placed in the center of the Petri dishes. Later, the plates were incubated at 25°C for 7 days, and mold growth was evaluated by measuring the diameter of the inhibition halos (4 measurements for each plate) in millimeters using ImageJ software v1.52a. The experiment was conducted in duplicate, and the percentage inhibition of growth was calculated using the following equation:

$$\% \text{ Growth Inhibition} = [(A_c - A_e)/A_c] \times 100$$

where A_c is the growth zone of the control plate (without oil), and A_e is the growth zone of the plates containing film discs with oil.

Results and Discussion

Visual and tactile aspects:

The results of continuity assessments (absence of breaks and fractures after drying), homogeneity (absence of insoluble particles or visible to the naked eye, or zones of opacity or differentiated colors), transparency, and flexibility (ability of the membrane to fold until it breaks) of the different tests classified that the central point assays have the most suitable formulation for the development of polymer film incorporated with açai pulp oil (Figure 1 and Table 1).

Regarding color and odor, all films presented a color ranging from light yellow to dark, corresponding to the color of alginate and açai pulp oil, increasing in shade with oil concentration, and pleasant açai characteristic aroma. Recent studies^{17,23}, it is essential for the films to have visually appealing appearance, with uniform coloration and free from ruptures. Studying the design and characterizations of chitosan-based films incorporated with essential oil of *Satureja hortensis* L. for active packaging²⁴, revealed that the increase in color difference was strongly correlated with oil concentration.

Figure 1: Polymeric films incorporated with açai pulp oil.

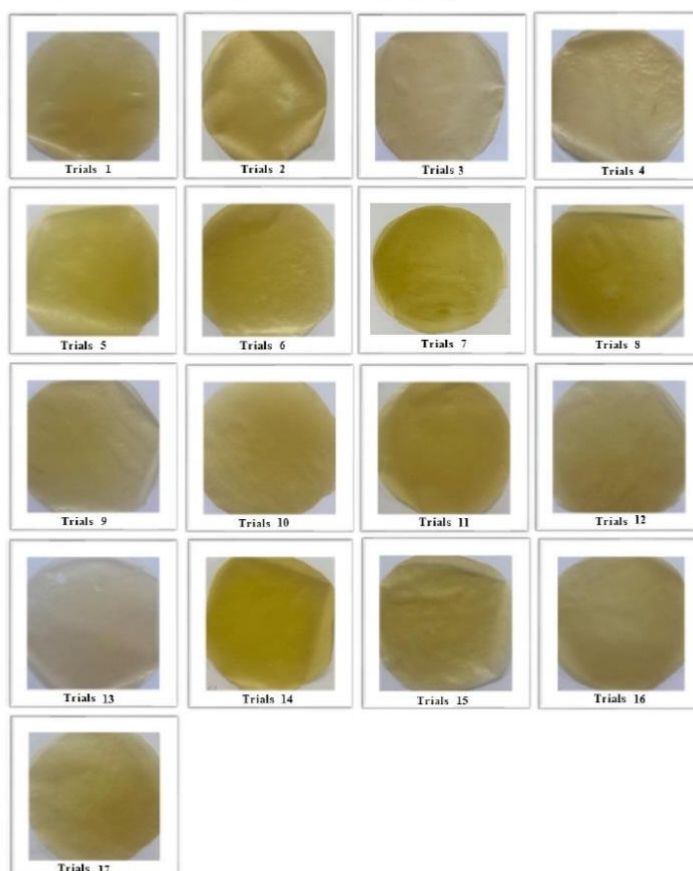


Table 1: Subjective evaluation of biopolymer formulations incorporated with açai pulp oil.

Trial	Continuity	Homogeneity	Transparency	Flexibility
1	++++	+++	+++	++++
2	+++	++	++++	++
3	+++	++++	++++	++++
4	+++	+++	++++	++++
5	++	++	++	+++
6	+++	++++	+	++
7	++++	+++	+++	++++
8	++++	+++	++	++++
9	++++	+++	++++	++++
10	++++	++++	++	+++
11	++++	+++	+	+
12	++++	++++	+++	++++
13	++	++++	++++	++++
14	+	+++	+	++++
15	+++	+++	+++	++++
16	+++	+++	+++	++++
17	+++	+++	+++	++++

++++ excellent, +++ good, ++ fair, + poor.

According to Bonilla et al.²⁵, who investigated the impact of combining basil and thyme oils on the physical properties of chitosan-based films, the results revealed that films composed with essential oils had a smoother texture, lower stiffness, and higher elasticity compared to films purely based on chitosan, which did not contain oil. Additionally, the film's glossiness was reduced by the addition of essential oil.

Moisture Content and Water Solubility

It was observed that moisture contents ranged from 10.59 to 44.01% (Table 2), referring to formulations 12 (8.0 g of alginate, 6.0 mL of glycerol, and 3.0 mL of açai pulp oil) and 3 (6.8 g of alginate, 4.8 mL of glycerol, and 1.2 mL of açai pulp oil), respectively. Similar moisture values were obtained^{17,23}, studying alginate-based films with added bee pollen and mesocarp films of babassu coconut and alginate plasticized with glycerol, respectively.

Assays 3, 4, 7, 8, and 12, which have higher concentrations of glycerol, exhibited the highest moisture contents. This was expected since glycerol is a highly hydrophilic compound²⁶. Glycerol is widely used as a plasticizer in the production of natural polymeric films, despite its hydrophilic properties²⁷. Its composition includes three hydroxyl groups, giving it hygroscopic properties and water solubility.

The assays conducted in this study did not show a correlation between moisture content and sodium alginate concentration. Nonetheless, it's important to highlight that

the hydrophilic characteristic of sodium alginate is widely exploited in various industrial applications, such as in the food, pharmaceutical, and biomedical industries. This polysaccharide is employed in the formulation of gels, thickeners, stabilizers, edible films, among other uses²⁸.

Similar results were obtained^{22,29}, evaluating films produced from de-fatted chia seed mucilage, enriched with essential oils of oregano (*Origanum vulgare*) and *Satureja montana*, and edible films made from basil seed gum containing oregano essential oil, respectively, observing a proportional increase in moisture content as the concentration of oils increased.

Polymeric films are designed with specific solubility properties to meet the requirements of their application³⁰. The solubility of polymeric films is influenced by factors such as the chemical composition of the polymer, molecular structure, manufacturing method, and environmental conditions such as temperature and humidity²⁷.

The water solubility of the films showed variation in values, which can be observed in the statistical analysis, ranging from 4.89% (referring to assay 2: 9.1 g of alginate, 1.2 mL of glycerol, and 1.2 mL of açai pulp oil) to 52.94% (referring to assay 3: 6.8 g of alginate, 4.8 mL of glycerol, and 1.2 mL of açai pulp oil). Raposo et al.¹⁸, on the other hand, obtained values ranging from 5.96% to 51.01% for films with alginate and babassu coconut mesocarp, values that are within the range found in this study. Janjarasskul et al.³¹ emphasized that films with high solubility content are applied as packaging that requires rapid degradation, or do not require low water solubility contents, such as dry or dehydrated foods that have lower water activity, for example.

The progressive increase in oil concentration in polymeric films can lead to a significant reduction in solubility, as highlighted by recent studies^{24,32,33}. Overall, emulsified films demonstrate great potential to be used as primary and/or secondary packaging³⁴.

Table 2. Responses obtained for the experimental designs to composites films

Design point	Independent variables*			Dependent variables			
	SA (g)	G (mL)	AO (mL)	ω (% w.w.b)	S (% w.w.b)	σ (mm)	WVP (g.mm/m ² .dia.kPa)
1	6.8 (-1)	1.2 (-1)	1.2 (-1)	17.665±0.819 ^e	28.609±2.536 ^d	0.163±0.011 ^a	5.118±1.046 ^a
2	9.1 (+1)	1.2 (-1)	1.2 (-1)	15.423±0.571 ^c	4.889±0.615 ^a	0.197±0.007 ^a	6.772±0.235 ^a
3	6.8 (-1)	4.8 (+1)	1.2 (-1)	44.010±0.322 ^k	52.939±0.209 ^j	0.147±0.026 ^a	5.713±1.017 ^a
4	9.1 (+1)	4.8 (+1)	1.2 (-1)	39.342±0.553 ^l	40.292±0.796 ^h	0.170±0.018 ^a	7.547±1.926 ^{ab}
5	6.8 (-1)	1.2 (-1)	4.8 (+1)	11.312±0.664 ^a	17.662±1.005 ^c	0.204±0.011 ^a	8.152±0.908 ^b
6	9.1 (+1)	1.2 (-1)	4.8 (+1)	12.174±0.144 ^b	38.209±0.179 ^g	0.229±0.041 ^b	8.389±2.238 ^b
7	6.8 (-1)	4.8 (+1)	4.8 (+1)	19.910±0.657 ^f	44.425±0.305 ⁱ	0.233±0.008 ^b	9.653±2.372 ^c
8	9.1 (+1)	4.8 (+1)	4.8 (+1)	36.561±0.236 ^l	44.691±0.197 ⁱ	0.266±0.040 ^d	10.222±1.521 ^{cd}
9	6 (-1.68)	3 (0)	3 (0)	36.286±0.799 ^j	44.648±0.659 ^j	0.180±0.028 ^a	6.948±0.798 ^a
10	10 (+1.68)	3 (0)	3 (0)	25.789±1.264 ^h	43.302±0.772 ⁱ	0.245±0.012 ^c	8.661±0.700 ^b
11	8 (0)	0 (-1.68)	3 (0)	26.207±0.183 ^h	31.844±0.286 ^e	0.230±0.014 ^b	8.350±1.132 ^b
12	8 (0)	6 (+1.68)	3 (0)	10.587±0.812 ^a	14.051±1.238 ^b	0.238±0.007 ^b	8.908±0.552 ^{bc}
13	8 (0)	3 (0)	0 (-1.68)	32.967±0.712 ⁱ	40.770±1.067 ^h	0.243±0.006 ^c	10.206±1.301 ^{cd}
14	8 (0)	3 (0)	6 (+1.68)	16.124±0.121 ^d	37.373±0.118 ^f	0.299±0.010 ^e	11.699±0.309 ^d
15	8 (0)	3 (0)	3 (0)	19.999±0.218 ^f	59.854±5.225 ^j	0.252±0.017 ^{cd}	8.481±0.719 ^b
16	8 (0)	3 (0)	3 (0)	19.946±0.654 ^f	45.467±2.032 ^{ij}	0.227±0.009 ^b	5.648±0.800 ^a
17	8 (0)	3 (0)	3 (0)	23.296±0.588 ^g	47.906±5.629 ^j	0.233±0.010 ^b	9.394±0.690 ^c

SA – Sodium Alginate; G – Glycerol; AO – Oil Açai; ω – moisture content; S: water solubility; σ: thickness; WVP: water vapor permeability. *The independent variables correspond to the real values. Values enclosed in parentheses correspond to the coded values. Means with lowercase letters in each column indicate that there is no significant difference at (p≤0.05) according to Tukey's test

1 For moisture content, the concentration of alginate showed positive and
2 quadratic effects, while linear effects were observed for glycerol concentrations (positive
3 effect) and açai pulp oil concentrations (negative effect), as shown in Table 3. Regarding
4 glycerol concentration, it indicates that higher quantities result in higher moisture content.
5 Conversely, higher concentrations of açai pulp oil lead to lower moisture content. At a
6 95% confidence level, there was still a significant positive effect of the interaction
7 between alginate concentration and açai pulp oil concentration, indicating that all
8 independent variables were important for this response.
9

10 The model for moisture content showed significant regression at a 95%
11 confidence level (Calculated F < Tabulated F) but lacked fit with respect to the pure error
12 (Calculated F higher than Tabulated F). This occurred because the mean square (MS) of
13 the pure error had a much lower value than the MS of the lack of fit (due to good
14 repeatability of assays at central points). This results in a very high ratio between them.
15 Therefore, the adjusted model for moisture content of alginate biopolymers added with
16 glycerol and açai pulp oil was considered non-predictive and lacked fit. However,
17 analyzing solubility, the model showed a Calculated F higher than Tabulated F and no
18 lack of fit (Calculated F lower than Tabulated F), making the model predictive.
19

20 In Figure 2, the response surface plots and contour curves for moisture content
21 and water solubility of alginate biopolymers added with glycerol and açai pulp oil are
22 depicted. Lower moisture values were found around 8.0 to 9.0g of alginate, at lower
23 glycerol concentrations, and around 3.0 to 4.5 mL of açai pulp oil. However, lower
24 solubilities were obtained at higher concentrations of alginate and açai pulp oil and lower
25 concentrations of glycerol, with the presence of glycerol being more significant than the
26 different concentrations of alginate or açai pulp oil.
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65

Table 3: Coded second-order regression coefficients and analysis of variance for experimental design responses.

Regression coefficients	ω (%, w.w.b)	S (%, w.w.b)	σ (mm)	WVP (g.mm/m ² .dia.kPa)
β_0	21.101	51.102	0.240	7.938
β_1	NS	NS	0.017	NS
β_2	4.173	NS	-0.018	NS
β_3	-4.746	NS	0.026	1.009
β_{11}	3.448	NS	NS	NS
β_{22}	NS	-10.037	NS	NS
β_{33}	NS	-4.336	NS	NS
β_{12}	NS	NS	NS	NS
β_{13}	3.053	7.148	NS	NS
β_{23}	NS	NS	NS	NS
R^2	0.931	0.970	0.989	0.961
F_c (regression/residuals)	1.251	4.417	6.992	5.975
F_t (regression/residuals)	3.290	3.410	3.260	3.740
F_c (lack of fit/pure error)	33.909	2.272	4.224	0.434
F_t (lack of fit/pure error)	19.350	19.400	19.400	19.410

$$\omega (\%) = 21.101 + 3.448 \text{ alginate conc.} + 4.173 \text{ glycerol conc.} - 4.746 \text{ oil açai conc.} + 3.053 \text{ alginate conc.} \times \text{oil açai conc.}$$

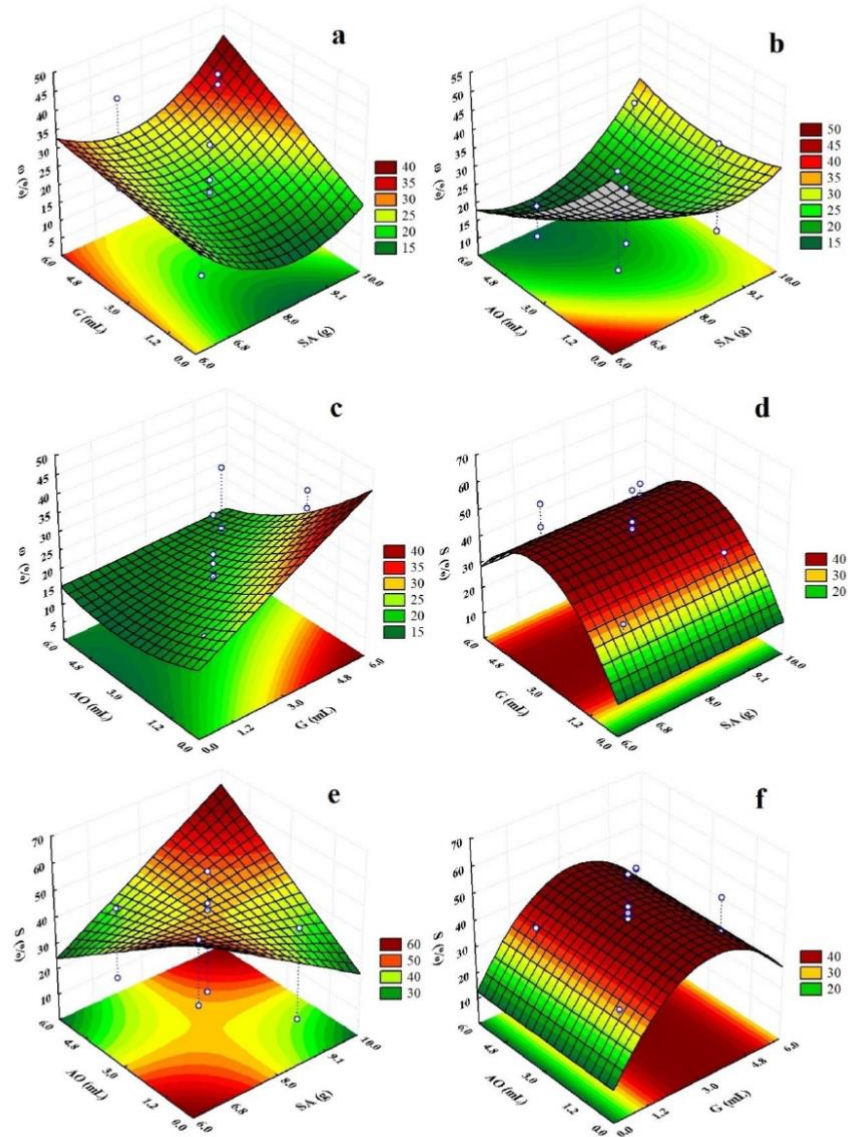
$$S (\%) = 51.102 - 10.037 \text{ glycerol conc.}^2 - 4.336 \text{ oil açai conc.}^2 - 7.148 \text{ alginate conc.} \times \text{oil açai conc.}$$

$$\sigma (\text{mm}) = 0.240 + 0.017 \text{ alginate conc.} - 0.018 \text{ alginate conc.}^2 + 0.026 \text{ oil açai conc.}$$

$$WVP[\text{g. mm/m}^2. \text{day. kPa}] = 7.938 + 1.009 \text{ oil açai conc.}$$

β_i : the estimated regression coefficient for the main linear effects. β_{ij} : the estimated regression coefficient for the quadratic effects; β_{ij} : the estimated regression coefficient for the interaction effects. i = 1: sodium alginate concentration; i = 2: glycerol concentration; i = 3: oil açai concentration. NS: Non-significant (p>0.05); R^2 = coefficient of determination; F_c = calculated F value; F_t = tabulated F value

Figure 2: Response surfaces for the dependent variables moisture content and water solubility, respectively: (a; d) – alginate concentration versus glycerol concentration; (b; e) – alginate concentration versus açai pulp oil concentration; and (c; f) – glycerol concentration versus açai pulp oil concentration.



Thickness and Water Vapor Permeability

It was found that the films exhibited an average variation from 0.147 to 0.299 mm corresponding to assays 3 (6.8 g of alginate, 4.8 mL of glycerol, and 1.2 mL of açai pulp oil) and 14 (8.0 g of alginate, 3.0 mL of glycerol, and 6.0 mL of açai pulp oil), respectively. Similar and higher values were obtained (0.11 to 0.33 mm)¹⁸ and (0.31 to 0.35 mm)³⁵ studying the characterization of biodegradable films produced from mixtures of alginate, starch, and fibers from babassu coconut endocarp and cross-linked sodium alginate biodegradable films with calcium, respectively.

The concentration of açai oil is directly associated with the thickness of the films, with films containing higher oil concentrations showing greater thickness. These results corroborate previous findings^{33,36}. Additionally³⁷, suggest that edible films with thickness less than 0.25 mm are ideal.

For the WVP response, there was a variation from 5.118 to 11.699 g.mm/m².day.kPa, corresponding to assays 1 (6.8 g of alginate, 1.2 mL of glycerol, and 1.2 mL of açai pulp oil) and 14 (8.0 g of alginate, 3.0 mL of glycerol, and 6.0 mL of açai pulp oil) with an average value of 8.227 g.mm/m².day.kPa. WVP values between 10-100 are considered poor, 0.10-10 moderate, and good between 0.01-0.10 g.mm/m².day.kPa. From this analysis, most of the formulations fall within the moderate WVP range. Additionally³⁹, observed that the addition of oils to hydrophilic polymeric matrices results in improvements in barrier properties, including WVP.

The presence of a high amount of açai pulp oil caused both thickness and WVP to increase. The presence of oil causes changes in the structural organization of the film, resulting in an increase in its surface hydrophilicity⁴⁰. Studying the incorporation of a set of plant oils (garlic, lemongrass, and aloe vera) into starch-based films, stated that the results contributed to significant improvements in WVP parameters, making the formulation attractive for food packaging applications³³.

Usually, thinner films have higher WVP due to lower diffusion resistance, while thicker films may have lower WVP due to a greater distance that water molecules need to travel. However, in this research, this trend was not observed, with thicker films exhibiting higher WVPs. However, in non-hydrophilic films, permeability and thickness are not directly proportional²⁶.

The effects of the analyzed variables and their interactions were estimated. At a significance level of 5% (p-value ≤ 0.05), it is observed that only the concentration of

alginate (linear and quadratic term) and the concentration of açai pulp oil (linear term) showed significant effects on the thickness of the studied biopolymers (Table 3). The concentration of alginate and açai pulp oil showed positive linear effects, indicating that with the increase of these independent variables, the thickness values also increase. However, analyzing the WVP response of the films, only the concentration of açai pulp oil showed a significant positive linear effect at a 95% confidence level, indicating an increase in WVP with the increase in oil quantity.

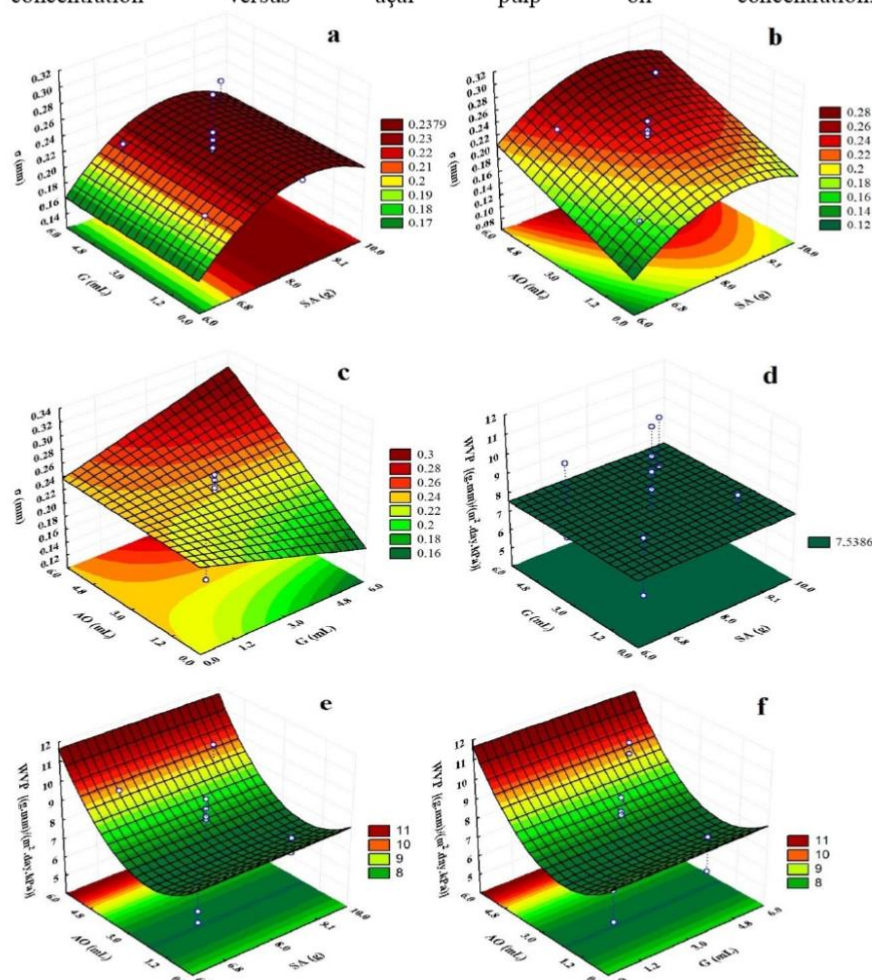
The regression models showed R² values of 98.89% and 96.05% for the thickness and WVP responses, respectively. For the thickness, only the concentrations of alginate and açai pulp oil adjusted to the statistical model (Equation 3). However, for WVP, only the concentration of açai pulp oil was fitted to the model (Equation 4). These models adequately describe the process behavior. According to Barros Neto⁴¹, the closer the R² value is to 1, the lower the error and the better the model fit. Additionally, models with R² < 0.60 should only be used as trend indicators, never for predictive purposes.

The presented model resulted in a calculated regression F-value by the Fisher distribution 2.14 times higher than the tabulated value, thus making the model statistically significant for the experiment conducted. Additionally, the calculated F-value was less than the tabulated value for lack of fit, making it significant (Fisher distribution of 0.22). This may have occurred due to the lack of good repeatability of the central points, as also evidenced by the Tukey test. In this case, the pure error was slightly lower than the lack of fit.

The ratio of calculated F-value to tabulated F-value for regression must exceed 4 for the model to be considered predictive. In this case, it was only 1.60, indicating that the model is non-predictive⁴¹. In this scenario as well, there was a good approximation of the data from the central points, although there was variation according to the Tukey test, resulting in the pure error being much lower than the lack of fit.

Figure 3 shows the contour curves and response surfaces generated through the proposed models, considering the mean points of alginate, glycerol, and açai pulp oil concentrations, thus confirming what was established by the statistical analysis.

Figure 3: Response surfaces for the dependent variables thickness and water vapor permeability, respectively: (a; d) – alginate concentration versus glycerol concentration; (b; e) - alginate concentration versus açai pulp oil concentration; and (c; f) - glycerol concentration versus açai pulp oil concentration.



Considering the attainment of lower thickness values, it is observable that the lowest thickness values were obtained across any range of glycerol concentration when compared to alginate concentration, as this variable had no influence on this response. There is a relationship between the concentrations of alginate and açai pulp oil, with the lowest thicknesses being obtained in the lowest ranges of both alginate and açai pulp oil. However, when analyzing the relationship between glycerol and açai pulp oil concentration, a higher concentration of glycerol results in thinner films.

Regarding the WVP response, the concentrations of alginate and glycerol studied in the experimental design were not significant for WVP. Analyzing the relationship between the concentrations of alginate and açai pulp oil, it is observed that the lowest WVPs can be obtained in the lowest ranges of açai pulp oil concentration, with its optimized point between the range of 1.2 to 3.0 mL and for any range of alginate. The same trend was observed when analyzing the concentrations of açai pulp oil versus glycerol. Glycerol did not remain constant, and açai pulp oil in the same range was presented.

Antifungal analysis

Polymeric films with açai oil showed antifungal potential against *Curvularia*. Films 3, 9, 15, and 17 exhibited the highest levels of inhibition. A previous study²² demonstrated that edible films made from chia seed mucilage, combined with essential oils of *Origanum vulgare* and *Satureja montana*, inhibited over 50% of the growth of *Aspergillus flavus*, *Aspergillus puulauensis*, and *Penicillium comum*. Concentrations of 1.5% of the oils were effective, and increasing the oil concentration resulted in greater fungal inhibition.

In a similar study⁴², explored the antifungal properties of alginate-based films activated with lemon essential oil at different concentrations (0.5%, 1%, and 1.5%). In vitro study results were conducted against *C. albicans* and *A. brasiliensis*. The film demonstrated antifungal effects against both fungi; however, the effect was more pronounced against *Aspergillus brasiliensis* compared to *C. albicans*.

There are several reasons why antifungal analysis on *Curvularia* fungal cultures may yield divergent results. One possibility is the variability in *Curvularia* fungus sensitivity to the tested films. According to Xie et al.⁴³, *Curvularia* strains may exhibit different levels of resistance to antifungal compounds due to genetic variations or environmental adaptations. Additionally, the efficacy of antifungal films can be influenced by factors such as the concentration used, application method, and cultivation conditions such as temperature and humidity⁴⁴.

Figure 4. Analysis of the antifungal potential in *Curvularia* inhibition of polymeric films incorporated with açai pulp oil.

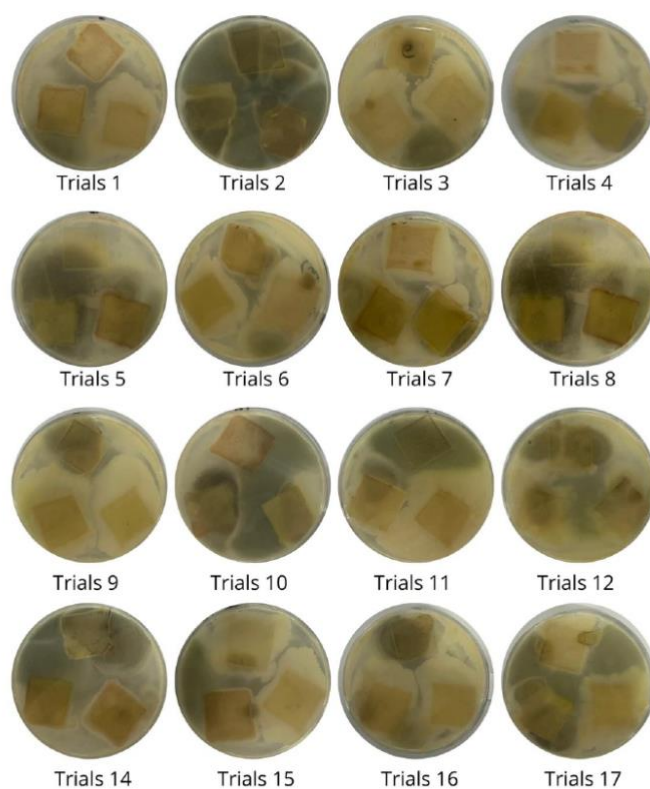


Table 4. Analysis of the antifungal potential in *Curvularia* inhibition of polymeric films incorporated with açai pulp oil.

Trials	Mean (mm)	Inhibition (%)
1	nd	nd
2	nd	nd
3	23.376±7.24	76.86
4	nd	nd
5	nd	nd
6	nd	nd
7	nd	nd
8	nd	nd
9	32.796±1.53	67.53
10	nd	nd
11	nd	nd
12	nd	nd
14	nd	nd
15	19.100±3.88	81.09
16	nd	nd
17	21.007±5.88	79.20

nd – Não detectada. Média ± desvio médio das repetições.

Conclusion

The results highlight the potential of açai pulp oil in advancing polymeric films, offering prospects for its applications in food packaging with antifungal properties. The physicochemical analysis so far suggests that there were trials with superior characteristics in various combinations of sodium alginate, açai oil, and glycerol. Notably, the central point trials proved to be the most suitable formulation for the development of polymeric films incorporated with açai oil.

References

1. OLIVEIRA, Aryane Ribeiro; RIBEIRO, Alline Emannuele Chaves; OLIVEIRA, Érica Resende; GARCIA, Marina Costa; SOARES JÚNIOR, Manoel Soares; CALIARI, Márcio. Structural and physicochemical properties of freeze-dried açai pulp (*Euterpe oleracea* Mart.). **Food Science And Technology**, [S.L.], v. 40, n. 2, p. 282-289, jun. 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/fst.34818>.

2. MATTA, Fernanda V.; XIONG, Jia; LILA, Mary Ann; WARD, Neil I.; FELIPE-SOTELO, Mónica; ESPOSITO, Debora. Chemical Composition and Bioactive Properties of Commercial and Non-Commercial Purple and White Açaí Berries. **Foods**, [S.L.], v. 9, n. 10, p. 1481, 16 out. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/foods9101481>.
3. Embrapa Cocais e Secretaria de Estado da Agricultura Familiar. Produtores de açaí no Maranhão, 2020. <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/50385220/produtores-de-acai-no-maranhao-terao-mais-acesso-a-tecnologias-de-manejo-e-recuperacao-de-acaizais>
4. MARTINS, Gabriel Rocha; GUEDES, Douglas; PAULA, Urbano Luiz Marques de; OLIVEIRA, Maria do Socorro Padilha de; LUTTERBACH, Marcia Teresa Soares; REZNIK, Leila Yone; SÉRVULO, Eliana Flávia Camporese; ALVIANO, Celuta Sales; SILVA, Antonio Jorge Ribeiro da; ALVIANO, Daniela Sales. Açaí (Euterpe oleracea Mart.) Seed Extracts from Different Varieties: a source of proanthocyanidins and eco-friendly corrosion inhibition activity. **Molecules**, [S.L.], v. 26, n. 11, p. 3433, 5 jun. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/molecules26113433>.
5. MARQUES, E s; TSUBOY, M s F; CARVALHO, J C T; ROSA, P C P; PERAZZO, F F; GAIVÃO, I O M; MAISTRO, E L. Research Article First cytotoxic, genotoxic, and antigenotoxic assessment of Euterpe oleracea fruit oil (açaí) in cultured human cells. **Genetics And Molecular Research**, [S.L.], v. 16, n. 3, p. 1-20, 2017. Genetics and Molecular Research. <http://dx.doi.org/10.4238/gmr16039700>.
6. FAVACHO, Hugo A. S.; OLIVEIRA, Bianca R.; SANTOS, Kelem C.; MEDEIROS, Benedito J. L.; SOUSA, Pergentino J. C.; PERAZZO, Fabio F.; CARVALHO, José Carlos T.. Anti-inflammatory and antinociceptive activities of Euterpe oleracea Mart., Arecaceae, oil. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, [S.L.], v. 21, n. 1, p. 105-114, fev. 2011. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-695x2011005000007>.
7. MAGALHÃES, Thalita Sévia Soares de Almeida; MACEDO, Pollyana Cristina de Oliveira; PACHECO, Stephany Yumi Kawashima; SILVA, Sofia Santos da; BARBOSA, Euzébio Guimarães; PEREIRA, Rayanne Rocha; COSTA, Roseane Maria Ribeiro; SILVA JUNIOR, José Otávio Carréra; FERREIRA, Marília Andreza da Silva; ALMEIDA, José Cezário de. Development and Evaluation of Antimicrobial and Modulatory Activity of Inclusion Complex of Euterpe oleracea Mart Oil and β -Cyclodextrin or HP- β -Cyclodextrin. **International Journal Of Molecular Sciences**, [S.L.], v. 21, n. 3, p. 942, 31 jan. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ijms21030942>.
8. SPRENGER, Lew Kan; GIESE, Elane Guerreiro; SANTOS, Jeannie Nascimento dos; MOLENTO, Marcelo Beltrão. In vitro antibacterial effect of Euterpe oleracea Mart. and Theobroma grandiflorum hydroalcoholic extracts. **Archives Of Veterinary Science**, [S.L.], v. 21, n. 2, p. 1-20, 24 nov. 2016. Universidade Federal do Parana. <http://dx.doi.org/10.5380/avs.v21i2.43627>.
9. BORGES, Katia Ra; RODRIGUES, Igor Vp; A PEREIRA, Liwerbeth; SILVA, Gabriel X; EM FILHO, Walbert; SILVA, Marcos Aen; ALVES, Rita Ns; BEZERRA, Carolina Rf; ROSA, Ivone G; BRITO, Luciane Mo. Euterpe oleracea Mart. inhibits virulence factors of Aspergillus fumigatus. **Future Microbiology**, [S.L.], v. 14, n. 8, p. 717-728, maio 2019. Future Medicine Ltd. <http://dx.doi.org/10.2217/fmb-2019-0028>.

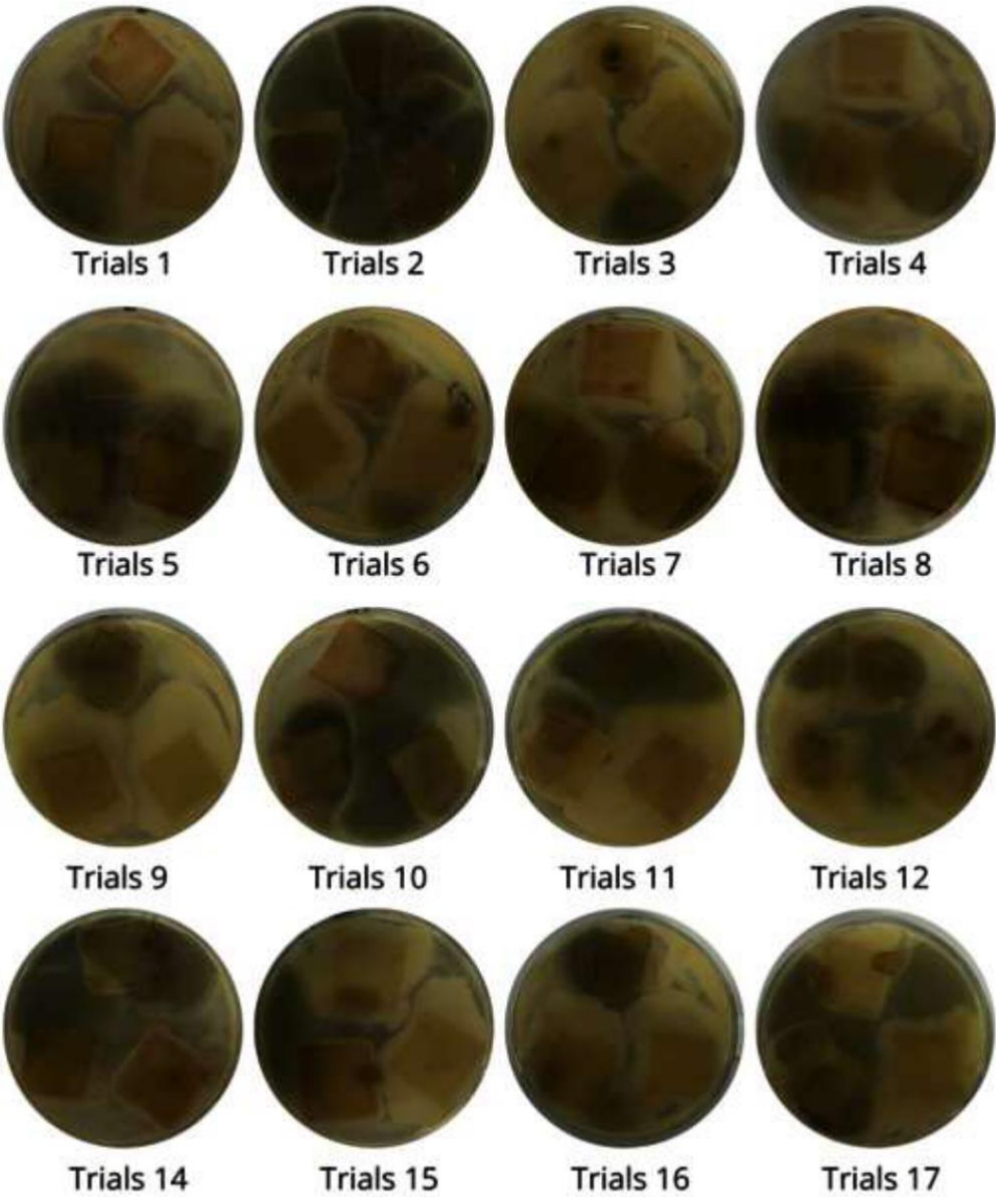
10. Teixeira-Costa BE, Ferreira WH, Goycoolea FM, Murray BS, Andrade CT. Propriedades antioxidantes e mecânicas melhoradas de filmes de embalagem de alimentos baseados em quitosana/diluyente eutético profundo, contendo microcápsulas encheadas de açaí. *Moléculas*. 2023 Feb 3;28(3):1507. doi: 10.3390/moléculas28031507.
11. BURATTO, Rafaella Theodoro. **Valorization of Euterpe oleracea Mart.(açaí) by-product:** characterization, extraction and formulation. Tese de Doutorado. Universidade Valladolid. Espanha. 2019. Disponível em: <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/40266/Tesis1685-200117.pdf?sequence=1>. Acesso em: 29 jan. 2024.
12. WANG, Jiaxiu; EURING, Markus; OSTENDORF, Kolja; ZHANG, Kai. Biobased materials for food packaging. **Journal Of Bioresources And Bioproducts**, [S.L.], v. 7, n. 1, p. 1-13, fev. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jobab.2021.11.004>.
13. NOGUEIRA, Gislaine Ferreira; OLIVEIRA, Rafael Augustus de; VELASCO, José Ignacio; FAKHOURI, Farayde Matta. Methods of Incorporating Plant-Derived Bioactive Compounds into Films Made with Agro-Based Polymers for Application as Food Packaging: a brief review. **Polymers**, [S.L.], v. 12, n. 11, p. 2518, 28 out. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/polym12112518>.
14. LAGOS, Jeannine Bonilla; VARGAS, Flávia Carolina; OLIVEIRA, Tiara Gomes de; MAKISHI, Gisele Lourenço da Aparecida; SOBRAL, Paulo José do Amaral. Recent patents on the application of bioactive compounds in food: a short review. **Current Opinion In Food Science**, [S.L.], v. 5, p. 1-7, out. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cofs.2015.05.012>.
15. FARIAS, Silvana Silveira de *et al.* Biopolímeros: uma alternativa para promoção do desenvolvimento sustentável. **Revista Geonorte**, v. 7, n. 26, p. 61-77, 2016. Disponível em: <https://periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/download/2759/2495/>. Acesso em: 20 jan. 2024.
16. SANTANA, A. A.; KIECKBUSCH, T. G.. Physical evaluation of biodegradable films of calcium alginate plasticized with polyols. **Brazilian Journal Of Chemical Engineering**, [S.L.], v. 30, n. 4, p. 835-845, dez. 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0104-66322013000400015>.
17. LOPES, Ilmar Alves; PAIXÃO, Louryval Coelho; SILVA, Layrton José Souza da; ROCHA, Adones Almeida; BARROS FILHO, Allan Kardec D.; SANTANA, Audirene Amorim. Elaboration and characterization of biopolymer films with alginate and babassu coconut mesocarp. **Carbohydrate Polymers**, [S.L.], v. 234, p. 115747, abr. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115747>.
18. RAPOSO, Ana Karoliny da Silva; PAIXÃO, Louryval Coelho; ROCHA, Adones Almeida; LOPES, Ilmar Alves; SANTOS, Gustavo Augusto Silva; RIBEIRO, Geyse Adriana Corrêa; MENEZES, Alan Silva de; BARROS FILHO, Allan Kardec D.; SANTANA, Audirene Amorim. Characterization of Biodegradable Films Produced from Mixtures of Alginate, Starch and Babassu Fibers. **Journal Of Polymers And The Environment**, [S.L.], v. 29, n. 4, p. 1212-1226, 5 nov. 2020. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10924-020-01952-z>.
19. AOAC International. Official Methods of Analysis of AOAC International. 2007.
20. ASTM. International. ASTM E96/E96M-16. Standard Test Methods fo Water Vapor Transmission of Materials. West Conshohocken, PA; 2016.

21. SILVA, D.C. da; LOPES, I.A.; SILVA, L.J.s. da; LIMA, M.F.; BARROS FILHO, A.K.D.; VILLA-VÉLEZ, H.A.; SANTANA, A.A.. Physical properties of films based on pectin and babassu coconut mesocarp. **International Journal Of Biological Macromolecules**, [S.L.], v. 130, p. 419-428, jun. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.02.151>
22. MUÑOZ-TÉBAR, Nuria; CARMONA, Manuel; ELGUEA-CULEBRAS, Gonzalo Ortiz de; MOLINA, Ana; BERRUGA, María Isabel. Chia Seed Mucilage Edible Films with Origanum vulgare and Satureja montana Essential Oils: characterization and antifungal properties. **Membranes**, [S.L.], v. 12, n. 2, p. 213, 11 fev. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/membranes12020213>.
23. BRASIL, Gabrielle Vieira da Silva; RAPOSO, Ana Karoliny da Silva; RIBEIRO, Geyse Adriana Corrêa; SANTOS, Denilson Moreira; FIRMO, Wellyson da Cunha Araújo; LOPES, Ilmar Alves; LUZ, Djavanina Azevedo da; PAIXÃO, Louryval Coelho; SANTANA, Audirene Amorim; COSTA, Maria Célia Pires. Incorporação de pólen de abelha Tubi (Scaptotrigona sp) em filmes biodegradáveis de alginato, pectina e amido. **Research, Society And Development**, [S.L.], v. 11, n. 9, p. 1-15, 4 jul. 2022. Research, Society and Development. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i9.31603>.
24. ATILAR, G. Cansu; KUTLU, Gozde; TORNÜK, Fatih. Design and characterization of chitosan-based films incorporated with summer savory (Satureja hortensis L.) essential oil for active packaging. **International Journal Of Biological Macromolecules**, [S.L.], v. 254, p. 127732, jan. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.127732>.
25. BONILLA, J.; ATARÉS, L.; VARGAS, M.; CHIRALT, A.. Effect of essential oils and homogenization conditions on properties of chitosan-based films. **Food Hydrocolloids**, [S.L.], v. 26, n. 1, p. 9-16, jan. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.03.015>.
26. PAIXÃO, Louryval Coelho; LOPES, Ilmar Alves; BARROS FILHO, Allan Kardec Duailibe; SANTANA, Audirene Amorim. Alginate biofilms plasticized with hydrophilic and hydrophobic plasticizers for application in food packaging. **Journal Of Applied Polymer Science**, [S.L.], v. 136, n. 48, p. 1-11, 17 jul. 2019. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/app.48263>.
27. LIAN, Huan; SHI, Jingying; ZHANG, Xiaoyan; PENG, Yong. Effect of the added polysaccharide on the release of thyme essential oil and structure properties of chitosan based film. **Food Packaging And Shelf Life**, [S.L.], v. 23, p. 100467, mar. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100467>.
28. JADACH, Barbara; ŚWIETLIK, Weronika; FROELICH, Anna. Sodium Alginate as a Pharmaceutical Excipient: novel applications of a well-known polymer. **Journal Of Pharmaceutical Sciences**, [S.L.], v. 111, n. 5, p. 1250-1261, maio 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.xphs.2021.12.024>.
29. HASHEMI, Seyed Mohammad Bagher; KHANEGHAH, Amin Mousavi. Characterization of novel basil-seed gum active edible films and coatings containing oregano essential oil. **Progress In Organic Coatings**, [S.L.], v. 110, p. 35-41, set. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.porgcoat.2017.04.041>.
30. LOUZADA, Ludmilla Batista; LOPES, Amanda Tibães; MOLINA, Gustavo; PELISSARI, Franciele Maria. Effect of Casting Process Conditions on Mechanical Properties and Water Solubility of Films Made from Wolf Fruit and Its Optimization. **Journal Of Polymers And The Environment**, [S.L.], v. 29,

- n. 8, p. 2435-2446, 23 jan. 2021. Springer Science and Business Media LLC.
<http://dx.doi.org/10.1007/s10924-021-02047-z>.
31. JANJARASSKUL, Theeranun; TANANUWONG, Kanitha; PHUPOKSAKUL, Thunyaluck; THAIPHANIT, Somruedee. Fast dissolving, hermetically sealable, edible whey protein isolate-based films for instant food and/or dry ingredient pouches. **Lwt**, [S.L.], v. 134, p. 110102, dez. 2020. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110102>.
 32. SHARMA, Shubham; BARKAUSKAITE, Sandra; JAISWAL, Amit K.; JAISWAL, Swarna. Essential oils as additives in active food packaging. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 343, p. 128403, maio 2021. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128403>.
 33. ISTIQOMAH, Annisa; UTAMI, Maryam Rahmi; FIRDAUS, Maulidan; SURYANTI, Venty; KUSUMANINGSIH, Triana. Antibacterial chitosan-Dioscorea alata starch film enriched with essential oils optimally prepared by following response surface methodology. **Food Bioscience**, [S.L.], v. 46, p. 101603, abr. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101603>.
 34. SANTOS, Rogério Willian Silva dos; SANTANA NETO, Deocleciano Cassiano de; LEITE, Manuela Souza; JORGE, Regina Maria Matos; DANTAS, Tirzã Lins Porto. Buriti oil and natural surfactant improve the properties of cassava starch and carboxymethylcellulose films. **Packaging Technology And Science**, [S.L.], v. 36, n. 4, p. 281-292, 26 dez. 2022. Wiley.
<http://dx.doi.org/10.1002/pts.2711>.
 35. BIERHALZ, A. C. K., DA SILVA, M. A., KIECKBUSCH, T. G. Natamycin release from alginate/pectin films for food packaging applications. *Journal of Food Engineering*, 110(1), 18-25, 2012.
 36. SOCACIU, Maria-Ioana; FOGARASI, Melinda; SEMENIUC, Cristina Anamaria; SOCACI, Sonia Ancuța; ROTAR, Mihaela Ancuța; MUREȘAN, Vlad; POP, Oana Lelia; VODNAR, Dan Cristian. Formulation and Characterization of Antimicrobial Edible Films Based on Whey Protein Isolate and Tarragon Essential Oil. **Polymers**, [S.L.], v. 12, n. 8, p. 1748, 5 ago. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/polym12081748>.
 37. VENKATACHALAM, Karthikeyan; RAKKAPAO, Natthida; LEKJING, Somwang. Physicochemical and Antimicrobial Characterization of Chitosan and Native Glutinous Rice Starch-Based Composite Edible Films: influence of different essential oils incorporation. **Membranes**, [S.L.], v. 13, n. 2, p. 161, 27 jan. 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/membranes13020161>.
 38. KROCHTA, J. M.; MULDER-JOHNSTON, C. D. Edible and biodegradable polymer films: Challenges and opportunities. *Food Technology*, v. 51, p. 61-73, 1997.
 39. ATARÉS, Lorena; CHIRALT, Amparo. Essential oils as additives in biodegradable films and coatings for active food packaging. **Trends In Food Science & Technology**, [S.L.], v. 48, p. 51-62, fev. 2016. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2015.12.001>.
 40. GIUSEPPE, Fabio Angelo di; VOLPE, Stefania; CAVELLA, Silvana; MASI, Paolo; TORRIERI, Elena. Physical properties of active biopolymer films based on chitosan, sodium caseinate, and rosemary essential oil. **Food Packaging And Shelf Life**, [S.L.], v. 32, p. 100817, jun. 2022. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.100817>.

41. BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. Como fazer experimentos pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria. Campinas: Editora UNICAMP, 2001. 401 p.
42. HAMMOUDI, Naima; CHERIF, Hocine Ziani; BORSALI, Fethi; BENMANSOUR, Kamal; MEGHEZZI, Asma. Preparation of active antimicrobial and antifungal alginate-montmorillonite/lemon essential oil nanocomposite films. **Materials Technology**, [S.L.], v. 35, n. 7, p. 383-394, 11 dez. 2019. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/10667857.2019.1685292>.
43. XIE, Shanshan; LIU, Juan; GU, Shuangyue; CHEN, Xiaojie; JIANG, Haiyang; DING, Ting. Antifungal activity of volatile compounds produced by endophytic *Bacillus subtilis* DZSY21 against *Curvularia lunata*. **Annals Of Microbiology**, [S.L.], v. 70, n. 1, p. 1-12, 24 fev. 2020. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1186/s13213-020-01553-0>.
44. MORALES-RABANALES, Quetzali Nicté; COYOTL-PÉREZ, Wendy Abril; RUBIO-ROSAS, Efraín; CORTES-RAMÍREZ, Georgina Salud; RAMÍREZ, José Francisco Sánchez; VILLA-RUANO, Nemesio. Antifungal properties of hybrid films containing the essential oil of *Schinus molle*: protective effect against postharvest rot of tomato. **Food Control**, [S.L.], v. 134, p. 108766, abr. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108766>.

Imagem Gráfica Abstrata



APÊNDICE C - SOLICITAÇÃO DE REGISTRO DE PATENTE ENVIADA A COORDENAÇÃO DE PROSPECÇÃO E REDAÇÃO DE PATENTES – CPRP/UFMA

Título: Filme Polimérico Biodegradável com óleo de *Euterpe oleracea* para Embalagens Alimentícias com Propriedades Antifúngicas e Antimicotoxigênicas

Instituição: Instituto Nacional de Propriedade Intelectual – INPI

RESUMO

A presente invenção refere-se a uma composição de filmes poliméricos biodegradáveis derivados do óleo de açaí (*Euterpe oleracea*), com potenciais aplicações em embalagens de alimentos com propriedades físico-químicas, mecânicas, antioxidantes, antifúngicas sem alterar o sabor do alimento e aumentando a vida útil do alimento. O óleo proveniente da espécie *Euterpe oleracea* Mart constitui a principal matéria-prima desses filmes, um produto natural e de baixo custo, apresentando uma alternativa promissora para a aplicação dessa fonte natural em embalagens sustentáveis.

Campo da invenção

[001] A presente invenção refere-se a uma composição de filmes poliméricos biodegradáveis derivados do óleo de açaí (*Euterpe oleracea*), com potenciais aplicações em embalagens de alimentos com propriedades físico-químicas, mecânicas, antioxidantes e antifúngicas. O óleo proveniente da espécie *Euterpe oleracea* Mart constitui a principal matéria-prima desses filmes, representando uma alternativa promissora para a aplicação dessa fonte natural em embalagens sustentáveis.

Antecedentes da invenção

[002] Diversas embalagens podem ser desenvolvidas para diferentes aplicações. O mercado busca constantemente novas alternativas de embalagens que apresentem bioativos capazes de torná-las sustentáveis e que interajam com o alimento para melhorar sua qualidade e prolongar seu prazo de validade. Estudos mostram a capacidade de utilizar óleos naturais obtidos de diversas espécies de plantas, os quais têm o potencial de serem os bioativos responsáveis por aprimorar a qualidade e a durabilidade das embalagens.

[003] A *Euterpe oleracea*, palmeira do açaí, é nativa da região amazônica da América Central e do Sul, incluindo Brasil, e seu óleo é reconhecido pelos seus compostos bioativos, atribuindo-lhe propriedades benéficas à saúde, incluindo atividade antimicrobiana, anticâncer, antiteratogênica e outras. O potencial antifúngico do açaí está associado aos seus compostos bioativos, como ácidos graxos, antioxidantes e compostos fenólicos, os quais podem inibir o crescimento micelial e a germinação de esporos dos fungos.

[004] O Brasil se tornou o maior produtor e exportador do mundo atendendo as crescentes taxas de consumo deste fruto, ganhando destaque além do consumo o seu uso em pesquisas e

aplicações biotecnológicas de diversos setores. E uma das aplicações é o óleo *Euterpe oleracea* Mart, como: ingrediente em uma variedade de produtos alimentícios, como sucos, smoothies, sorvetes, barras de cereais, iogurtes, e até mesmo em pratos culinários; na cosmética como cremes hidratantes, loções corporais, shampoos e condicionadores; Suplementos nutricionais pelas suas propriedades antioxidantes, ácidos graxos essenciais e outros nutrientes benéficos para a saúde.

[005] Algumas patentes semelhantes que utilizam a *E. oleracea* Mart como matéria prima para filmes polímeros biodegradáveis têm surgido, como por exemplo a patente brasileira depositada em 22/10/2021 no INPI (BR 10 2021 021237 3 A2) que descreve um método de produção de um filme utilizando sementes/caroços de açaí (*Euterpe oleracea* Mart) na forma de extrato ou pó como componentes de formulações de embalagens e coberturas comestíveis para alimentos e outros produtos. Outra patente Brasileira de invenção no INPI (BR 10 2019 022632 3) depositada no dia 29/10/2019 que descreve compósito polimérico biodegradável à base de polibutileno de succinato (pbs) e semente despolpada (caroço) de açaí (*Euterpe oleracea* Mart) incorporação do açaí nos biopolímeros para produção de embalagens alimentícias.

[006] Porém nenhuma das patentes citadas acima, descreve a utilização do óleo de *Euterpe oleracea* Mart como principal ativo para a fabricação do filme polímero com atividade antifúngica e antimicotoxigênicas comprovada para uso de embalagem de alimentos.

[007] A escolha do óleo de *Euterpe oleracea* Mart como principal ativo para a fabricação filmes, se justifica pelo fato dela possuir grande produção no mercado e de venda nacional e internacional além do seu baixo custo comercial, a tornando uma matéria prima de fácil obtenção baixando o custo na produção dessas embalagens.

[008] Nosso produto possui diferencial em relação aos demais, por ser uma composição que tem como principal ativo óleo da *Euterpe oleracea* Mart, que mostrou atividade antifúngica protegendo os alimentos desses microrganismos que produz micotoxinas que pode causar danos graves a saúde.

Vantagens do Produto

[009] O filme biopolímero desenvolvido usando o óleo da *Euterpe oleracea* Mart (açaí) possui as seguintes vantagens:

- É sustentável pois utiliza biopolímeros derivados de fontes naturais reduzindo a dependência de recursos não renováveis;
- O filme é biodegradável, reduz o impacto ao meio ambiente;
- Não causa alteração no sabor do alimento;
- Apresente atividades antifúngicas e antimicotoxigênicas comprovadas

Descrição detalhada da invenção

[010] O filme é preparado através de uma solução, com alginato de sódio puríssimo foi dissolvido em de água destilada ou utrapura com agitação de 2000 rpm à temperatura de 25 a 30 °C por 15 a 30 minutos. Em seguida, é feito a adição plastificante glicerol e agitado por 1 hora na mesma rotação.

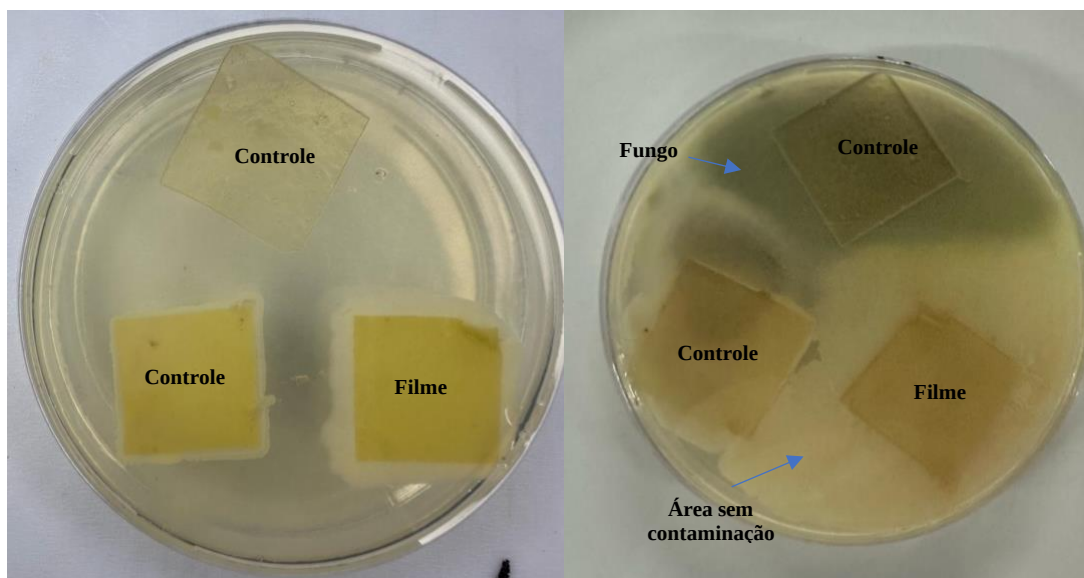
[011] Após este período, uma quantidade da solução de cloreto de cálcio dihidratado é adicionada durante 15 a 30 minutos, na temperatura de 40 °C. O gel resultante é então misturado com o óleo de açaí e depositado em placas de vidro. Em seguida, o filme é submetido a uma secagem a 40 °C em uma estufa por 24 horas. Posteriormente, o material é removido e armazenados em um dessecador com 52% de umidade relativa por 48 horas.

DESCRIÇÃO DAS FIGURAS

Figura 1. Filme desenvolvido com óleo de açaí (*Euterpe oleracea* Mart)



Figura 2. Atividade antifúngica do filme desenvolvido com óleo de açaí (*Euterpe oleracea* Mart) (A) tempo zero do ensaio (B) 7 dias



Controle: Filme sem o óleo do açaí

Filme: Filme desenvolvido com o óleo de açaí

REIVINDICAÇÕES

- Filme biodegradável à base de polímeros com óleo de *Euterpe oleracea* Mart para embalagens alimentícias antifúngicas:** Filme polimérico biodegradável que utiliza como princípio ativo o óleo de *Euterpe oleracea* Mart com capacidade de inibir crescimento de fungos produtores de micotoxinas quando usado em embalagens alimentícias, prologando assim a vida útil do alimento e preservando o sabor original.
- Método de produção de filme polimérico antifúngico utilizando óleo de *Euterpe oleracea* Mart:** O método de fabricação dos filmes polímeros antifúngicos envolve uma preparação de uma solução contendo: alginato de sódio, água destilada, glicerol como plastificante e, posteriormente, a incorporação do óleo de *Euterpe oleracea* Mart, resultando em um filme com propriedades antifúngicas.
- Embalagem alimentícia sustentável com propriedades antifúngicas e antimicotoxigênicas:** O filme polimérico biodegradável contendo óleo de *Euterpe oleracea* Mart demonstra atividade antifúngica comprovada contra fungos que produz micotoxinas, preservando assim a qualidade e a segurança dos alimentos.

**APÊNDICE D - SOLICITAÇÃO DE PATENTE ENVIADA A COORDENAÇÃO DE
PROSPECÇÃO E REDAÇÃO DE PATENTES – CPRP/UFMA**



**Ministério do Meio Ambiente
CONSELHO DE GESTÃO DO PATRIMÔNIO GENÉTICO**

SISTEMA NACIONAL DE GESTÃO DO PATRIMÔNIO GENÉTICO E DO CONHECIMENTO TRADICIONAL ASSOCIADO

Comprovante de Cadastro de Acesso

Cadastro nº A81AA9F

A atividade de acesso ao Patrimônio Genético/CTA, nos termos abaixo resumida, foi cadastrada no SisGen, em atendimento ao previsto na Lei nº 13.123/2015 e seus regulamentos.

Número do cadastro: **A81AA9F**
 Usuário: **MARIA DO DESTERRO SOARES BRANDÃO NASCIMENTO**
 CPF/CNPJ: **044.929.003-49**
 Objeto do Acesso: **Patrimônio Genético/CTA**
 Finalidade do Acesso: **Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico**

Espécie

Euterpe oleracea

Fonte do CTA

CTA de origem não identificável

Título da Atividade: **Bioprospecção do óleo de Euterpe oleracea para desenvolvimento de filme para embalagens de alimentos com atividade antifúngica e antimicotoxigênica**

Equipe

MARIA DO DESTERRO SOARES BRANDÃO NASCIM	UFMA
AMANDA MARA TELES	UEMA
AUDIRENE AMORIM SANTANA PAIXAO	UFMA
JULIANA MOURA MENDES	Universidad del Assunción
Allysson Kayron de Carvalho Silva	UFMA

Eliakim do Nascimento Mendes

UFMA

Data do Cadastro: 03/04/2024 17:49:31
Situação do Cadastro: Concluído

Conselho de Gestão do Patrimônio Genético
Situação cadastral conforme consulta ao SisGen em 17:55 de 03/04/2024.

