



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

SARA CAROLINE PACHECO DE OLIVEIRA

**USO DO ÓLEO DE AÇAÍ (*Euterpe oleracea*) E AMIDO DE MANDIOCA
(*Manihot esculenta*) NA OBTENÇÃO DE PRODUTOS BIOATIVOS**

Belém – PA

2023

SARA CAROLINE PACHECO DE OLIVEIRA

**USO DO ÓLEO DE AÇAÍ (*Euterpe oleracea*) E AMIDO DE MANDIOCA
(*Manihot esculenta*) NA OBTENÇÃO DE PRODUTOS BIOATIVOS**

Texto dissertativo apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química do Instituto de Tecnologia, da Universidade Federal do Pará, como requisito para a obtenção do título de Mestra em Engenharia Química.

Orientador: Prof. Dr. Davi do Socorro Barros Brasil

Coorientadora: Prof^a. Dra. Gleice Vasconcelos Pereira do Lago.

Belém – PA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a)
autor(a)

- O48u Oliveira, Sara Caroline Pacheco de.
USO DO ÓLEO DE AÇAÍ (*Euterpe oleracea*) E AMIDO
DE MANDIOCA (*Manihot esculenta*) NA OBTENÇÃO DE
PRODUTOS BIOATIVOS / Sara Caroline Pacheco de
Oliveira. — 2023.
87 f. : il. color.
- Orientador(a): Prof. Dr. Davi do Socorro Barros Brasil
Coorientação: Prof^a. Dra. Gleice Vasconcelos Pereira do
Lago
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,
Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Química, Belém, 2023.
1. bioplástico. 2. mandioca. 3. óleo de açaí. 4.
anticâncer. 5. anti-inflamatório. I. Título.

CDD 660.2

SARA CAROLINE PACHECO DE OLIVEIRA

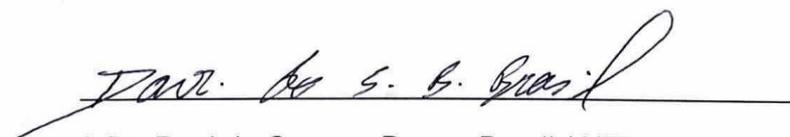
USO DO ÓLEO DE AÇAI (*Euterpe oleracea*) E AMIDO DE MANDIOCA (*Manihot
esculenta*) NA OBTENÇÃO DE PRODUTOS BIOATIVOS

Texto dissertativo apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química do Instituto de Tecnologia, da Universidade Federal do Pará, como requisito para a obtenção do título de Mestra em Engenharia Química.

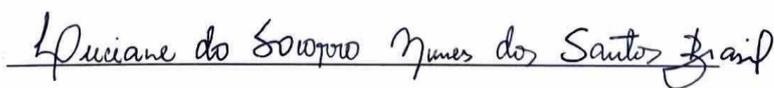
Orientador: Prof. Dr. Davi do Socorro Barros Brasil
Coorientadora: Prof.^a Dra. Gleice Vasconcelos Pereira do Lago.

Aprovada em 30 de outubro de 2023.

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. Davi do Socorro Barros Brasil / UFPA – Orientador


Prof.^a Dra. Marlice Cruz Martelli / UFPA – Membro Interno


Prof.^a Dra. Luciane do Socorro Nunes dos Santos Brasil / UFPA – Membro externo

À Deus, minha família e todos
que de alguma forma contribuíram
para a conclusão desta etapa.

AGRADECIMENTOS

À Deus por ser o melhor Pai, pelo seu infinito amor de ter me permitido conquistar esse título.

Aos meus pais: Edinalva Pacheco e Benedito Oliveira por todo o suporte, dentro de suas condições, em especial minha mãe, que nunca me deixou desistir, sempre teve uma palavra amiga para me dizer, obrigada por todas as vezes que chamou minha atenção e me fez ser uma pessoa melhor. E a minha irmã Mirian Kelly, que mesmo não morando comigo, de alguma forma, sempre esteve presente.

À Ana Lívia, minha pessoa. Por se preocupar com cada fase da minha vida e se fazer presente em todas elas, mesmo em outro Estado. Obrigada por todas as vezes que tu me deste suporte emocional, pelo modo coach reverso (que a gente entende e dá certo), por ser minha fiel companheira e melhor amiga. Sempre vou ser grata por tudo o que tu fizeste/faz por mim, essa conquista é nossa.

À minha irmã de alma, Dara Brito, por todas as vezes que me acompanhou nos “b.o” da vida, pelos conselhos, força, suporte e por ser a pessoa que está sempre me incentivando em tudo. Obrigada por estar comigo nas fases boas e ruins, por comemorar minhas vitórias como se fossem tuas, e por ser incrível pra mim, nenê.

Ao meu orientador Prof. Dr. Davi Brasil, por ser uma grande referência na química, pela paciência, humildade e didática ao ensinar. Sou grata por todos os conhecimentos absorvidos, por cada orientação e exigência feita, muito obrigada por todo o suporte dado para realização dessa pesquisa, és uma inspiração. E à minha coorientadora pelas sugestões e correção da pesquisa.

À Raphaela Castro, minha pupila de Iniciação Científica, que além de minha orientada, se tornou uma parceira incrível dentro e fora de laboratório, sempre proativa e dedicada. Tenho orgulho de ter te acompanhado, serás uma engenheira química maravilhosa.

As minhas amigas acadêmicas, que tornaram o trajeto muito mais leve: Ynara Fonseca pela ajuda em laboratório, pelas risadas e por ser essa amiga maravilhosa e inteligente. À Lucely Nogueira por todas as vezes que liberou o espaço do LABIOTEC pra mim, pelos auxílios nas análises e por ter se tornado

uma amiga incrível. À Clara Pimentel pelas vezes que me auxiliou com reagentes ou cedendo espaço no laboratório e esteve presente no meu trajeto.

À minha amiga e parceira de turma, Bianca Figueiredo, que foi primordial pra minha jornada acadêmica. Obrigada pela parceria dentro e fora de laboratório, pelos almoços assistindo Friends, por tornar o trajeto mais engraçado e menos cansativo. Tu és luz, Bibi.

À Prof.^a. Dra. Elisangela Andrade que é uma das doutoras mais humildes e gentis que já cruzaram meu caminho. Obrigada por todos os conselhos, pela ajuda nas análises, por cada conhecimento compartilhado. És incrível, Eli.

À Vitória Carvalho, minha amiga de graduação que nunca largou minha mão, e até no mestrado sempre se preocupou comigo e o meu bem estar. Minha gratidão pela tua vida, Vit.

À Camila Luz, por além de ser minha nutricionista e cuidar da minha saúde, ser uma amiga presente e ter sempre algo bom para dizer e me incentivar. És incrível, obrigada por existir na minha vida.

À Carolina Quaresma por me auxiliar com as células de *Allium cepa*, pela dedicação e paciência em ensinar e ter dado o seu melhor mesmo com a rotina tão corrida. Ela que de colega de laboratório, se tornou uma amiga pra mim. Obrigada por ser tu, Carol.

Ao Prof. Dr. Diego Aires da UEPA por ter facilitado e agilizado a impressão do meu certificado de conclusão de curso, para que eu não perdesse minha vaga no processo seletivo. Minha gratidão eterna pelo seu esforço e dedicação. Agradecer também às minhas professoras Dra. Eluan Façanha e Dra. Luciane Brasil pelos ensinamentos e a carta de recomendação para minha entrada ao mestrado.

Agradeço a todos os laboratórios parceiros a esse projeto, assim como os técnicos, alunos e professores responsáveis pelos mesmos.

Ao Hospital Barros Barreto, os professores Samir e André Khayt do NPO, pela parceria, reuniões e toda dedicação nas análises biológicas desse projeto. E claro, um agradecimento especial à Ingrid que foi de suma importância para a execução dos testes, e mesmo com a correria do doutorado, sempre se mostrou dedicada e prestativa, meu obrigada também à toda equipe envolvida.

Ao LafTex/Unicamp, pela parceria, em especial aos Prof. Dr. João Carvalho, Prof.^a Dra. Ana Lúcia e a Prof.^a. Dra. Mary Ann pela recepção e troca

de conhecimento a mim fornecidos durante meu curto estágio na UNICAMP. Aos colegas que fiz nesse período: Daniele Affonso, Robson, Núbia, Mayra, Luan e Ailane pela receptividade, diversão e leveza, além dos cafés compartilhados, e, principalmente à Dani pela paciência e didática, gratidão!

Ao LRXAT/PPGF/UFPA, em especial ao Prof. Dr. Claudio Remédios por abrir portas para a análise de MEV/EDS e DRX, à Prof.^a Graziela e o Prof. João por executarem de forma notável os ensaios solicitados.

Aos laboratórios da Faculdade de Farmácia: LFDN/UFPA pela parceria, à Prof.^a. Dra. Fani Dolabela por ceder espaço para análises em *Allium* cepa, e a toda equipe envolvida nas análises em especial Carolina Quaresma e Amanda Ramos, pela amizade e leveza do trajeto.

Ao NanoFarm e P&D/UFPA pela disponibilidade, principalmente à Prof.^a. Dra. Roseane e Prof. Dr. Otávio pela parceria, à Lindalva pela gentileza e proatividade, à Ana Freitas por toda delicadeza e atenção com as amostras e análises solicitadas.

Ao LABIOTEC/UFPA, Prof. Dr. Nelson Rosa, por todos os ensinamentos e conversas, assim como a equipe de laboratório que sempre me acolheram da melhor forma possível.

Ao Museu Emílio Goeldi, em especial a Prof.^a. Dra. Eloísa por sempre se disponibilizar a realizar as análises solicitadas, com muita dedicação e precisão.

Aos servidores públicos, em especial o Daniel da secretária do PPGEQ por suportar todas as minhas mensagens de dúvidas e pela proatividade em me ajudar, assim como os terceirizados, e todos que cruzaram meu caminho nesse trajeto, desde os professores que me deram aula, até a equipe de limpeza que sempre mantiveram as salas e laboratórios higienizados, e conversavam comigo nos corredores do LEQ, um abraço especial e um muito obrigada por fazerem o trabalho de vocês com excelência.

À banca pela disponibilidade, pelas pautas abordadas e por contribuírem para a conclusão desta etapa.

E por último, mas de suma importância, meu agradecimento ao PPGEQ/UFPA e a FAPESPA pelo incentivo, por meio da Bolsa de Mestrado, que foi primordial para a execução da pesquisa e minha permanência durante o percurso acadêmico.

“Todas as vitórias ocultam
uma abdicação.”
(Simone de Beauvoir)

RESUMO

Área de concentração: Desenvolvimento de Processos
Linha de pesquisa: Engenharia de Processos Orgânicos

A mandioca é encontrada em abundância na natureza, especialmente no Estado do Pará, dela é possível fazer a extração do amido, rico em amilose e amilopectina, componentes que auxiliam na produção de bioplásticos. Além disso, o Pará se apresenta como maior produtor do açaí, matéria-prima também natural e que apresenta compostos antioxidantes, fenólicos e cicatrizantes. O óleo extraído do açaí apresenta as mesmas características encontradas na polpa, o que o torna um excelente agente para incorporação em produtos adicionados de polímeros. O presente estudo relata a caracterização do amido de mandioca e avaliação das características biológicas do óleo de açaí, para a produção de um bioplástico ativo, com o intuito de incorporar neste, os benefícios encontrados no óleo. Para isso, alguns testes foram realizados utilizando plastificantes como glicerol, etilenoglicol e sorbitol na composição, para estruturação do bioplástico, onde o glicerol se mostrou a opção mais viável. O amido de mandioca foi seco a três temperaturas: 45, 60 e 75°C, para curva de secagem, e observou-se que o amido seco a 45°C teve melhor desempenho, sem perdas significativas em sua estrutura. As análises realizadas foram relevantes para detectar o potencial do óleo de açaí, na incorporação do bioplástico. Sabe-se que a caracterização do óleo é primordial para assegurar sua qualidade. O óleo de açaí foi avaliado quanto a RMN de ^1H que foi fundamental para a quantificação dos índices de iodo (67,05 I_2/g) e saponificação (109,06 mg KOH/g). Além disso, o óleo também apresentou resultados satisfatórios, com destaque para as atividades: antioxidante (532,56 μM de Trolox/g), anticâncer (com redução de atividade metabólica e viabilidade celular para as linhagens AGP01, SK19 e VERO, com IC_{50} 75,30; 80,15; 73,05 $\mu\text{g/ml}$, respectivamente), além do resultado promissor na atividade anti-inflamatória que testou gene alvo TNF- α (fator de necrose tumoral alfa) e detectou que as amostras analisadas com o óleo apresentaram efeito anti-inflamatório mesmo após 24h de exposição do ensaio, o que afirma sua bioatividade. Isso ressalta o potencial gigantesco do uso do óleo de açaí para o aprimoramento e aplicação em novos produtos, uma vez que provou ser um forte aliado contra doenças infecciosas e cancerígenas, com capacidade de recuperação celular. Sendo assim, incorporou-se o óleo em matriz polimérica a base de amido de mandioca, onde obteve-se o bioplástico com espessura (0,157 mm), PVA (19,39 $\text{g.mm.KPa}^{-1}.\text{d}^{-1}.\text{m}^{-2}$), transparência (2,60), e um dos destaques foi a análise colorimétrica que foi capaz de detectar tons de verde na amostra, representado pelos valores de -5,75 (a^*) e 10,90 (b^*), identificando a presença da clorofila oriunda do óleo de açaí. Dessa forma, foi possível notar a relevância do uso desse óleo para inclusão em produtos que tragam benefícios ao consumidor final, de forma a aproveitar as propriedades químicas e biológicas que esse óleo dispõe em sua composição, como é o caso do bioplástico, que contribui para o setor farmacêutico por apresentar bioatividade, além do possível uso no setor de embalagens e auxílio na redução do uso de plásticos oriundos do petróleo, por se tratar de um plástico 100% biodegradável.

Palavras-chave: bioplástico; mandioca; óleo de açaí; anticâncer; anti-inflamatório.

ABSTRACT

Concentration area: Process Development
Research line: Organic Process Engineering

Cassava is found in abundance in nature, especially in the State of Pará, from them it is possible to extract starch, rich in amylose and amylopectin, components that help in the production of bioplastics. Furthermore, Pará is the largest producer of açai, a raw material that is also natural and has antioxidant, phenolic and healing compounds. The oil extracted from açai has the same characteristics found in the pulp, which makes it an excellent agent for incorporation into products added on polymers. The present study reports the characterization of cassava starch and evaluation of the biological characteristics of açai oil, for the production of an active bioplastic, with the aim of incorporating the benefits found in the oil. To this end, some tests were carried out using plasticizers such as glycerol, ethylene glycol and sorbitol in the composition, to structure the bioplastic, where glycerol proved to be the most viable option. Cassava starch was dried at three temperatures: 45, 60 and 75°C, for the drying curve, and it was observed that starch dried at 45°C had better performance, without significant losses in its structure. The analyzes carried out were relevant to detect the potential of açai oil on incorporating bioplastic. It is known that the characterization of the oil is essential to ensure its quality. Açai oil was evaluated for ¹H NMR, which was essential for quantifying iodine (67.05 I₂/g) and saponification (109.06 mg KOH/g) levels. Furthermore, the oil also presented satisfactory results, with emphasis on the following activities: antioxidant (532.56 µM of Trolox/g), anticancer (with reduced metabolic activity and cell viability for the AGP01, SK19 and VERO lines, with IC₅₀ 75 .30; 80.15; 73.05 µg/ml, respectively), in addition to the promising result in anti-inflammatory activity that tested target gene TNF-α (tumor necrosis factor alpha) and detected that the samples analyzed with the oil presented anti-inflammatory effect even after 24 hours of exposure, which confirms its bioactivity. This highlights the gigantic potential of using açai oil for improvement and application in new products, as it has proven to be a strong ally against infectious and cancerous diseases, with cell recovery capacity. Therefore, the oil was incorporated into a polymeric matrix based on cassava starch, which resulted in bioplastic with a thickness (0.157 mm), PVA (19.39 g.mm.KPa-1.d-1.m-²), transparency (2.60), and one of the highlights was the colorimetric analysis that was able to detect shades of green in the sample, represented by values of -5.75 (a*) and 10.90 (b*), identifying the presence of chlorophyll from açai oil. In this way, it was possible to note the relevance of using this oil for inclusion in products that bring benefits to the end consumer, in order to take advantage of the chemical and biological properties that this oil has in its composition, as is the case of bioplastic, which contributes to the pharmaceutical sector for presenting bioactivity, in addition to its possible use in the packaging sector and helping to reduce the use of plastics from petroleum, as it is a 100% biodegradable plastic.

Keywords: bioplastic; cassava; açai oil; anticancer; anti-inflammatory.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma para obtenção do amido de mandioca.....	22
Figura 2 – Estrutura química da amilose (a) e amilopectina (b).....	23
Figura 3 – Estrutura química do glicerol.....	29
Figura 4 – Localização da roça na Vila do Acapu.....	31
Figura 5 – Colheita da mandioca.....	31
Figura 6 – Etapas de processamento do amido.....	32
Figura 7 – Testes dos bioplásticos.....	39
Figura 8 – Curva de secagem do amido de mandioca, nas temperaturas 45°C, 60°C e 75°C.....	43
Figura 9 – Espectro ATR-FTIR do amido de mandioca a 45°C.....	43
Figura 10 – Difratoograma do amido de mandioca.....	46
Figura 11 – Micrografia obtida através do MEV do amido de mandioca (2400x a 20µm).....	47
Figura 12 – Curva de TG para o amido de mandioca.....	48
Figura 13 – Curva de DSC para o amido de mandioca.....	48
Figura 14 – Espectro de RMN ¹ H para o óleo de açaí.....	52
Figura 15 – Espectro de ATR – FTIR do óleo de açaí.....	54
Figura 16 – Curva de TG para o óleo de açaí.....	55
Figura 17 – Curva DSC do óleo de açaí.....	55
Figura 18 – Cromatograma do óleo de açaí.....	56
Figura 19 – Mudança de coloração do óleo de açaí.....	59
Figura 20 – Análise do padrão de citotoxicidade ocasionada pelo óleo de EO nas linhagens AGP01, SK-19 E VERO.....	60
Figura 21 – Análise do padrão de citotoxicidade ocasionada pelo óleo de EO na linhagem AGP01.....	61
Figura 22 – Gráfico comparativo da expressão gênica TNF-α pelos tempos 2 e 24 horas dos grupos tratados com o óleo de açaí e não tratados.....	62
Figura 23 – Efeito do óleo de açaí sobre a expressão gênica de TNF-α, após 2 e 24 horas de tratamento.....	63
Figura 24 – Observação comparativa dos efeitos do óleo de açaí na recuperação celular.....	63
Figura 25 – Espectro ATR-FTIR para o bioplástico.....	68

Figura 26 – Difratoograma do bioplástico.....	69
Figura 27 – Micrografia do bioplástico de amido de mandioca incorporado de óleo de açaí (2400x a 20µm).....	70
Figura 28 – Curva de TG para o bioplástico.....	71
Figura 29 – Curva de DSC para o bioplástico.....	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Linhagens celulares utilizadas no ensaio de citotoxicidade do óleo de açaí.....	37
Tabela 2 – Testes para a obtenção do bioplástico.....	39
Tabela 3 – Parâmetros físico-químicos avaliados no óleo de açaí.....	50
Tabela 4 – Composição de ácidos graxos presentes no óleo de açaí.....	57
Tabela 5 – Parâmetros colorimétricos do óleo de açaí.....	58
Tabela 6 – Concentração inibitória média (IC ₅₀) do óleo de açaí nas linhagens AGP01, SK-MEL19 e VERO.....	60
Tabela 7 – Concentração inibitória média (CI ₅₀) do óleo de açaí na linhagem AGP01, após o segundo teste.....	61
Tabela 8 – Dados de PVA do bioplástico.....	65
Tabela 9 – Transmissão de luz e transparência do bioplástico.....	66
Tabela 10 – Dados colorimétricos do bioplástico.....	67

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	18
2. OBJETIVOS	20
2.1 OBJETIVO GERAL	20
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
3.1 MANDIOCA	21
3.1.1 Amido de mandioca	22
3.2 AÇAÍ	24
3.2.1 Óleo de açaí	25
3.3 EMBALAGENS	26
3.3.1 Plástico	26
3.3.2 Bioplásticos ativos	28
3.3.3 Plastificantes	29
4. METODOLOGIA	31
4.1 OBTENÇÃO DO AMIDO DE MANDIOCA	31
4.1.1 Colheita da mandioca	31
4.1.2 Processamento da mandioca	31
4.1.3 Separação por decantação	32
4.2 CARACTERIZAÇÃO DO AMIDO DE MANDIOCA	32
4.2.1 Umidade	32
4.2.2 Secagem do amido	33
4.2.3 Reflectância Total Atenuada (ATR)/Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)	33
4.2.4 Difração por Raios X (DRX)	33
4.2.5 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)/ Espectroscopia por energia dispersiva (EDS)	33
4.2.6 Análise termogravimétrica (TG) e Calorímetro Diferencial por Varredura (DSC)	34

4.3 ÓLEO DE AÇAÍ.....	34
4.4 CARACTERIZAÇÃO DO ÓLEO DE AÇAÍ.....	34
4.4.1 pH.....	34
4.4.2 Índice de Acidez	34
4.4.3 Índice de Saponificação e Iodo.....	34
4.4.4 Índice de peróxido	34
4.4.5 Compostos fenólicos totais.....	35
4.4.6 Atividade antioxidante por ABTS	35
4.4.7 Ressonância Magnética Nuclear (RMN).....	35
4.4.8 Reflexão Total Atenuada (ATR)/ Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)	35
4.4.9 Análise termogravimétrica (TG)/ Calorímetro Diferencial por Varredura (DSC)	35
4.4.10 Cromatografia Gasosa acoplada à Espectrometria de Massas (CG/EM).....	36
4.4.11 Colorimetria	36
4.4.12 Atividade anticâncer do óleo de açaí	36
4.4.13 Atividade anti-inflamatória e recuperação celular pós estresse do óleo de açaí.....	38
4.5 FORMULAÇÃO DO BIOPLÁSTICO.....	38
4.6 CARACTERIZAÇÃO DO BIOPLÁSTICO.....	40
4.6.1 Espessura.....	40
4.6.2 Permeabilidade ao Vapor de água (PVA).....	40
4.6.3 Transmissão de luz e valor de Transparência	41
4.6.4 Colorimetria	41
4.6.5 Difração por Raios X (DRX).....	41
4.6.6 Microscopia de Varredura (MEV)/ Espectroscopia por energia dispersiva (EDS)	42

4.6.7 Análise termogravimétrica (TG)/ Calorímetro Diferencial por Varredura (DSC)	42
5. RESULTADOS	43
5.1 AMIDO DE MANDIOCA	43
5.1.1 Umidade e Secagem do amido.....	43
5.1.2 Reflectância Total Atenuada (ATR) / Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) do amido de mandioca	44
5.1.3 Difração por Raios X (DRX) do amido de mandioca.....	45
5.1.4 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) / Espectroscopia por Energia Dispersiva (EDS) do amido de mandioca	46
5.1.5 Análise Termogravimétrica (TG) e Calorímetro Diferencial por Varredura (DSC) do amido de mandioca	47
5.2 ÓLEO DE AÇAÍ	49
5.2.1 Análises físico-químicas e antioxidante do óleo de açaí.....	49
5.2.2 Ressonância Magnética Nuclear (RMN) do óleo de açaí	52
5.2.3 Reflectância Total Atenuada (ATR) / Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) do óleo de açaí	53
5.2.4 Análise Termogravimétrica (TG) e Espectroscopia por Energia Dispersiva (DSC) do óleo de açaí	54
5.2.5 Cromatografia Gasosa acoplada à Espectrometria de Massas (CG/EM) do óleo de açaí.....	56
5.2.6 Colorimetria do óleo de açaí	58
5.2.7 Atividade anticâncer do óleo de açaí	59
5.2.8 Atividade anti-inflamatória e recuperação celular pós estresse do óleo de açaí.....	62
5.3 BIOPLÁSTICO	64
5.3.1 Espessura do bioplástico	64
5.3.2 Permeabilidade ao Vapor de Água (PVA) do bioplástico.....	64

5.3.3 Transmissão de luz e transparência	65
5.3.4 Colorimetria do bioplástico	67
5.3.5 Reflectância Total Atenuada (ATR) / Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) do bioplástico	68
5.3.6 Difração por Raios X (DRX) do bioplástico	68
5.3.7 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) / (Espectroscopia por Energia Dispersiva (EDS) do bioplástico	69
5.3.8 Análise Termogravimétrica (TG) e Calorímetro Diferencial por Varredura (DSC) do bioplástico	70
6. CONCLUSÃO.....	74
7. PROJEÇÕES DE PUBLICAÇÕES.....	75
REFERÊNCIAS.....	76

1. INTRODUÇÃO

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), também conhecida como macaxeira ou aipim, é pertencente à família Euphorbiaceae e classe Magnoliopsida, oriunda principalmente da América do Sul, constitui uma das principais culturas alimentícias por apresentar raízes tuberosas (que crescem debaixo da terra), além de possuir um amplo conteúdo de amido em sua composição, o que permite que esta seja utilizada para diferentes finalidades (Marinho *et al.*, 2021).

O amido extraído da mandioca é de suma importância por ser uma excelente fonte nutricional e energética, que pode representar cerca de 70 – 80% das calorias consumidas por seres humanos (Eliasson, 1996). O amido também é muito utilizado na produção de filmes biodegradáveis/bioplásticos por apresentar baixa toxicidade e alta reatividade química, o que indica que ele proporciona uma ótima barreira a oxigênio (Mchugh e Krochta, 1994).

Atualmente, além da utilização do amido, faz-se necessário outros componentes para dar bioatividade ao filme criado, como pode ser o caso de matérias-primas como o açaí. O açaí (*Euterpe oleracea*) é a fruta mais importante do Norte do Brasil devido suas características nutricionais, com um sabor delicioso e refrescante, além de ter um valor nutricional altamente energético, ocasionado pela presença de alto teor de lipídios, carboidratos e proteínas, o que o torna um alimento calórico (Cedrim *et al.*, 2018).

No caso do açaí, a extração do óleo ocorre por meio de solventes orgânicos submetidos em altas temperaturas (Castro, R *et al.*, 2021), o óleo apresenta coloração verde-escura, ocasionada pela presença de pigmento clorofila que além de conferir cor, traz benefícios à saúde (Lira *et al.*, 2021). Além disso, possui em sua composição elevadas propriedades antioxidantes, assim como teores de polifenóis, ácidos fenólicos, flavonóides e lignanas (Guimarães *et al.*, 2020).

A escolha do uso de óleos de origem vegetal para a composição dos bioplásticos ativos está relacionada às propriedades que estes podem agregar aos produtos finais, gerando um material natural, funcional, biodegradável, diminuindo o impacto ambiental. A maioria dos plásticos sintéticos são incapazes

de se degradar de forma natural, consequência disso são os sérios problemas ambientais de poluição, uma vez que a incineração de resíduos tem alto custo, além de emitir gases prejudiciais ao meio ambiente. Sendo assim, como substituto é possível ressaltar a produção de polímeros bioderivados de produtos naturais (Hafila *et al.*, 2022).

Os bioplásticos, também chamados de biofilmes e/ou filmes biodegradáveis são polímeros produzidos com materiais biológicos, tais como polissacarídeos, proteínas e lipídios. Assim como os revestimentos biodegradáveis, os bioplásticos surgem da dispersão ou solubilização de polímeros em solventes como água, além da junção de aditivos plasticizantes e outros ligantes, como sorbitol e glicerol, resultando em uma solução filmogênica (Reis, 2021).

Dessa forma, cabe ressaltar a importância de investir na inovação de produtos, com isso surge a incorporação do óleo de açaí na produção do bioplástico ativo no intuito de atribuir as propriedades encontradas no óleo, ao bioplástico. O qual contribuirá não apenas para diminuição do impacto ambiental, mas auxiliará o consumidor por meio de sua atividade bioativa, seja esta aplicada a indústrias farmacêuticas e de cosméticos, ou até mesmo no setor de embalagens.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Elaboração de um bioplástico a base de amido de mandioca incorporado com óleo de açaí, para utilização nas indústrias farmacêutica, cosméticos e de embalagens.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Coletar a mandioca para o processamento do amido;
- b) Extrair o amido de mandioca;
- c) Elaborar uma formulação para a produção de bioplástico de amido de mandioca incorporado com óleo de açaí;
- d) Realizar análises físico-química do amido de mandioca, óleo de açaí e bioplástico (pH, acidez, saponificação, iodo, peróxidos, compostos fenólicos, ressonância magnética nuclear, espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier e colorimetria);
- e) Realizar análises térmicas no amido de mandioca, óleo de açaí e bioplástico (Análise termogravimétrica e Calorimetria de varredura diferencial);
- f) Realizar análises biológicas no óleo de açaí (Atividade antioxidante, anticâncer e anti-inflamatória);
- g) Realizar análises morfológicas no amido de mandioca e no bioplástico (Microscopia eletrônica de varredura/Espectroscopia por energia dispersiva);
- h) Realizar análises físicas (Difração por raios X, permeabilidade ao vapor de água, transmitância de luz e transparência);
- i) Analisar os resultados e verificar a possibilidade para uso em indústrias de diferentes âmbitos.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 MANDIOCA

A mandioca é um tubérculo de grande visibilidade por poder ser utilizado de forma integral na alimentação de diferentes espécies animais. Quanto à composição, as raízes de mandioca possuem alto teor de carboidratos não estruturais, principalmente o amido, que tem participação quanto ao fornecimento de energia (Fernandes *et al.*, 2016).

Dentre as características importantes da mandioca, destaca-se o fato deste tubérculo poder ficar até dois anos sem ser colhido, fazendo que a terra funcione como uma espécie de armazenamento, podendo ser utilizada em diferentes épocas (Oliveira, 2021).

A maior parte das produções de mandioca são realizadas em pequenas propriedades agrícolas. A mandioca também possui propriedades únicas que a caracterizam como um alimento adequado para produção com rendimentos razoáveis, mesmo em áreas com solo e condições climáticas desfavoráveis (FAO, 2016).

No cenário global, nota-se a importância do cultivo de mandioca no Brasil, uma vez que o país tem participação em cerca de 13% da produção mundial de mandioca, caracterizando-se como o quarto maior produtor mundial, ficando atrás apenas da Nigéria, República Democrática do Congo e Tailândia (FAO, 2021).

Por conseguinte, a mandioca se constitui o sexto alimento mais importante do mundo, já que o seu consumo abrange mais de 800 milhões de famílias por todo o mundo. Isso acontece devido a mandioca conseguir ser produzida em diferentes tipos de ambientes, incluindo solos secos, além de ser uma importante fonte de energia, tanto para alimentação humana quanto animal (Abreu *et al.*, 2020).

A mandioca está distribuída em todo o território nacional, e é vista principalmente em pequenas propriedades, grande parte destinadas à agricultura familiar e outras que auxiliam no abastecimento de indústrias locais como as de farinha, polvilho, sem falar do comércio in natura da mandioca de mesa (Aguiar *et al.*, 2021).

Segundo o Levantamento Sistemático de Produção Agrícola do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, no mês de agosto de 2023, a produção de mandioca no Brasil foi de 18.437.120 toneladas. Dentre os estados brasileiros, o Pará (Região Norte) se destaca como o maior produtor nacional de mandioca, totalizando uma produção de 4.058.418 toneladas, cerca de 22,02% da produção nacional (IBGE, 2023).

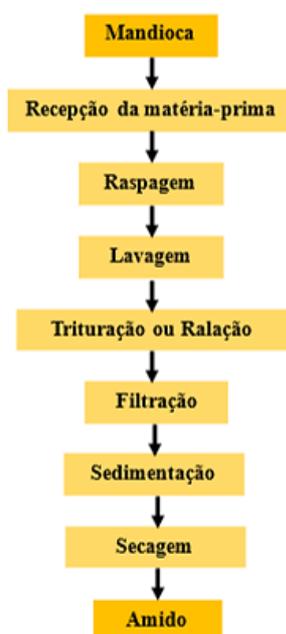
Para uso industrial, a mandioca é colhida, onde suas raízes são retiradas e utilizadas como parte restante a ser processada na indústria, obtendo-se a farinha d'água, farinha de tapioca, além da extração do amido (Matte *et al.*, 2021).

3.1.1 Amido de mandioca

O amido é um produto final obtido pelo processo fotossintético das plantas e constitui a maior reserva energética dos vegetais, é uma substância encontrada em sementes, raízes e tubérculos como a mandioca (Pardo *et al.*, 2022).

A extração do amido pode sofrer variações de acordo com a tecnologia aplicada para a sua obtenção. A extração de forma artesanal consiste em etapas como: recepção da matéria prima, raspagem, lavagem, trituração ou ralação, filtração, sedimentação e secagem (Figura 1) (Moyano e Maxi, 2021).

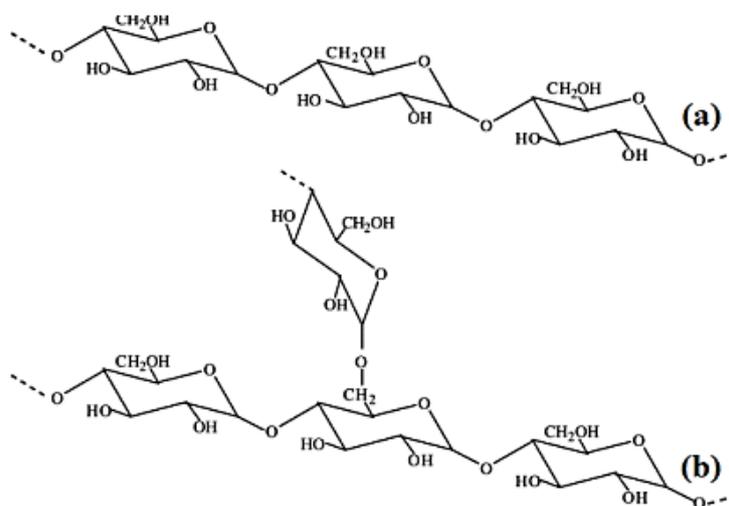
Figura 1 – Fluxograma para obtenção do amido de mandioca



Fonte: Adaptado de Moyano e Maxi, 2021.

As raízes de mandioca possuem em sua composição uma quantidade significativa de amido com base seca, onde cerca de 20% desse amido é amilose (Figura 2a) e a maior parte é caracterizada pela presença de amilopectina (Figura 2b), sendo aproximadamente 80% (Chisenga *et al.*, 2019).

Figura 2 – Estrutura química da amilose (a) e amilopectina (b).



Fonte: Lima, 2021.

As características funcionais dos amidos dependem principalmente de fatores físico-químicos, assim como as propriedades estruturais relacionadas ao tamanho, forma, razão amilose/amilopectina, comprimento da cadeia de amilopectina, etc (Del Buono *et al.*, 2019).

Na indústria, o amido é obtido por meio da moagem úmida, peneiramento e secagem da mandioca. Esse polímero é também chamado de amido nativo, e quando sofre modificações para atingir propriedades específicas, recebe o nome de amido modificado (Lima, 2021).

O amido encontra-se entre os biopolímeros com características mais promissoras, por atender muitas necessidades industriais devido à sua renovabilidade, ser abundante na natureza, biodegradável além de apresentar um preço competitivo no mercado (Hazrati *et al.*, 2021; Ilyas *et al.*, 2018; Jumaidin *et al.*, 2017).

Muitos estudos já estão sendo realizados, utilizando o amido como matéria-prima para a criação de filmes biodegradáveis, como é o caso do estudo realizado por Pessoa (2020) que desenvolveu filmes de amido/argila sepiolita e nanopartículas de prata com propriedades de barreiras aprimoradas.

Friedrichsen *et al.*, (2022) indicam em seu estudo que o amido, principalmente o amido oriundo da mandioca, é uma boa proposta para utilização na produção de embalagens biodegradáveis, como forma de substituição de materiais plásticos de origem fóssil, quando essa criação é adicionada de uma funcionalidade ou bioatividade.

A bioatividade é oriunda dos benefícios provenientes da composição química das amostras, por isso, torna-se necessária a associação do amido a outras matérias primas naturais, como por exemplo: o açaí.

3.2 AÇAÍ

O açaí (*Euterpe oleracea*) é um líquido muito consumido pela população amazônica, na forma de suco ou “vinho” de açaí, com adição ou não de açúcar, somando com farinha de mandioca ou farinha de tapioca, para acompanhar carnes, peixes, camarão, e outros pratos (Rosas, 2021).

A Instrução Normativa nº 37, de 1 de outubro de 2018 afirma que a classificação do açaí é determinada de acordo com a quantidade de água empregada no processo de produção (dentre as etapas de elaboração), devendo apresentar as seguintes características físico-químicas: sólidos totais (mínimo de 8%), pH (4–6,2), acidez (máxima de 3,2 g/100g), açúcares totais (máximo de 6g/100gms), proteínas (mínimo de 7g/100gms), polifenóis totais (mínimo de 1,80g/100gms) e antocianinas (mínimo de 0,44 g/100gms), onde gms= grama de matéria seca (BRASIL, 2018).

Segundo Vieira *et al.*, (2018) o açaí é popularmente encontrado de maneira comercial na forma de polpa, que por sua vez é obtida em diferentes concentrações, sendo: fina (8% a 11% de sólidos), média (11% a 14% de sólidos) e grossa (14% a 17% de sólidos).

A polpa de açaí tem em sua composição 31% de flavonóides, 23% de compostos fenólicos, 11% de lignóides e 9% de antocianinas. Dentre as antocianinas presentes na polpa de açaí, a cianidina-3-O-glicosídeo e a cianidina-3-O-rutinosídeo são as responsáveis por determinar a pigmentação roxa observada no fruto (Yamaguchi *et al.*, 2015).

As antocianinas observadas no açaí são pigmentos naturais, solúveis em água e que possuem propriedades espectrais que variam de colorações azul, roxo e vermelha (Lee, 2019). O conteúdo de antioxidante presente nas antocianinas tem grande atuação nos sistemas biológicos por possibilitar que

esses compostos neutralizem o estresse oxidativo, evitando doenças como diabetes mellitus e alguns tipos de câncer (Toshima *et al.*, 2021).

O consumo de açaí à nível mundial tem se expandido, e com isso alguns analistas até sugerem que o mercado deverá crescer US \$ 317,55 milhões entre o período de 2021–2025 (Technavio, 2021). No Brasil, o açaí é bastante consumido, principalmente no Estado do Pará (Região Norte), onde o fruto é produzido em alta escala (Nagata *et al.*, 2020).

O Levantamento mais recente do IBGE, aponta que a produção de açaí no Brasil no ano de 2021, alcançou 1.478.113 toneladas, destacando-se o Estado do Pará como o maior produtor, com produção de 1.388.116 toneladas, representando mais de 93,91% da produção do país. Além disso, o açaí na região Norte, especialmente no Pará, obteve um alto valor de produção avaliado em 5.132.183 mil reais (IBGE, 2021).

A região amazônica apresenta inúmeras fontes de espécies vegetais que são capazes de produzir sementes oleaginosas, com isso ocorre a extração de óleos vegetais com diferentes propriedades químicas e físico-químicas, os quais possuem potencial econômico, tecnológico e nutricional, aumentando o interesse científico para o uso desses óleos na fabricação de produtos para diferentes áreas (Sarquis *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2018).

O açaí é um excelente produtor de óleo, que pode ser utilizado em diversos setores comerciais, como: farmacêutico, cosméticos, nutracêuticos, alimentícios e até mesmo para a produção de combustíveis renováveis. Com isso, acredita-se que é importante a extração e melhor exploração deste óleo, a fim de observar a qualidade e composição química, para valorização da espécie e ampliar a comercialização do óleo obtido deste fruto (Lira *et al.*, 2021).

3.2.1 Óleo de açaí

O óleo de açaí (*Euterpe oleracea*) apresenta os mesmos benefícios oriundos do fruto, e tem sido muito utilizado devido seu alto poder de regeneração celular, além de ter potencial antioxidante, regulação de lipídeos e capacidade de estimular o processo de cicatrização. A atividade antioxidante encontrada no óleo é oriunda das antocianinas que estão presentes na polpa do fruto, que também auxiliam nas propriedades anti-inflamatórias (Petruk *et al.*, 2017).

A composição química do óleo de açaí atribui funções orgânicas que atuam na saúde humana, prevenindo doenças como câncer, além de apresentar função pró-apoptótica (autodestruição da célula) e antiproliferativa em células (Cedrin *et al.*, 2018).

Além disso, este óleo denota em sua composição ácidos fenólicos, catequina e numerosos oligômeros de procianidina que são detectados em maiores concentrações quando comparado com a polpa do açaí (Pacheco-Palencia *et al.*, 2008).

Isso acontece porque o óleo fixo de açaí é rico em Ômega 6, composto responsável pela proteção da pele contra desidratações e melhorar a produção de ceramidas, hidratantes naturais da própria pele. O óleo de açaí também é indicado para auxiliar na hidratação e antienvhecimento da pele, além de ser rico em ácidos graxos essenciais, que combatem feridas cutâneas por serem capazes de promover a aceleração quanto ao processo cicatrizante, atuando também como bactericidas (Bernaud e Funchal, 2011).

Os óleos vegetais são relevantes para o uso em produtos naturais por apresentarem compostos bioativos com ação antioxidante, por auxiliarem no retardamento ou neutralização das reações oxidativas que podem ocorrer no organismo, de forma a prevenir o surgimento de diversas doenças, proporcionando longevidade e benefícios à saúde do consumidor (Silva *et al.*, 2017).

Além disso, os óleos vegetais essenciais podem ser incorporados em matriz polimérica, como alternativa para substituir produtos químicos convencionais, uma vez que apresentam propriedades antifúngicas e antibacterianas (Chouhan *et al.*, 2017).

Para o presente estudo, a escolha do uso de óleos de origem vegetal para a composição dos bioplásticos ativos está relacionada às propriedades que estes podem agregar ao produto final, gerando um material natural, funcional, biodegradável, diminuindo o impacto ambiental.

3.3 EMBALAGENS

3.3.1 Plástico

A palavra “plástico” deriva do termo grego plásticos, que traduzido é “capaz de ser moldado”. Em primeiro momento as sacolas plásticas produzidas

no mundo derivaram de celulose, ao decorrer dos anos foram substituídas por resinas petroquímicas, de forma a diminuir os custos de produção e garantir uma melhor qualidade e durabilidade (Plastivida, 2022).

Na sociedade moderna, é possível afirmar que a presença do uso de materiais plásticos contribui de forma significativa para a substituição de materiais como a madeira e metais, principalmente na confecção de novos produtos, a desvantagem encontra-se devido ao longo período de degradação dos plásticos (Alves *et al.*, 2021).

Os plásticos convencionais derivam do petróleo e levam mais de 100 anos para se degradar no ambiente, acumulando-se na natureza e contribuindo para a poluição ambiental (CREA-PR, 2021).

O uso de plásticos oriundos do petróleo no mundo é grande, estima-se que as indústrias de plástico serão responsáveis por 20% do consumo de petróleo até 2050, posto que atualmente cerca de 8–10% da produção total de petróleo bruto é destinada à produção de plásticos (UNEP, 2018).

Com o aumento do uso de plásticos tradicionais, as produções mundiais de plástico chegaram à 360 milhões de toneladas no ano de 2019, sendo destinadas principalmente para o setor de embalagens alimentícias, contribuindo para o acúmulo de resíduos no ecossistema (Lebreton e Andrady, 2019).

Um estudo realizado no ano de 2018 pela World Wide Fund for Nature (WWF), detectou que o Brasil é o quarto maior produtor de lixo plástico do mundo, produzindo 11,3 milhões de toneladas por ano, onde apenas 145 mil toneladas são recicladas, cerca de 1,28% (WWF, 2018).

Os plásticos biodegradáveis se tornam propícios para a gestão de resíduos plásticos e seu uso aplicado a embalagens está relacionado à sua decomposição, já que estes devolvem metabólitos enriquecidos (monômeros e oligômeros) ao solo, auxiliando na redução de resíduos (Lim e Thian, 2021). Por isso, é necessário o desenvolvimento de materiais biodegradáveis para diminuir a quantidade de lixo gerado pelas grandes indústrias de plásticos sintéticos.

Atualmente, muitas pesquisas são desenvolvidas para criação de novos materiais que possam surgir como substituto do plástico tradicional, por ser um produto de uso massivo e elevada produção que carrega diversos aspectos negativos ao ambiente. A alternativa mais viável encontrada está relacionada ao emprego de bioplásticos (Bezerra e Andrade, 2021).

3.3.2 Bioplásticos ativos

A Associação Brasileira da Indústria de Plástico – ABIPLAST considera bioplástico como um produto com as mesmas características de um plástico convencional, diferenciando-se por ter matéria-prima de fontes vegetais como amido, celulose, milho e ou cana-de-açúcar, além de ter um ciclo de vida que sofre processo de compostagem em até 180 dias, causado pela ação de microrganismos, em condições específicas de calor, umidade, oxigênio e nutrientes orgânicos (ABIPLAST, 2022).

O mercado dos bioplásticos é crescente e estes podem se tornar competitivos quanto aos custos de processamento, quando comparados ao plástico convencional à base de petroquímicos como Polietileno Tereftalato (PET), Polietileno (PE) e Polipropileno (PP). Sabe-se que, a conscientização ao uso de materiais favoráveis ao meio ambiente é de suma importância, dessa forma os bioplásticos ganham mais visibilidade, porém é necessário pesquisas mais detalhadas para que se possa investigar o uso destes e assim seja possível atingir um mercado superior ao atual (Baquera *et al.*, 2021).

Os bioplásticos obtidos de amido têm características físicas adequadas, uma vez que não possuem odores, são incolores, sem sabor e impermeáveis ao oxigênio (Sadeghizadeh-Yazdi *et al.*, 2019) e para aumentar o potencial antioxidante e antimicrobiano dos filmes podem ser utilizados extratos naturais de plantas, frutas e óleos essenciais de origem vegetal, pois são eles que transmitem bioatividade (Halonen *et al.*, 2020).

O emprego de embalagens biopoliméricas é importante devido as vantagens apresentadas, já que são provenientes de fontes renováveis, não geram resíduos e problemas de saúde pública e ambiental, logo, surgem como uma estratégia para impulsionar o uso como substituto de embalagens oriundas do petróleo (Faustino *et al.*, 2021).

Além de auxiliar na redução da poluição, esses bioplásticos podem ser usados por empresas que visam o uso de materiais biodegradáveis na fabricação de seus produtos. A empresa Lego, por exemplo, estabeleceu a meta de conseguir fabricar suas peças utilizando plástico 100% biodegradável até 2030 (Brigidano, *et al.*, 2021).

As indústrias de embalagens buscam alternativas biodegradáveis para promover sustentabilidade, com isso, muitas indústrias têm investido em

materiais bioplásticos, o que torna esses biopolímeros objeto de estudos, uma vez que estes requerem investigação por ainda apresentarem falhas com o uso em larga escala e a perda de algumas propriedades, em alguns casos (Zhao *et al.*, 2019).

Dessa forma, surge o interesse em adicionar misturas desses biopolímeros na produção de bioplásticos para melhoramento das características finais, possibilitando produtos de diferentes texturas e propriedades físico-químicas, que podem ser direcionados à diversas aplicações em indústrias de diferentes setores (Jiménez-Rosado *et al.*, 2019). Como é o caso da adição de plastificantes para incorporação de suas propriedades no bioplástico.

3.3.3 Plastificantes

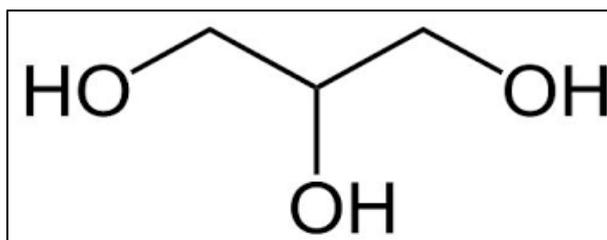
Os plastificantes são aditivos que auxiliam na rigidez de polímeros, como o PVC, conferindo flexibilidade. Isso acontece porque eles se intercalam entre as cadeias poliméricas, diminuindo a tensão e tornando mais maleável. Além de já serem objeto de estudo quanto suas propriedades mecânicas, mecanismos de ação e propriedades materiais (Rabello, 2020).

Na elaboração dos bioplásticos, faz-se necessário a adição de três componentes: agente formador, solvente e plastificante, a fim de se utilizar um padrão para cada um desses compostos, uma vez que cada um possui uma finalidade específica na formação da superfície polimérica (Sales *et al.*, 2021).

Além disso, na produção dos filmes, as moléculas de amilose e amilopectina geram filmes com estrutura bifásica e como consequência, geram filmes rígidos e quebradiços. Por isso, é necessário o uso de plastificantes como o glicerol e o sorbitol, para conferir flexibilidade aos bioplásticos (Luchese, 2018).

A estrutura química do glicerol está representada na Figura 3.

Figura 3 – Estrutura química do glicerol.



O glicerol é um líquido incolor derivado de fontes naturais ou petroquímicas, que apresenta viscosidade e ausência de odor. Esse plastificante

só pode ser denominado glicerol quando sua composição for pura e livre de contaminantes, diferenciando-se da glicerina que também é um termo usado para fazer referência ao glicerol, mas que apresenta pureza acima de 95% (Pereira e Souza, 2019).

Estudos recentes já utilizaram o glicerol como plastificante na produção de biofilmes. Leite *et al.*, (2019) obtiveram um biofilme por meio da junção do glicerol e gelatina, atribuindo a este, propriedade antibacteriana. Outro estudo, realizado por Reis *et al.*, (2011) demonstra que a incorporação de glicerol tem sido uma excelente opção para a produção de filmes biodegradáveis.

Visando isso, o presente estudo optou pela inovação do uso do glicerol como plasticizante para produção de um bioplástico incorporado ao óleo de açaí, como forma de ampliar ainda mais os estudos relacionados ao glicerol, uma vez que na base de dados científica não se identificou a aplicação do glicerol ligada ao amido de mandioca e óleo de açaí, num mesmo produto.

4. METODOLOGIA

4.1 OBTENÇÃO DO AMIDO DE MANDIOCA

4.1.1 Colheita da mandioca

Para obtenção da mandioca, realizou-se uma visita em uma roça localizada em um pequeno vilarejo do município de Vigia de Nazaré – PA, popularmente conhecido como Vila do Acapu, seguindo coordenadas geográficas (0°53'10.2"S, 448°05'40.6"W) (Figura 4), com latitude (-0,886160) e longitude (-48,094621), para acompanhamento da colheita das mandiocas (Figura 5).

Figura 4 – Localização da roça na Vila do Acapu.

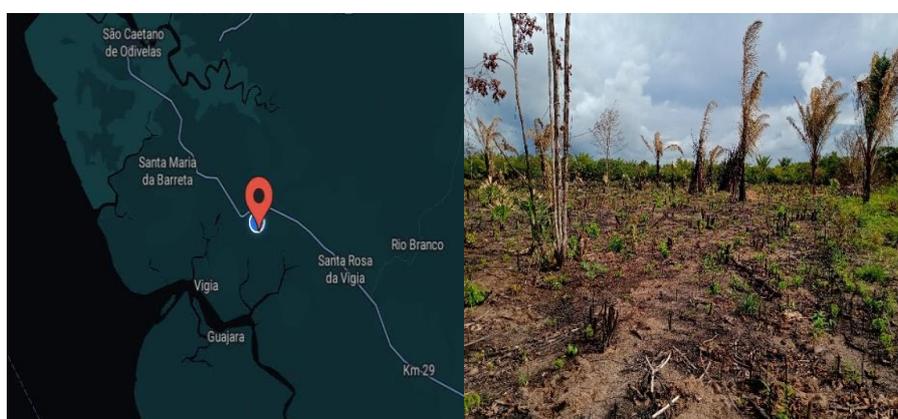


Figura 5 – Colheita da mandioca.



4.1.2 Processamento da mandioca

As mandiocas colhidas foram levadas à casa de produção, no próprio vilarejo, em seguida passaram pelas etapas de processamento (Figura 6): (a) raspagem, (b) lavagem e (c) foram raladas por meio de um ralador artesanal produzido pelo próprio produtor (confeccionado com uma chapa metálica furada por pregos, tendo como base uma superfície de madeira). Posteriormente, (d) filtrada em tecido de algodão e o sumo foi reservado durante 10 horas em um

recipiente metálico, juntamente com água, para a obtenção do amido após (e) decantação.

Figura 6 – Etapas de processamento do amido.



4.1.3 Separação por decantação

O amido de mandioca foi obtido após a etapa de separação e decantação do líquido amarelo (que se tornará em tucupi) e o sólido decantado (que após secagem, torna-se o amido de mandioca).

O amido é comercializado na região de Vigia – PA, onde foram adquiridos 4 quilos de amido no ponto comercial do produtor. O recebimento dessa matéria-prima ocorreu no Laboratório de Engenharia Química da UFPA, onde foi submetida a secagem em estufa à 45°C, até peso constante, em seguida foi embalada à vácuo para o armazenamento e posterior utilização.

A amostra coletada e comprada foi cadastrada no Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e do Conhecimento Tradicional Associado (SisGen), sob cadastro A434CD6, conforme previsto na Lei nº 13.123/2015 e seus regulamentos.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DO AMIDO DE MANDIOCA

4.2.1 Umidade

A umidade do amido de mandioca foi realizada seguindo o método 012/IV - Perda por dessecação (umidade) – Secagem direta em estufa à 105°C, descrito pelo Instituto Adolf Lutz (1985).

4.2.2 Secagem do amido

A Secagem do amido de mandioca foi realizada no Laboratório de Processos Biotecnológicos (LABIOTEC/FEA – UFPA). Para isso, levou-se em consideração três temperaturas: 45, 60 e 75°C, em seguida realizou-se triplicatas de 50g de amido, para cada temperatura, com secagem em estufa à vácuo (Quimis Q819V2), com intervalo de 30 minutos para cada pesagem (resfriadas em dessecador plástico por 5 minutos antes da pesagem) e o processo se repetiu até a obtenção do peso constante do amido. Posteriormente, os dados foram tratados no software Excel 2019, para a criação da curva de secagem das três temperaturas.

4.2.3 Reflectância Total Atenuada (ATR)/Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)

A análise por ATR-FTIR do amido foi realizada na região de 4000cm⁻¹ a 600 cm⁻¹, com resolução de 8 cm⁻¹ e 32 varreduras, (Cary 360, Agilent, Santa Clara, CA, EUA) com cristal de seleneto de zinco e um módulo ATR. Os espectros obtidos foram analisados por meio do software Spectragryph®, versão 1.2.14.

4.2.4 Difração por Raios X (DRX)

A técnica de detecção por DRX foi avaliada no Laboratório de Difração de Raios X (PPGF/UFPA) por meio de difratômetro (Bruker, D8 Advance) com geometria Bragg-Brentano e detector LynxEye, considerando as especificações: Tubo de cobre; Radiação de cobre ($K\alpha_1=1,540598 \text{ \AA}$); Faixa angular (2θ) = 5-110°; Voltagem do tubo = 40 kV; Corrente do tubo = 40 mA; Fenda divergente = 0,6mm; Fenda Soller = 2,5°; Filtro $K\beta$ de Ni. Considerando os parâmetros de coleta padrão do laboratório: Faixa angular (2θ) = 5-110°; Passo angular de 0,02°; Tempo por passo 0.1s.

4.2.5 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)/ Espectroscopia por energia dispersiva (EDS)

A MEV/EDS do amido de mandioca foi realizada no Laboratório de Nanomanipulação (PPGF/UFPA), utilizando microscópio (Tescan, Vega3), com corrente do feixe de elétrons de 85-90 μA . As amostras precisaram ser trituradas até obterem a consistência de um pó, e foram depositadas sobre um porta-amostra com o auxílio de fita adesiva de carbono.

As amostras foram metalizadas em Metalizadora (Quorum Technologies, SC7620) com Au/Pd para permitir condutividade elétrica necessária no processo de formação das imagens.

4.2.6 Análise termogravimétrica (TG) e Calorímetro Diferencial por Varredura (DSC)

As propriedades térmicas de TG e DSC do amido foram detectadas em analisador térmico simultâneo (Netzsch STA modelo 449 F3 – Jupiter), por meio de medidas simultâneas de TG e DSC, razão de aquecimento de 10°C/min, e intervalos de temperaturas entre 40 – 500°C em atmosfera de gás nitrogênio e fluxo de 100mL/min.

4.3 ÓLEO DE AÇAÍ

O óleo fixo de açaí (*Euterpe oleracea*) foi adquirido de uma empresa da região de Belém e armazenado em temperatura ambiente para posterior aplicação nos bioplásticos ativos.

4.4 CARACTERIZAÇÃO DO ÓLEO DE AÇAÍ

4.4.1 pH

O pH foi medido por meio de leitura direta em pHmetro digital microprocessado de bancada (Bel Engineering ®) a 25°C.

4.4.2 Índice de Acidez

Para determinação do índice de acidez, utilizou-se a metodologia descrita pelo Instituto Adolf Lutz (1985), modificando-se o agente titulante Hidróxido de Sódio (NaOH) pelo Hidróxido de potássio (KOH). Dessa forma, os resultados obtidos foram expressos em mg de KOH/g.

4.4.3 Índice de Saponificação e Iodo

Os índices de saponificação e iodo foram quantificados por meio dos dados obtidos no espectro RMN para ¹H (Reda, 2010), utilizando-se o software TopSpin 3.6.0 para o cálculo dos parâmetros.

4.4.4 Índice de peróxido

O índice de peróxido seguiu o modelo Cd 8-53 descrito pela AOCS (1990), que determina as substâncias em meq de peróxido a cada 1000g de amostra, por meio da oxidação do iodeto de potássio nas condições do teste.

4.4.5 Compostos fenólicos totais

Os compostos fenólicos totais foram analisados, seguindo método do reagente Folin-Ciocalteu, onde é realizada a leitura em espectrofotômetro UV-Visível (Mono-feixe, UV-M51 BEL), à um comprimento de onda de 765 nm.

4.4.6 Atividade antioxidante por ABTS

A atividade antioxidante foi realizada pelo método de sequestro do radical ABTS, por meio de leitura em espectrofotômetro UV 1800 (Shimadzu, Kyoro, Japan) com comprimento de onda de 734 nm (Re *et al.*, 1999).

4.4.7 Ressonância Magnética Nuclear (RMN)

A RMN foi realizada em espectrômetro Bruker Avance III HD (Bruker®, EUA), utilizando CDCl_3 como solvente, a fim de obter os espectros de ^1H , utilizando-se desses dados de ^1H para o cálculo dos índices de iodo e de saponificação. O tratamento dos dados foi desenvolvido por meio do software TopSpin 3.6.0 (Reda, 2010).

4.4.8 Reflexão Total Atenuada (ATR)/ Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)

A análise por ATR para medição dos espectros de FTIR do óleo de açaí foi realizada na região de 4000cm^{-1} a 600cm^{-1} , com resolução de 8cm^{-1} e 32 varreduras, utilizando-se o equipamento Cary 360 (Agilent, Santa Clara, CA, EUA) com cristal de seleneto de zinco e um módulo ATR. Os espectros obtidos analisados por meio do software Spectragryph®, versão 1.2.14.

4.4.9 Análise termogravimétrica (TG)/ Calorímetro Diferencial por Varredura (DSC)

As propriedades térmicas de TG e DSC do óleo de açaí foram realizadas no Laboratório PeD (PPGCF/UFGA) e detectadas em analisador térmico simultâneo (Netzsch STA modelo 449 F3 – Jupiter), por meio de medidas simultâneas de TG e DSC, razão de aquecimento de $10^\circ\text{C}/\text{min}$, e intervalos de temperaturas entre $40 - 500^\circ\text{C}$ em atmosfera de gás nitrogênio e fluxo de $100\text{mL}/\text{min}$.

4.4.10 Cromatografia Gasosa acoplada à Espectrometria de Massas (CG/EM)

Para a determinação da composição de ácidos graxos por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas foi realizada uma transesterificação no óleo de açaí. A cromatografia a gás foi realizada no Laboratório Adolpho Ducke (LAD), do Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG), utilizando o hidrogênio como gás de arraste (Shimadzu QP-2010, aparelhado com Detector de Ionização de Chama (DIC)). A identificação dos componentes voláteis teve como base o Índice de Retenção Linear (IR) e o padrão de fragmentação observados nos espectros de massas.

4.4.11 Colorimetria

Os parâmetros de cor foram analisados por leitura direta em colorímetro portátil digital (Konica Minolta CR-400, Osaka, Japan), com fonte de iluminação CIE D65 e ângulo do observador a 0°. Os resultados obtidos foram expressos nas coordenadas cromáticas L*, a*, b*, C* e h°, descritas pelo CIE, onde L* representa a luminosidade; a*, a variação de cor verde (-a*) à vermelha (+a*); b*, a variação do azul (-b*) à amarela (+b*); C* representa o Chroma que define a intensidade da coloração, e h° que apresenta o ângulo Hue que é indicativo da tonalidade da cor (0°= vermelho, 90°= amarelo, 180°=verde e 270°= azul) (CIE, 1984).

4.4.12 Atividade anticâncer do óleo de açaí

A atividade anticâncer foi realizada no Hospital Universitário João de Barros Barreto (HUJJB) no Núcleo de Pesquisas em Oncologia (NPO). Para avaliação da atividade anticâncer, utilizou-se o teste de citotoxicidade *in vitro* realizado em duas etapas:

a) Cultivo Celular

As linhagens celulares tumorais utilizadas no estudo foram: SK-MEL-19 (Melanoma humano), AGP-01 (Ascite gástrica) e a linhagem não neoplásica, VERO (Rim de Macaco Verde Africano) (Tabela 1). Estas foram cultivadas em meio DMEM, suplementados com 10% de soro fetal bovino e 1% de antibióticos (penicilina/estreptomicina), mantidas em estufa a 37°C e atmosfera contendo 5% de CO₂.

Tabela 1 – Linhagens celulares utilizadas no ensaio de citotoxicidade do óleo de açaí.

Linhagem	Tipo histológico	Região	Origem
AGP01	Adenocarcinoma Gástrico	Antro e do corpo do estômago	Humana
SK-Mel-19	Melanoma	Pele	Humana
VERO	Epitelial	Rim	Animal

b) Ensaio do MTT: Citotoxicidade *in vitro* em células tumorais

O fundamento do teste baseia-se em na redução do sal 3-(4,5-dimetil-2-tiazol) -2,5-difenil-2-H-brometo de tetrazólio (MTT), um corante tetrazólio de cor amarela, em cristais de formazan de cor púrpura, a partir de substratos de enzimas desidrogenases mitocondriais, presentes somente nas células metabolicamente ativas.

Então o produto formazan gerado é analisado por espectrofotometria e os espectros de células tratadas e não tratadas com os compostos em teste dão uma estimativa da extensão da citotoxicidade (Mirzayans *et al.*, 2018).

Para o experimento, as células foram semeadas em placas de 96 cavidades na concentração de 3×10^3 células/poço. O óleo de açaí foi dissolvido em dimetil sulfóxido (DMSO) e adicionado em placa de 96 poços (100 μ L/poço), desse modo foi realizado ensaio de dose-resposta com uma curva de concentrações variando entre 200 – 3,125 μ g/mL.

Após o período de tratamento de 72 horas e em estufa a 5% de CO₂, as placas foram retiradas e o sobrenadante foi aspirado e adicionado 100 μ L de solução de MTT à 0,5 mg/ml diluída em meio DMEM com incubação em estufa a 5% de CO₂ por 3h. Em seguida, o sobrenadante foi aspirado e o precipitado foi novamente suspenso em 100 μ L de DMSO e agitado por 10 minutos, até completa dissolução dos cristais de formazan.

As placas foram analisadas em espectrofotômetro de placa a um comprimento de onda de 570 nm. Além disso, para cada linhagem foi obtida a partir de regressão não linear no programa GraphPad Prism versão 8.0.

4.4.13 Atividade anti-inflamatória e recuperação celular pós estresse do óleo de açaí

As células da linhagem VERO (Rim de Macaco Verde Africano) foram cultivadas em placas de 12 poços, a uma densidade de 2×10^5 células e posteriormente tratadas com diferentes concentrações do óleo de *Euterpe oleracea* Mart. (EO) por um período de 24 horas, com o controle negativo sendo as células sem tratamento.

Após o tempo de tratamento o RNA total das células foi extraído de acordo com o protocolo do TRIzol™ Reagent (Thermo Fisher Scientific), que consiste basicamente em homogeneizar as células com o Reagente TRIzol™, adicionar clorofórmio para separar o RNA em uma camada aquosa transparente. Após, o RNA foi precipitado da camada aquosa com isopropanol e então lavado para remoção de impurezas e, em seguida, ressuspensão para uso.

A concentração e a qualidade do RNA são determinadas usando um espectrofotômetro NanoDrop (Kisker, Alemanha) e géis de agarose a 1%, respectivamente.

De acordo com o protocolo do fabricante, o mRNA foi transcrito reversamente para cDNA usando o kit GoScript™ Reverse Transcriptase (Promega, Brasil). Os genes envolvidos na resposta anti-inflamatória foram selecionados para análise de expressão gênica. O cDNA foi amplificado por reação em cadeia da polimerase quantitativa em tempo real (RT-qPCR) usando o corante intercalante de DNA BRYT Green, de acordo com recomendações do kit GoTaq® qPCR (Promega, Brasil).

Todos os experimentos foram realizados em triplicata de acordo com as Informações Mínimas para Publicação de Experimentos Quantitativos de PCR em Tempo Real - Diretrizes MIQE (Bustin *et al.*, 2009). O nível de expressão foi calculado usando o método $2^{-\Delta\Delta CT}$ (delta-delta threshold cycle). O nível de expressão dos genes de interesse foi relatado em relação ao gene de referência para cada amostra.

4.5 FORMULAÇÃO DO BIOPLÁSTICO

A produção do bioplástico foi realizada no Laboratório de Cosméticos do Setor de Engenharia Química (LACOS/LEQ –UFPA), seguida por dois meses de testes, onde cinco formulações preliminares foram analisadas, com a utilização

de plasticizantes como o etanol, etilenoglicol, glicerol e sorbitol em diferentes concentrações, até a padronização da solução.

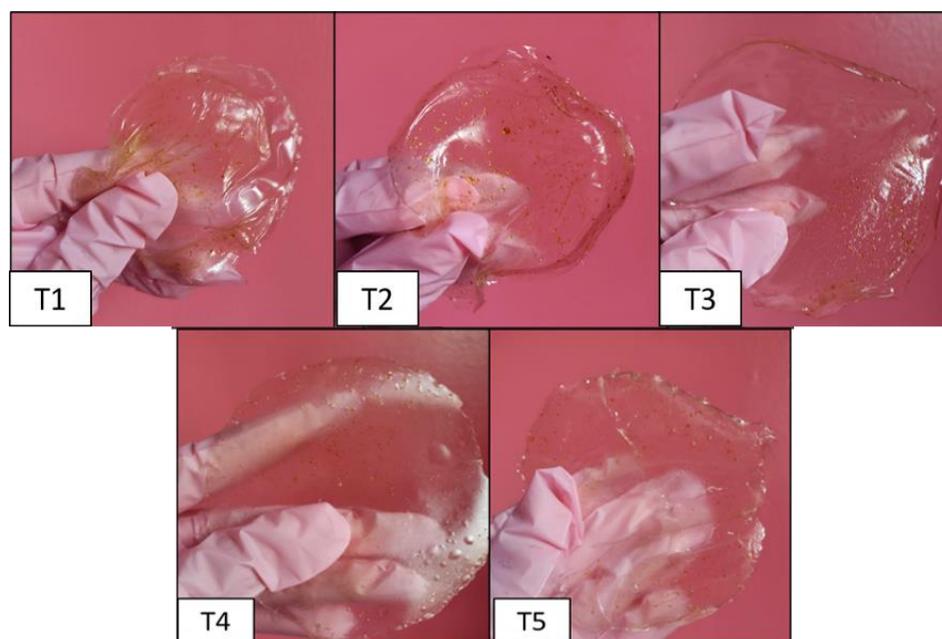
A composição considerada como controle foi exposta no Teste 1 (T1), onde não houve a adição de plasticizante (Tabela 2).

Tabela 2 – Testes para a obtenção do bioplástico

Teste	Composição
T1	Amido + H ₂ O + Óleo de açaí
T2	Amido + H ₂ O + Etanol (C ₂ H ₅ OH) + Óleo de açaí
T3	Amido + H ₂ O + Etilenoglicol (C ₂ H ₆ O ₂) + Óleo de açaí
T4	Amido + H ₂ O + Glicerol (C ₃ H ₈ O ₃) + Óleo de açaí
T5	Amido + H ₂ O + Sorbitol (C ₆ H ₁₄ O ₆) + Óleo de açaí

As cinco soluções produzidas para o bioplástico (Tabela 2) foram analisadas para detecção e escolha do padrão que foi utilizado como base principal para esse estudo. Para isso, foram observadas as estruturas físicas de cada bioplástico após a secagem (Figura 7).

Figura 7 – Testes dos bioplásticos.



Conforme observado na Figura 7, os testes T1, T2, T3 e T5 demonstraram falhas, com muitas deformidades. Dessa forma, levando em consideração a estrutura criada pelo bioplástico, para esse estudo, adotou-se o teste T4 (com o uso do glicerol) como plasticizante padrão.

A escolha do padrão ocorreu por meio da percepção visual na estrutura comparado aos demais bioplásticos, o qual apresentou superfície polimérica de melhor desempenho, homogeneidade e menores fissuras visíveis, o que auxilia na elaboração de produtos cosméticos com funções biológicas, como produtos para aplicação na pele, com função anti-inflamatória, cicatrizante, etc.

4.6 CARACTERIZAÇÃO DO BIOPLÁSTICO

4.6.1 Espessura

A espessura foi realizada no Laboratório de Produtos de Origem Animal (LAPOA/UFGA) e quantificada com o auxílio de um micrômetro portátil digital com resolução de 0,001 mm (Insize, IP54, São Paulo, Brasil) (Zavareze *et al.*, 2012), onde realizou-se 6 medidas aleatórias sobre a área do bioplástico, com afastamento de 10mm da borda. As medidas foram realizadas em temperatura ambiente (25°C), após a secagem do bioplástico a 45°C.

4.6.2 Permeabilidade ao Vapor de água (PVA)

A permeabilidade ao vapor de água foi executada no Laboratório de Fontes Amiláceas (LAFAMI/UFGA) conforme metodologia descrita por Shiku *et al.*, (2004) com algumas modificações, no qual utilizou-se becker contendo sílica gel (0% UR; 0 Pa de pressão de vapor de água a 30°C) e cola de silicone (adesivo de silicone de alta temperatura/3M) para selar os bioplásticos na superfície do becker.

O material isolado foi armazenado em dessecador contendo 250-300 mL de água destilada a 30°C (99% de UR; 4244,9 Pa de pressão a vapor de água a 30°C) em Demanda Biológica de Oxigênio (DBO) por um período de 10 horas ininterruptas. Em seguida, cada becker foi pesado para cálculo do PVA dos bioplásticos.

Para o cálculo utilizou-se a Equação 1:

$$PVA = \frac{\Delta}{t} \frac{l}{AAP} \quad (1)$$

Onde:

PVA: permeabilidade ao vapor de água (g.mm. KPa⁻¹ .d⁻¹ .m⁻²);

w representa o ganho de peso do becker (g);

l é a espessura do filme (mm);

t é o tempo de ganho (d);

A é a área da superfície do filme exposto (m²);

ΔP é a diferença de pressão de vapor através da película (4,2449 KPa, a 30 ° C).

4.6.3 Transmissão de luz e valor de Transparência

A análise foi realizada no Laboratório de Biotecnologia (LABIOTEC/UFPa). O valor de transmitância de luz do bioplástico foi medido em espectrofotômetro (Shimadzu UV-1800, Quioto, Japão) na região de 200-800 nm do UV-Visível, seguindo metodologia descrita por Shiku *et al.*, (2004). Para o cálculo da transparência do filme, utilizou-se a Equação 2 (HAN e FLOROS, 2010).

$$\text{Valor de transparência} = \frac{-\log T_{600}}{x} \quad (2)$$

Onde: T600 é a transmitância a 600 nm; x a espessura do bioplástico (mm). A menor transparência do bioplástico é dado pelo maior valor de transparência.

4.6.4 Colorimetria

Os parâmetros de cor do bioplástico foram realizados no Laboratório de Produtos de Origem Animal (LAPOA/UFPa) e analisados por leitura direta em colorímetro portátil digital (Konica Minolta CR-400, Osaka, Japan), com fonte de iluminação CIE D65 e ângulo do observador a 0°.

Os resultados obtidos foram expressos nas coordenadas cromáticas L*, a*, b*, C* e h°, descritas pelo CIE, onde L* representa a luminosidade; a*, a variação de cor verde (-a*) à vermelha (+a*); b*, a variação do azul (-b*) à amarela (+b*); C* representa o Chroma que define a intensidade da coloração, e h° que apresenta o ângulo Hue que é indicativo da tonalidade da cor (0°= vermelho, 90°= amarelo, 180°=verde e 270°= azul) (CIE, 1984).

4.6.5 Difração por Raios X (DRX)

A técnica de difração por Raios X foi avaliada no Laboratório de Difração de Raios X (PPGF/UFPa) por meio de difratômetro (Bruker, d8 Advance) com geometria Bragg-Brentano e detector LynxEye, considerando as especificações: Tubo de cobre; Radiação de cobre (($K\alpha_1=1,540598 \text{ \AA}$); Faixa angular (2θ) = 5-110°; Voltagem do tubo = 40 kV; Corrente do tubo = 40 mA; Fenda divergente = 0,6mm; Fenda Soller = 2,5°; Filtro $K\beta$ de Ni. Considerando os parâmetros de coleta padrão do laboratório: Faixa angular (2θ) = 5-110°; Passo angular de 0,02°; Tempo por passo 0.1s.

4.6.6 Microscopia de Varredura (MEV)/ Espectroscopia por energia dispersiva (EDS)

A MEV/EDS foi realizada no Laboratório de Nanomanipulação (PPGCF/UFGA), utilizando microscópio (Tescan, Vega3), com corrente do feixe de elétrons de 85-90 μA . As amostras precisaram ser trituradas até obterem a consistência de um pó, e foram depositadas sobre um porta-amostra com o auxílio de fita adesiva de carbono. As amostras foram metalizadas em Metalizadora (Quorum Technologies, SC7620) com Au/Pd para permitir condutividade elétrica necessária no processo de formação das imagens.

4.6.7 Análise termogravimétrica (TG)/ Calorímetro Diferencial por Varredura (DSC)

As propriedades térmicas de TG e DSC do bioplástico foram realizadas no Laboratório PeD (PPGCF/UFGA) e detectadas em analisador térmico simultâneo (Netzsch STA modelo 449 F3 – Jupiter), por meio de medidas simultâneas de TG e DSC, razão de aquecimento de $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$, e intervalos de temperaturas entre $40 - 500^{\circ}\text{C}$ em atmosfera de gás nitrogênio e fluxo de $100\text{mL}/\text{min}$.

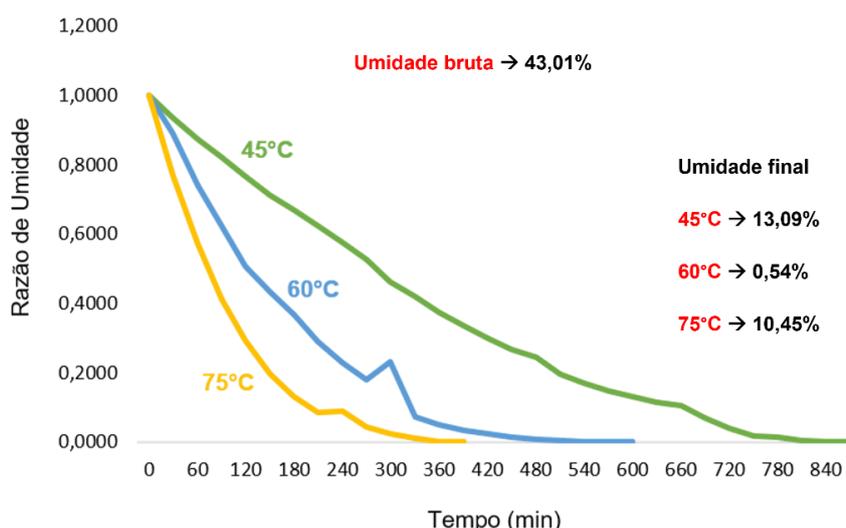
5. RESULTADOS

5.1 AMIDO DE MANDIOCA

5.1.1 Umidade e Secagem do amido

O amido extraído apresentou umidade inicial de 43,01%. Esse valor da umidade bruta foi utilizado para referência para a secagem do amido, incluindo as três temperaturas de 45, 60 e 75°C (Figura 8).

Figura 8 – Curva de secagem do amido de mandioca, nas temperaturas 45°C, 60°C e 75°C.



O amido de mandioca foi submetido à três diferentes tipos de temperatura: 45, 60 e 75°C (Figura 8) para detecção das possíveis diferenças na estrutura do mesmo. Quando submetido à altas temperaturas combinadas com a baixa umidade do amido no processo final de secagem, este denota uma maior mobilidade na cadeia estrutural além dos arranjos helicoidais, o que gera mudanças em suas características físicas, principalmente nas regiões cristalinas e amorfas dos grânulos (Alcázaralay e Meireles, 2015).

A Agência Nacional de Vigilância Sanitária, dispõe a RDC nº 263, de 22 de setembro de 2005, que define limite máximo de 18% (g/100g) de umidade para amido ou féculas de mandioca. Todas as três temperaturas analisadas apresentaram valor de umidade abaixo desse limite previsto por Lei.

Conforme observado na Figura 8, a secagem demonstrou que a temperatura de 45°C mesmo após peso constante, deixou o amido com umidade de 13,09%, sendo incapaz de eliminar toda a água (livre e ligada) do amido de mandioca, todavia, manteve as características visuais do amido, como coloração e consistência.

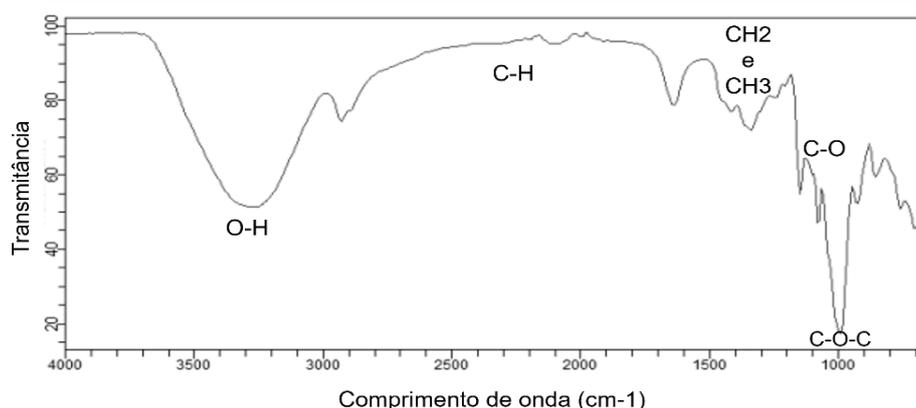
A secagem do amido à 60°C foi a mais eficiente em relação ao valor final de umidade do amido de mandioca, com 0,54% num intervalo menor de tempo, porém ela demonstrou escurecimento, ainda que mínimo, do amido de mandioca, o que significa uma mudança na estrutura do amido.

O amido à 75°C apresentou o menor tempo de secagem, quando comparado com as menores temperaturas, porém ainda assim, apresentou secagem de 10,45% devido o amido ter torrado antes de conseguir perder água. Logo, a temperatura não foi considerada ideal, pois além de não ter absorvido a melhor quantidade de água, ainda modificou as características do amido de forma insatisfatória.

A secagem também identificou variações irregulares na curva de 60°C e 75°C, ocasionadas pelo uso do dessecador, entre os intervalos diários, uma vez que o setor responsável não permitia o uso contínuo da estufa. Com isso, embora tenha apresentado o maior tempo de secagem, o amido de mandioca seco à 45°C foi considerado o escolhido para a utilização na produção do bioplástico, já que apresentou uma estrutura satisfatória após a secagem e manteve um valor considerável de umidade sem prejudicar a estrutura química do mesmo, conforme confirmado nas análises descritas adiante.

5.1.2 Reflectância Total Atenuada (ATR) / Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) do amido de mandioca

Figura 9 – Espectro ATR-FTIR do amido de mandioca a 45°C.



A espectroscopia de absorção no infravermelho é de suma importância para identificar as interações vibracionais dos compostos químicos na amostra. Segundo Zaroni (2006) cada grupo funcional denota uma frequência identificável

por meio do espectro, os átomos geram bandas que ocorrem em frequências semelhantes, o que facilita a detecção de estruturas moleculares.

A Figura 9 denota as bandas encontradas no espectro de ATR-FTIR. Segundo Mendoza *et al.*, (2016) e Brugnerotto *et al.*, (2001), a banda localizada entre 3300 cm^{-1} é referente ao estiramento da ligação O–H, além de vibrações intramoleculares (grupos hidroxilas). As bandas encontradas na região de 2925 cm^{-1} a 1695 cm^{-1} são atribuídas ao estiramento da ligação C–H de deformação angular da ligação O–H (molécula de água) comumente encontradas em polissacarídeos, já que são fortemente ligadas ao amido.

O espectro apresenta também bandas de deformações simétricas de CH_2 e CH_3 presentes entre 1420 cm^{-1} e 1350 cm^{-1} . Além disso, observou-se na banda de 1040 cm^{-1} a 1100 cm^{-1} estiramento C–O, em 1035 cm^{-1} o estiramento das ligações glicosídicas entre C–O–C, e deformação angular de anel monossacarídeo fora do plano na região 995 cm^{-1} (Mendoza *et al.*, 2016; Brugnerotto *et al.*, 2001).

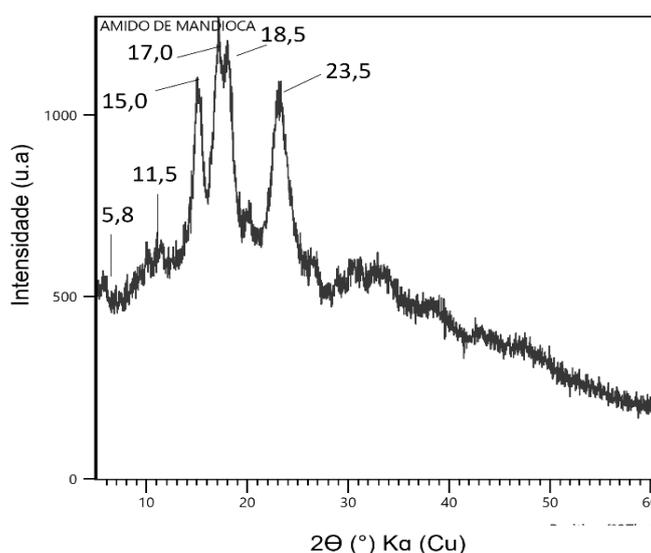
Em um estudo realizado por Viell (2015), relacionado à caracterização do amido de mandioca, foi possível detectar a similaridade dos resultados obtidos pela autora e o espectro analisado nesta pesquisa, identificando-se que a matéria-prima utilizada se encontra dentro dos padrões de qualidade esperado.

5.1.3 Difração por Raios X (DRX) do amido de mandioca

A DRX é uma das técnicas analíticas mais relevantes para caracterização do amido, pois é por meio dela que é possível identificar a natureza do amido, quanto ao seu padrão de cristalinidade, que varia de 15-45%.

A Figura 10 apresenta o Difratoograma de Raios X do amido de mandioca.

Figura 10 – Difratoograma do amido de mandioca.



A difratometria do amido é dividida em duas regiões: não cristalina e cristalina, sendo a não cristalina formada por ramificações das cadeias de amilopectina com pequenas frações de amilose, enquanto que a região cristalina é constituída essencialmente de amilopectina e com baixa presença de amilose (Garcia *et al.*, 2016).

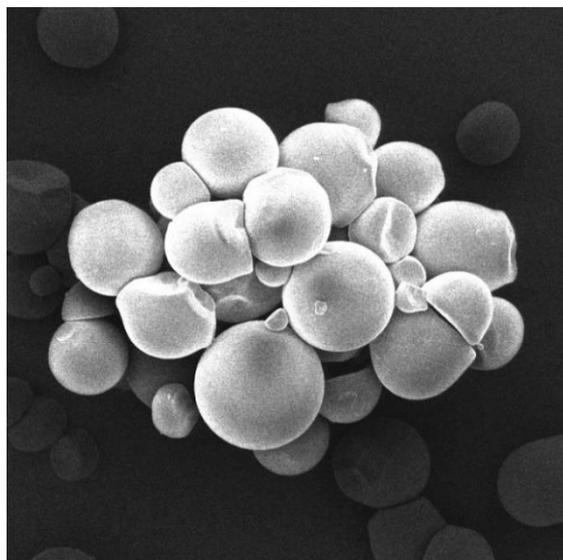
Para o amido de mandioca, o difratoograma (Figura 10) demonstrou um pico intenso em $2\theta(^{\circ})$: $15,0^{\circ}$ que é característico de cristalinidade A, e em $5,8^{\circ}$; $11,5^{\circ}$; $17,0^{\circ}$; $18,5^{\circ}$ e $23,5^{\circ}$ que são referentes ao padrão de cristalinidade B, o que denota que o amido analisado apresenta estrutura cristalina do tipo C, que ocorre quando há a presença de cristalinidade A e B na amostra, comumente encontrada em raízes como a mandioca (Teixeira, 2007; Farro, 2008).

Resultados semelhantes foram reportados por Lemos (2017) e Leite (2016) para amido. A cristalinidade C do amido é resultado da presença predominante de amilopectina na composição do amido de mandioca, pois esta confere a amostra regiões mais densas e cristalinas quando submetidas a DRX (Travalini, 2019).

5.1.4 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) / Espectroscopia por Energia Dispersiva (EDS) do amido de mandioca

A microscopia eletrônica de varredura do amido de mandioca é apresentada na Figura 11, seguida pelos valores da composição EDS da amostra.

Figura 11 – Micrografia obtida através do MEV do amido de mandioca (2400x a 20 μ m).



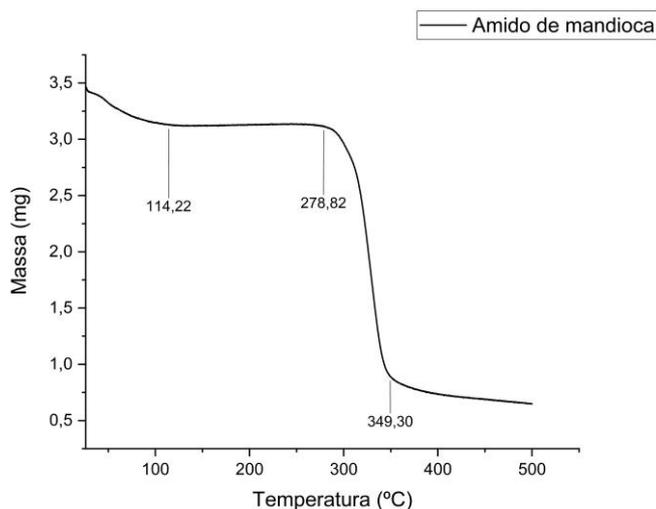
Os grânulos de amido comumente são definidos pela estrutura lisa, esférica e o tamanho intermediário que varia de 5-40 μ m (Lindeboom *et al.*, 2004; Jane *et al.*, 1994), conforme observado na (Figura 11).

A estrutura do amido de mandioca ao olho humano é um aglomerado de pequenos grânulos brancos, sem muitos detalhes visíveis. A micrografia tornou evidente a detecção da estrutura de grânulos esféricos, com pequenos achatamentos, que caracterizam esse amido.

O EDS realizado no amido de mandioca demonstrou a presença predominante de Carbono com 57,4%, seguida de Oxigênio com 42,6% na estrutura da amostra.

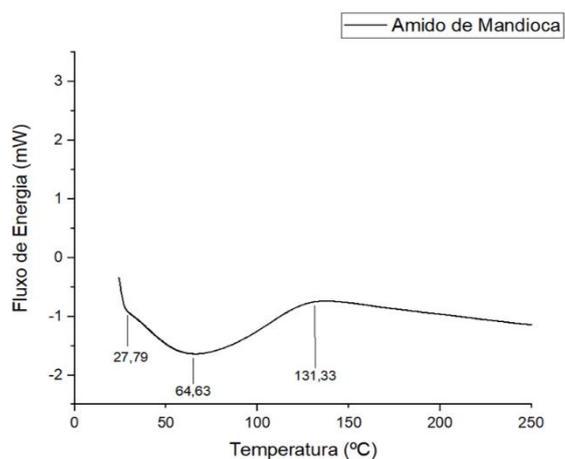
5.1.5 Análise Termogravimétrica (TG) e Calorímetro Diferencial por Varredura (DSC) do amido de mandioca

As análises térmicas denotaram curvas para a análise termogravimétrica (Figura 12), e a calorimetria exploratória diferencial (Figura 13) para o amido de mandioca.

Figura 12 – Curva de TG para o amido de mandioca.

A curva de TG do amido de mandioca (Figura 12) aponta duas perdas de massa durante o tratamento térmico. A primeira perda de massa está relacionada a perda de água que o amido sofre no início do processo, representada no início de 114,22°C que se estabiliza até a faixa de temperatura de 278,82°C, seguida por um declínio em 349,30°C, indicando a segunda perda de massa do amido, sendo esta brusca.

Aggarwall e Dollimore (1999) afirmam que isso acontece porque quando o amido é submetido a temperaturas que excedem 300°C, ocorre a despolimerização dos grânulos, sendo caracterizada como uma alteração irreversível deste, com a formação de estruturas chamadas de pirodextrinas.

Figura 13 – Curva de DSC para o amido de mandioca.

A DSC, assim como a TG, é uma técnica termoanalítica que permite a identificação das alterações que ocorrem nas propriedades do amido (Hornung, 2014). A DSC utiliza a relação do fluxo de energia (mW) com o aumento da temperatura aplicada no processo para denotar degradação ou estabilidade de componentes químicos da amostra.

O gráfico DSC precisou ser reajustado em até 250°C, ao invés do valor inicial analisado (550°C), tendo como parâmetro os dados encontrados na literatura, para nível de comparação.

A Figura 13 indica um evento endotérmico entre 27,79°C e 131,33°C, sendo 64,63°C a temperatura média, que representa a gelatinização do amido de amido. Bobbio e Bobbio (2003) também encontraram resultados semelhantes para a gelatinização do amido, com temperaturas médias entre 58°C e 70°C.

Esse processo de gelatinização do amido ocorre porque há um movimento considerável das cadeias moleculares, uma vez que os cristais sofrem alterações em sua estrutura, como quebras, conforme o aumento de temperatura utilizado no processamento térmico (Davanço, 2006).

Com isso, identifica-se a importância da aplicabilidade do amido na composição do bioplástico, visto sua capacidade de gelatinização mediante à tratamento térmico, como o calor, que favorece a estrutura do bioplástico, quanto à consistência.

5.2 ÓLEO DE AÇAÍ

5.2.1 Análises físico-químicas e antioxidante do óleo de açaí

O óleo de açaí foi avaliado quanto aos parâmetros convencionais físico-químicos (pH, acidez, saponificação, iodo, peróxido, compostos fenólicos totais) e atividade antioxidante (Tabela 3).

Tabela 3 – Parâmetros físico-químicos avaliados no óleo de açaí.

Parâmetros	Óleo de açaí	ANVISA
pH	3,60	-
Acidez (mg KOH/g)	36,67	4,0
Saponificação (mg KOH/g)	109,06	-
Iodo (I_2/g^{-1})	67,05	-
Peróxido (meq/Kg)	35,82	15,0
Compostos fenólicos totais (mg/L)	116,49	-
Atividade antioxidante (μM de Trolox g)	532,56	-

A ANVISA na Instrução Normativa nº 87, de 15 de março de 2021, vinculada a RDC 481, estabelece limite máximo de 4,0 mg KOH/g⁻¹ para acidez de óleos vegetais (BRASIL, 2021). O óleo de açaí apresentou acidez de 36,67 mg KOH/g⁻¹, logo, observa-se que este se encontra muito acima do esperado para um óleo vegetal para consumo humano.

Ao comparar esse resultado com dados encontrados na literatura, observa-se que Castro, R. *et al.*, (2021) e Guimarães *et al.*, (2020), em suas pesquisas reportaram valor de 0,04 mg KOH/g⁻¹ e 3,8 mg KOH/g⁻¹, respectivamente, para acidez em óleo de açaí. Com isso, pode-se afirmar que o óleo utilizado no presente estudo, demonstra uma acidez elevada, que pode ter sido ocasionado por fatores extrínsecos como umidade ou até mesmo armazenamento inadequado, antes de sua aquisição.

O índice de saponificação permite identificar a quantidade de base necessária para saponificar as gorduras presentes nos óleos. Para o óleo de açaí obteve-se 109,06 mg KOH/g⁻¹, o que é considerado baixo, quando comparado ao estudo de Guimarães *et al.*, (2020) e Silva e Rogez (2013) que detectaram valores de 194,16 mg KOH/g⁻¹ e 175,69 mg KOH/g⁻¹, respectivamente. Sendo assim, o óleo analisado apresentou alterações em sua estrutura química durante o tempo estocado, por isso a diferenciação relativamente distante dos resultados obtidos por outros estudos.

O índice de iodo é de suma importância, por avaliar o grau de deterioração oxidativa presente nos óleos. Para o óleo de açaí, detectou-se 67,05 g de I_2g^{-1} ,

valor considerado elevado. Guimarães *et al.*, (2020) encontraram valor de 84,26 g de I₂g⁻¹. O estudo em questão, indica que o óleo analisado pode ser capaz de continuar sua deterioração oxidativa, o que aumentaria ainda mais o índice de iodo encontrado.

Visto isso, é relevante avaliar o índice de peróxido, já que este é responsável pela identificação das oxidações lipídicas presentes nos óleos. A ANVISA define que o limite máximo de peróxidos aceitável para óleos vegetais é 15 meq/kg⁻¹. Para o óleo de açaí, esse índice foi de 35,82 meq/kg, com valor consideravelmente alto, comparado ao estudo de Guimarães *et al.*, (2020) que encontraram valor de 13,65 meq/kg⁻¹ para óleo de açaí.

Silva e Rogez (2013), por sua vez, afirmam que a faixa ideal de óleo para fins alimentícios deve ser próxima de 1,26 meq/kg⁻¹, valor muito inferior ao encontrado nesse estudo, concluindo-se que o óleo analisado não está ideal para consumo humano, porém isso não descarta a possibilidade do seu uso em áreas farmacêuticas e de cosméticos.

O óleo de açaí apresentou 116,49 mg/L de compostos fenólicos totais, inferior ao encontrado por Guimarães *et al.*, (2020) de 204,14 mg/L, que segundo os autores, quando ocorrem altas concentrações desses compostos, isso pode representar uma característica polar, com o surgimento de mudanças nas características do óleo, quanto a solubilidade e ação antioxidante em meio lipofílico. Silva e Rogez (2013) também encontraram valor de 397,7 mg/L para fenólicos totais em óleo de açaí, superior ao detectado nesse estudo.

O resultado obtido pela análise antioxidante detectou uma curva ideal para a análise prevista, com coeficiente de determinação (R²) igual a 1, após os cálculos foi possível detectar que o óleo de açaí apresentou um valor aceitável, diferenciando-se das outras características físico-químicas anteriormente analisadas no óleo de açaí.

Para esse estudo, o valor da atividade antioxidante foi de 532,56 µM de Trolox/g, o que indica um potencial antioxidante. Silva (2017), encontrou 766,7 µM de Trolox/g no óleo de açaí.

Desse modo, a avaliação antioxidante demonstrou ser a análise convencional de maior relevância para este óleo, o que denota uma característica importante para se obter em produtos, sendo pertinente a incorporação deste ao bioplástico uma vez que os antioxidantes são os

componentes que atuam na diminuição dos efeitos do estresse oxidativo, assim como radicais livres, ou seja, auxiliam para que haja menos danos no DNA, amenizando o risco de doenças ao consumidor (Shauss *et al.*, 2006).

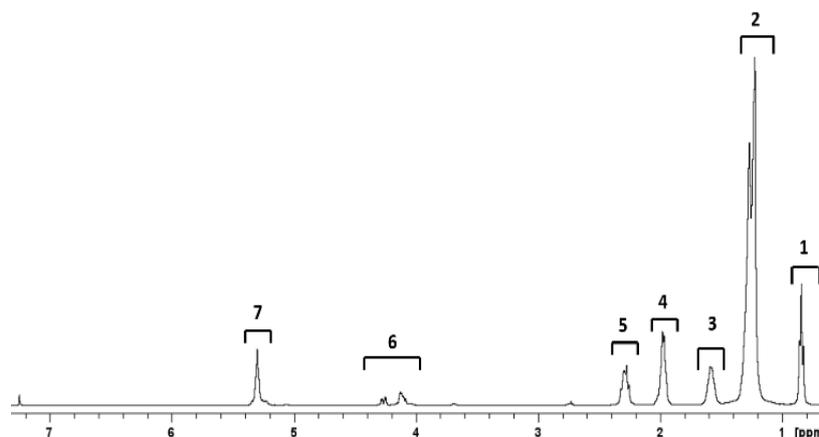
As análises convencionais permitiram identificar irregularidades na composição química do óleo de açaí, todavia, é importante ressaltar que esse fator negativo se refere apenas ao setor alimentício, o que não descarta o uso deste óleo neste projeto, uma vez que a finalidade não é destinada ao consumo humano.

Portanto, isso incentivou a investigação científica desse material, que seria descartado, como alternativa de uso em setores cosméticos e de embalagens, com resultados promissores, detectados nas análises seguintes.

5.2.2 Ressonância Magnética Nuclear (RMN) do óleo de açaí

A Ressonância Magnética Nuclear do óleo de açaí é importante para a detecção dos ácidos presentes na composição química do óleo (Figura 14).

Figura 14 – Espectro de RMN ^1H para o óleo de açaí.



A Figura 14 apresenta o espectro RMN ^1H do óleo de açaí com presença majoritária de 7 sinais, que segundo Colzato *et al.*, (2008), representam: hidrogênios da metila na região próxima a 1,0 ppm (1); hidrogênios de grupos de cadeias alifáticas na região entre 1,4 – 1,2 ppm (2); hidrogênios do carbono γ do éster entre a região 1,7 – 1,5 ppm (3); hidrogênios ligados a carbonos β da dupla ligação entre carbonos entre a região 2,1 – 1,9 ppm (4); hidrogênios de carbono β do carbono de éster na região próxima a 2,3 ppm (5); carbonos ligados ao glicerol entre a região de 4,4 – 4,0 (6) e hidrogênio ligado ao carbono de éster na região de 5,4 ppm e hidrogênios formadores de dupla ligação 5,2 ppm (7).

Ancora *et al.*, (2021) relatam que os sinais entre 1 e 3 ppm sinalizam as porcentagens entre os ácidos oleico, palmítico e linoleico presente nos óleos. Como observado na Figura 14 o maior pico para o óleo de açaí está entre 1-1,4ppm indicando a predominância do ácido oleico, que também pode ser observado na cromatografia gasosa realizada no óleo, cuja representação foi de 71,62%.

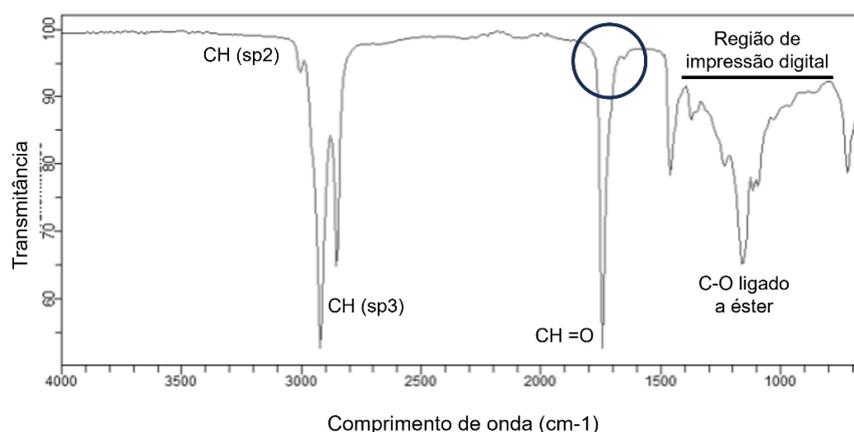
O espectro de RMN ^1H também foi integrado para avaliação do óleo, quanto aos parâmetros de iodo e saponificação. O espectro também demonstrou que o óleo se apresentou dentro do esperado para óleos vegetais, apesar de apresentar uma alteração, ocasionada pela baixa intensidade no sinal localizado em 0,98 ppm, que foi descrito por Reda (2010) como a região de hidrogênios alílicos, caracterizados pela presença do ácido linolênico no óleo, todavia isso não pode ser visível no espectro, uma vez que os sinais ressaltam as composições químicas de maior intensidade.

O espectro também confirmou a presença dos ácidos oleico, palmítico e esteárico em maiores proporções. Além de identificar irregularidades na estrutura química do óleo de açaí, como a ocasionada pela baixa intensidade do sinal, já observada na região de 0,98 ppm.

5.2.3 Reflectância Total Atenuada (ATR) / Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) do óleo de açaí

O espectro ATR-FTIR do óleo de açaí identificado na Figura 15 denota estiramentos das ligações CH de carbono sp^2 em seu menor ponto (3010 cm^{-1}). Além de estiramento nas ligações CH do carbono sp^3 ($3000\text{-}2850\text{ cm}^{-1}$), e presença de $\text{CH}=\text{O}$ (1750 cm^{-1}). Cabe ressaltar que, as regiões abaixo de 1500 cm^{-1} sinalizam a região de impressão digital, onde a 1100 cm^{-1} apresentou um estiramento de ligação C-O ligado a um éster, conforme definido por Schriener e Fuson (1983).

Figura 15 – Espectro de ATR – FTIR do óleo de açaí.

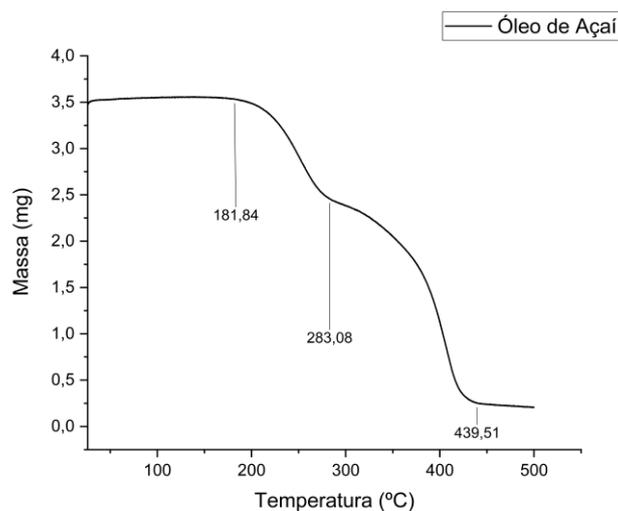


A região localizada entre as faixas de 1960 a 1620 cm^{-1} sinalizam a caracterização do açaí como um óleo graxo, já que nesta região é possível identificar estiramentos C=O em ácidos carboxílicos, além de estiramentos C=O de grupos éster, em especial na região de 1750 cm^{-1} (Araújo *et al.*, 2021).

O espectro observado no óleo analisado é semelhante a outros encontrados na literatura, todavia, diferencia-se quando observado melhor a região de 1180 cm^{-1} que representa a região de impressão digital do espectro, onde é detectável muitas bandas acopladas.

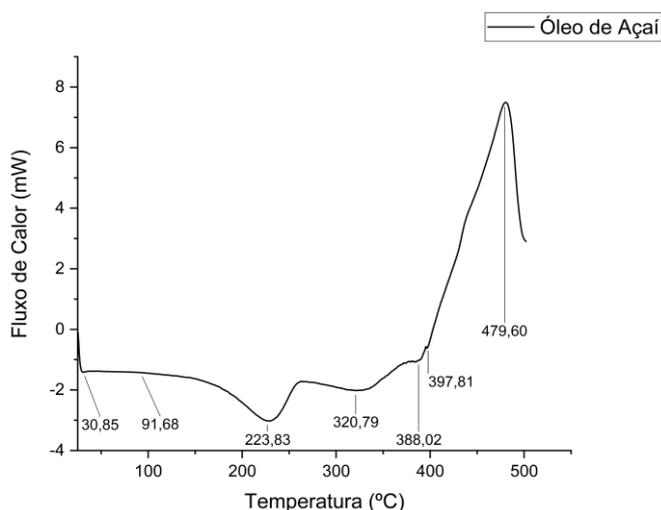
5.2.4 Análise Termogravimétrica (TG) e Espectroscopia por Energia Dispersiva (DSC) do óleo de açaí

A TG do óleo de açaí (Figura 16) apresenta duas perdas de massa ao decorrer do aumento da temperatura no processo térmico. Inicialmente nota-se a estabilização de massa na faixa de 181,84°C. Posteriormente, observa-se a primeira perda de massa em 283,08°C, que indica a decomposição de ácidos graxos insaturados, enquanto que a segunda perda em 439,51°C, denota o ponto em que ocorre a degradação dos ácidos graxos saturados e as demais composições do óleo, dificultando sua utilização (Pereira, 2008).

Figura 16 – Curva de TG para o óleo de açaí.

Com isso, pode-se perceber que a temperatura ainda considerada ideal para o uso do óleo de açaí, seria de 181,84 – 283,08°C, visto que após esse intervalo, o óleo degrada o ácido graxo de maior predominância e importância na composição do óleo, que é o ácido oleico, com perda drástica de massa, sendo de 92,86% do valor inicial.

A curva de DSC do óleo de açaí (Figura 17) apresenta eventos endotérmicos e exotérmicos ocorridos na variação de temperatura, sendo possivelmente ocasionados pela ebulição de triacilgliceróis presentes na amostra, além da decomposição dos mesmos após a exposição à elevadas temperaturas (Roe, Sheskey e Quinn, 2009; Costa *et al.*, 2013).

Figura 17 – Curva DSC do óleo de açaí.

Ao observar o gráfico, nota-se que a partir de 223,83°C o óleo passa a sofrer alteração, e de acordo com o aumento da temperatura. Além disso, pode-se observar nos eventos ocorridos em 320,79°C, 388,02°C, 397,81°C e 479,60°C (exotérmico) perdas ainda maiores em relação aos componentes químicos, indicando mudança estrutural do óleo, quando submetido a temperaturas acima da faixa de 300°C, conforme já observado na TG do óleo de açaí.

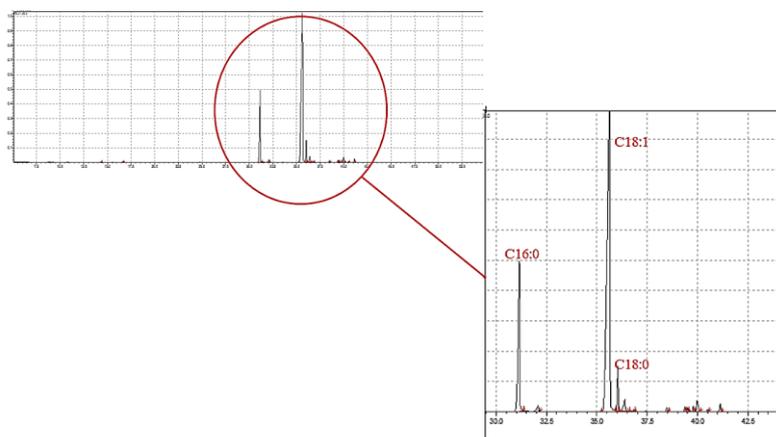
A curva formada em 223,83°C indica a decomposição de ácidos graxos poli-insaturados, enquanto que o aumento em 320,79°C e 388,02°C possivelmente está relacionado aos ácidos graxos poli-insaturados de maior peso molecular que também foram degradados.

Os eventos ocorridos em 397,81°C e 476,60°C representam, respectivamente, a degradação de ácidos graxos monoinsaturados, como o ácido oleico, ácido predominante no óleo de açaí e ácidos graxos insaturados, como o ácido palmítico (Souza *et al.*, 2005), segundo ácido em maior proporção na composição do óleo analisado. Conforme, observado na cromatografia gasosa do óleo de açaí.

5.2.5 Cromatografia Gasosa acoplada à Espectrometria de Massas (CG/EM) do óleo de açaí

O cromatograma destacou os 3 ácidos principais presentes na composição do óleo de açaí, sendo esses: C16:0, C18:1 e C18:0 (Figura 18).

Figura 18 – Cromatograma do óleo de açaí.



A composição total de ácidos graxos óleo de açaí presentes no óleo de açaí é apresentada na Tabela 4.

Tabela 4 – Composição de ácidos graxos presentes no óleo de açaí.

Composição de ácidos graxos	Porcentagem em massa (%)
C10:0	0,22
C16:0	20,15
C18:0	3,7
C18:1	71,62
C18:2	0,14
C20:0	0,15
Outros	4,02

O cromatograma do óleo de açaí denota 95,98% em ácidos identificáveis e 4,02% em compostos não identificáveis (Tabela 4), devido instabilidades de alguns componentes químicos encontrados durante a análise do óleo, localizados na região de retenção, onde não foi possível fazer a detecção dos componentes, identificado na tabela como “outros”.

A composição de ácidos graxos do óleo de açaí demonstrou maior concentração de ácido oleico/ômega-9 (C18:1), seguido pelo ácido palmítico (C16:0) e o ácido esteárico (C18:0) encontrados também no espectro RMN deste óleo. Além desses ácidos, o cromatograma do óleo de demonstrou a presença de ácido araquídico (C20:0), ácido linoleico/ômega-6 (C18:2) e ácido cáprico (C10:0), mesmo que em quantidades inferiores.

Pelo cromatograma encontrado por Pereira (2015) ao analisar óleo de açaí, constatou também a presença majoritária de ácido oleico, ácido palmítico e ácido linoleico, sendo 47,58%, 24,06% e 13,58%, respectivamente. Os valores encontrados são semelhantes, porém o óleo apresentou valor inferior em relação ao teor de ácido oleico, enquanto que o ácido linoleico apresentou valor acima do encontrado nesse estudo.

Pereira *et al.*, (2017) também realizaram CG em óleo de açaí e reportaram valores de 82,27% para o ácido oleico, também em maior quantidade, e 15,57% de ácido palmítico. Acredita-se que as diferenças encontradas na composição do óleo, podem ser ocasionadas quanto sua procedência, uma vez que produtos

naturais podem sofrer alterações em decorrência da época de colheita, método de extração e armazenamento (Nascimento *et al.*, 2008).

5.2.6 Colorimetria do óleo de açaí

A colorimetria é a ciência responsável pela representação da interação de luz com diversos materiais visíveis ao olho humano e que são captadas pelo cérebro (Ferreira e Spricigo, 2017).

A CIE (Commission International de l'Eclairage ou Comissão Internacional de Iluminação) define que a cor é caracterizada por três elementos: luminosidade/claridade, tonalidade/matiz e saturação/cromaticidade. Essa entidade internacional apresenta o padrão de coloração universal, identificado pelos parâmetros de L^* , a^* , b^* , C^* e h° (CIE, 2023).

Para o óleo de açaí esses parâmetros foram avaliados, conforme descritos na Tabela 5.

Tabela 5 – Parâmetros colorimétricos do óleo de açaí.

Óleo de açaí	Parâmetros				
	L^*	a^*	b^*	C^*	h°
	42,73±1,64	3,51±0,26	40,41±2,42	40,56±2,43	85,04±0,11

Os valores colorimétricos estão apresentados na Tabela 5. A literatura não apresenta resultados para coloração de óleos de açaí, mas existem estudos em que essa análise foi realizada na polpa do fruto.

Pessanha (2016) ao analisar a polpa de açaí, encontrou valores de 36,81 (L^*), 1,86 (a^*), -0,89 (b^*), 2,06 (C^*) e h° 334,32 (h°). Em comparação ao detectado no óleo de açaí, observa-se a semelhança apenas (L^*) que indica a pigmentação escura do óleo e (a^*) que denota a coloração tendendo para ao avermelhado, ressaltando uma possível degradação, ou até mesmo pode estar relacionado ao estado de maturação da polpa de açaí antes da extração do óleo.

Os parâmetros de (b^*), (C^*) e (h°) diferenciaram-se dos resultados obtidos no óleo de açaí, visto que no estudo realizado por Pessanha (2016) o valor de (b^*) foi indicativo de tendência ao azul, enquanto que para o óleo apresentou-se positivo, com coloração mais próxima do amarelo.

Para o parâmetro (C^*), a polpa apresentou baixa saturação e o óleo demonstrou maior intensidade de cor. Para o ângulo hue (h°), detectou-se que a

polpa apresentou maior presença da coloração azul, diferentemente do óleo, onde a cor foi avermelhada (Figura 19), próximo a coloração amarela (CIE, 1984).

Figura 19 – Mudança de coloração do óleo de açai.



Conforme observado na Figura 19, afirma-se que o óleo de açai analisado, apresentou como coloração predominante o avermelhado, o que não é comumente encontrado visivelmente no óleo extraído da polpa de açai.

Acredita-se que essa mudança de coloração pode ter ocorrido por fatores como: tempo de estocagem, época de colheita, além de oxidação do mesmo, referente ao calor. Vale ressaltar que o óleo adquirido já apresentava tais características, e embora peculiares, foram de suma importância para despertar o interesse no estudo, dado os benefícios encontrados.

5.2.7 Atividade anticâncer do óleo de açai

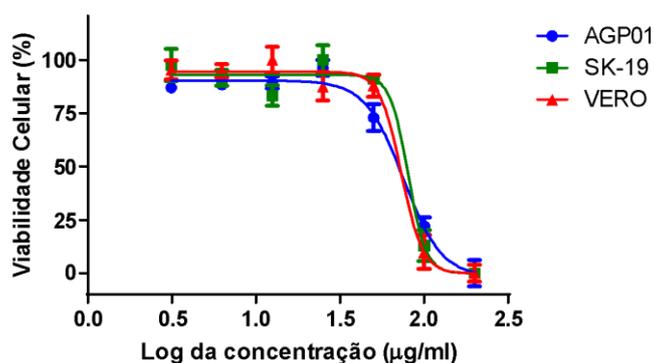
A utilização do ensaio do MTT (3-(4,5-dimetiltiazol-2yl)-2,5-di-fenil brometo de tetrazolina) para avaliação da viabilidade celular, bem como da citotoxicidade de novas moléculas bioativas já vem sendo uma constante em programas de triagem de moléculas ao redor do mundo (Iqbal e Keshavarz, 2017).

Isso se deve principalmente à facilidade e rapidez de execução do ensaio, bem como a reprodutibilidade dos resultados e correlação clínica observada entre testes *in vitro* e *in vivo* (Gutiérrez *et al.*, 2017). A concentração média do

óleo de EO (*Euterpe oleracea* Mart.) foi capaz de provocar 50% do efeito máximo (CI50) e seu respectivo intervalo de confiança (CI95%).

A avaliação da atividade citotóxica do óleo de EO foi realizada inicialmente em três linhagens neoplásicas e uma não neoplásica (Figura 20), posteriormente realizou-se somente na linhagem AGP01, ambos através do método de MTT em 72h para identificar a concentração inibitória média (IC50) e utilizar esses valores para testes posteriores.

Figura 20 – Análise do padrão de citotoxicidade ocasionada pelo óleo de EO nas linhagens AGP01, SK-19 E VERO*.



*Dados obtidos por regressão não linear, utilizando o software Graph Pad prism 5.0 com o intervalo de confiança de 95% ($p < 0,05$).

Os resultados do teste apontam o decaimento da viabilidade celular ilustrado no gráfico, esses dados demonstram que a substância é citotóxica para todas as linhagens utilizadas no experimento de forma dose dependente (Figura 20).

A concentração inibitória média (IC50) é melhor observada quando analisada por meio da regressão não linear, conforme observado na Tabela 6.

Tabela 6 – Concentração inibitória média (IC50) do óleo de açaí nas linhagens AGP01, SK-MEL19 e VERO.

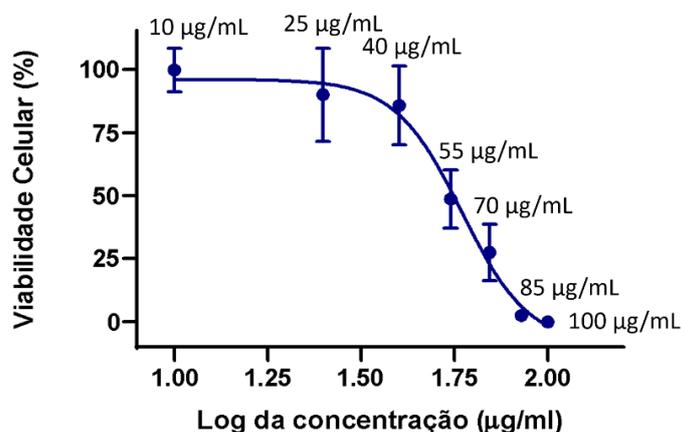
Linhagem	IC50	Intervalo de confiança de 95% ($p < 0,05$)*
AGP01	75,30	64,55 – 87,84
SK-Mel-19	80,15	58,42 – 110,0
VERO	73,05	59,52 – 89,59

*Dados obtidos por regressão não linear, utilizando o software Graph Pad prism 5.0 com o intervalo de confiança de 95% ($p < 0,05$).

Os resultados indicaram que o óleo de EO reduziu a atividade metabólica e viabilidade celular para as linhagens AGP01 (Ascite gástrica), SK19 (Melanoma humano) e VERO (Rim de macaco verde africano) com o valor de IC50 75,30, 80,15 e 73,02, respectivamente (Tabela 6).

No entanto, quando se utilizou a IC50 da AGP01 (75 µg/ml) no experimento seguinte, a concentração teve um padrão mais citotóxico do que o esperado. Desse modo, um segundo teste de citotoxicidade foi realizado somente na AGP01 com as concentrações 100 µg/ml, 85 µg/ml, 70 µg/ml, 55 µg/ml, 40 µg/ml, 25 µg/ml, 10 µg/ml e controle negativo com o intuito de diminuir o intervalo entre as concentrações e confirmação dos dados quanto a IC50 (Figura 21).

Figura 21 – Análise do padrão de citotoxicidade ocasionada pelo óleo de EO na linhagem AGP01.



A concentração inibitória média (CI50) do óleo de açaí após o segundo teste, utilizando somente AGP01 foi detectada por meio da regressão não linear (Tabela 7).

Tabela 7 – Concentração inibitória média (CI₅₀) do óleo de açaí na linhagem AGP01, após o segundo teste.

Linhagem	IC ₅₀	Intervalo de confiança de 95% (p<0,05)*
AGP01	58,93	51,96 – 84,58

*Dados obtidos por regressão não linear, utilizando o software Graph Pad prism 5.0 com o intervalo de confiança de 95% (p<0,05).

Esse resultado (Tabela 7), corrobora os dados obtidos anteriormente, tendo em vista que o valor encontrado permanece dentro do intervalo de confiança do teste inicial. Observou-se também que a viabilidade celular

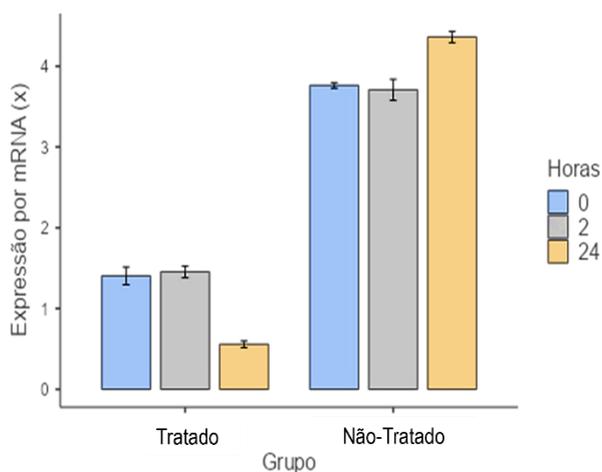
apresentou um declínio significativo de acordo com o aumento das concentrações utilizadas e de forma dose dependente.

Após a realização dos testes biológicos, observou-se que o óleo de EO mostrou atividade citotóxica em todas as linhagens de células neoplásicas testadas. Com isso, pode-se afirmar que o óleo de açaí possui um bom índice de atividade antineoplásica e se mostra interessante para estudos mais aprofundados de suas atividades biológicas.

5.2.8 Atividade anti-inflamatória e recuperação celular pós estresse do óleo de açaí

A avaliação do potencial anti-inflamatório foi realizada para verificar se o óleo de açaí apresenta capacidade de amenizar ou impedir edemas ou inchaços causados por alguma doença, trauma, reações alérgicas e queimaduras ou até agressões sofridas (Mosquini *et al.*, 2011). O efeito anti-inflamatório do óleo de açaí pode ser observado na Figura 22.

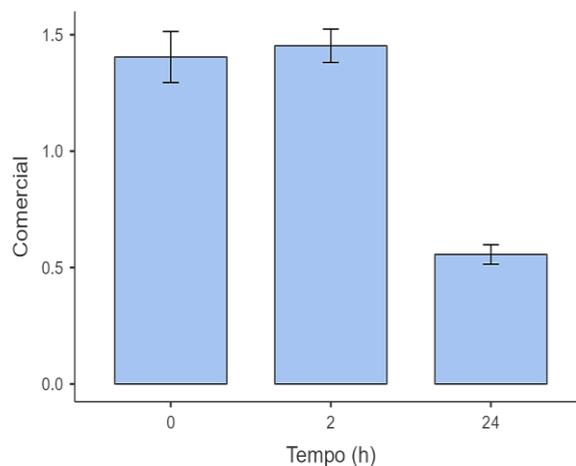
Figura 22 – Gráfico comparativo da expressão gênica TNF- α pelos tempos 2 e 24 horas dos grupos tratados com o óleo de açaí e não tratados.



Os resultados da amostra extraída e avaliada por meio do ensaio de RT-qPCR revelaram uma diferença significativa na expressão do gene alvo TNF- α (fator de necrose tumoral alfa) em comparação com as amostras não tratadas quando expostas ao óleo de açaí (Figura 22).

A Figura 23 apresenta o resultado do efeito observado nos tempos de 2 e 24 horas do tratamento.

Figura 23 – Efeito do óleo de açaí sobre a expressão gênica de TNF- α , após 2 e 24 horas de tratamento*.

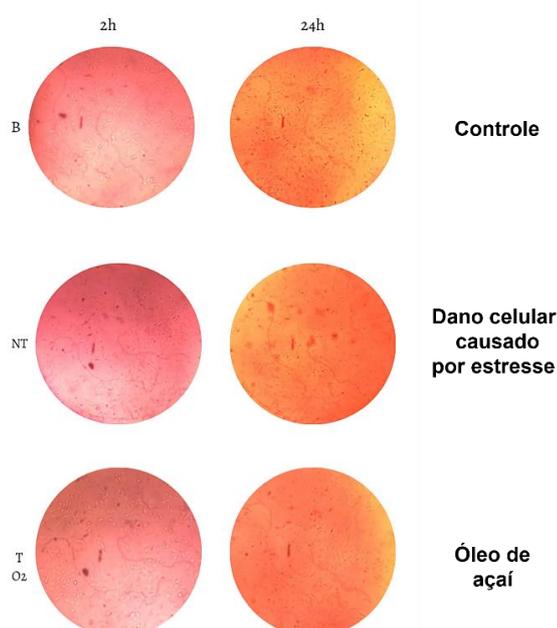


*Resultados expressos como a média de três replicatas e a expressão gênica em comparação ao controle endógeno ($p < 0,0001$).

A Figura 23 denota uma diferença substancial no efeito anti-inflamatório das células tratadas. É relevante destacar que a ação redutora do efeito anti-inflamatório permaneceu proeminente, mesmo após 24 horas, o que sugere uma supressão sustentada da resposta inflamatória nas células tratadas com o óleo de açaí.

Outro fator relevante observado no óleo de açaí, foi o comportamento deste em relação a recuperação celular pós-estresse (Figura 24).

Figura 24 – Observação comparativa dos efeitos do óleo de açaí na recuperação celular.



Conforme observado na Figura 24, no tempo de 24h é possível identificar uma redução do estresse, em relação ao tempo de 2h, com mudança de coloração ocasionada pela ação da mudança de pH para o meio básico (9.0), provocada pelo estresse, observado na NT.

O tratamento permitiu detectar que o óleo de açaí demonstrou recuperação celular em relação ao poço afetado desde as primeiras 2h de tratamento, o que indica que ele foi capaz de inibir o efeito anti-inflamatório. Isso denota que o óleo de açaí desempenha um papel benéfico na redução da inflamação, sendo necessário mais investigações para exploração do seu potencial terapêutico no contexto de condições e doenças inflamatórias.

5.3 BIOPLÁSTICO

5.3.1 Espessura do bioplástico

A espessura do bioplástico é um fator relevante para se ter um padrão do produto, além de ser possível denotar defeitos na estrutura do mesmo, dessa forma, torna-se um parâmetro de qualidade. O bioplástico apresentou 0,157 mm de espessura, dentro do esperado para uso e posterior aplicação em subprodutos como embalagens ou produtos para o setor farmacêutico e de cosméticos.

5.3.2 Permeabilidade ao Vapor de Água (PVA) do bioplástico

A permeabilidade de bioplásticos dependem de fatores como: integridade do filme polimérico, quantidade de material hidrofílico e hidrofóbico, mobilidade das cadeias poliméricas, plasticizante ou outros aditivos utilizados na produção do material (Garcia *et al.*, 2000). A Permeabilidade ao Vapor de Água (PVA) encontrada no bioplástico de amido de mandioca é apresentada na Tabela 8.

Tabela 8 – Dados de PVA do bioplástico.

Experimentos	PVA (g.mm.KPa ⁻¹ .d ⁻¹ .m ⁻²)
1	17.91
2	18.61
3	21.63
Média	19.39
Desvio Padrão	1.98

A Tabela 8 denota que a média de PVA para o bioplástico analisado foi de 19.39 g.mm.KPa⁻¹.d⁻¹.m⁻². Alta PVA em bioplásticos utilizando amido já foram relatadas por outros estudos, Bertuzzi *et al.*, (2007) relatam que a proporção de amido eleva a PVA devido ao número de grupos hidrofílicos presentes na cadeia do amido de mandioca.

A composição graxa do óleo de açaí utilizado na produção do bioplástico também influenciou no alto valor de PVA, que segundo Morillon *et al.*, (2002) é consequência das cadeias dos ácidos que possuem uma maior PVA oriunda de sua estrutura química, que são formados de uma longa cadeia heterogênea.

Prestes *et al.*, (2017) ao produzirem filme de proteínas de soro adicionadas de óleos, perceberam o aumento da PVA. Isso acontece porque ocorre uma desestabilização da matriz polimérica, uma vez que o óleo não se liga completamente a cadeia polimérica, o que gera espaços no bioplástico, aumentando a permeabilidade destes.

5.3.3 Transmissão de luz e transparência

A transmissão de luz e transparência são características ópticas importantes para estipular possíveis usos do material analisado. Crippa (2006) relata que o grau de transparência depende da espessura e estrutura do polímero utilizado, se este for mais amorfo, gera maior transparência, e se for mais cristalino, aumenta a opacidade.

Em relação ao bioplástico de amido de mandioca, incorporado ao óleo de açaí, os valores de transmissão de luz e transparência estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 – Transmissão de luz e transparência do bioplástico.

Transmissão de luz (nm)								Transparência
200	280	350	400	500	600	700	800	
0.05	0.24	0.26	0.42	0.40	0.39	0.36	0.35	2.60 ± 0.12

A transmissão de luz detectada no bioplástico (Tabela 9) é baixa nos diferentes comprimentos de ondas analisado, confirmado pelo valor de transparência, justificável pela proporção de amido de mandioca utilizada na composição, que possui característica cristalina, já observada na análise de DRX do amido.

Outro fator diretamente relacionado aos baixos valores de transparência e transmitância é o uso do glicerol, que segundo Bertuzzi *et al.*, (2007) esse plasticizante reduz as forças intramoleculares da matriz do amido, o que gera a redução da transparência e desenvolve característica mais opaca ao produto.

Os valores observados indicam que o bioplástico pode ser destinado para fins farmacêuticos e cosméticos, uma vez que uma maior opacidade é um fator favorável para conservação de produtos que sofrem oxidação à iluminação, calor e fatores relacionados, como por exemplo, quando adicionados de mais óleos com características bioativas.

Todavia, vale ressaltar que, em sua forma atual, esse bioplástico não poderia ser utilizado para setor de embalagens farmacêuticas, e sim, produtos, como emplastos e similares, uma vez que apresenta transmitância acima de 12% e 10% (faixa ideal para embalagens para acondicionamento de produtos farmacêuticos) entre 290 e 450 nm, segundo a Farmacopéia Americana (The United States Pharmacopoeia, 2008).

Isso indica que, para uso nesses setores de embalagens, seria imprescindível o aprimoramento desse bioplástico, de forma a diminuir seu valor de transmitância, o que indica a necessidade de mais estudos para aperfeiçoamento dessas embalagens, de forma a valorizar a composição desse bioplástico, assim como conservar sua bioatividade.

5.3.4 Colorimetria do bioplástico

A coloração de um objeto depende de fatores como iluminação, tamanho da amostra, textura e coloração ao redor do mesmo. Além disso, a cor depende da percepção do observador (Lopes, 2009). Por isso, é relevante a avaliação colorimétrica do bioplástico, a fim de configurar o padrão de cor, além de ser uma alternativa para assegurar a qualidade do produto, por meio da detecção de alterações no padrão de cor da amostra (Tabela 10).

Tabela 10 – Dados colorimétricos do bioplástico.

Bioplástico	Parâmetros				
	L*	a*	b*	C*	h°
	90,47±1,03	-5,75±0,06	10,90±0,39	12,32±0,37	118,58±0,20

A Tabela 10 indica que a avaliação da cor do bioplástico foi relevante para detectar a presença da pigmentação proveniente do óleo de açaí incorporado à solução polimérica na produção do mesmo.

Na literatura não se encontram resultados para coloração de soluções poliméricas incorporadas com óleo, todavia, é possível detectar colorimetria já realizada em soluções de biofilme a partir de amido de casca de batata e glicerol, (Osorio e Santana, 2019), que relataram valores de 89,64 para (L*), resultado semelhante ao valor de luminosidade (L*) encontrado nesse estudo, indicando coloração clara já que estão próximos de 100, ocasionada pela presença do amido, todavia, diferenciando-se nos valores 0,11 para (a*) e 3,31 para (b*).

Desse modo, pode-se dizer que Osorio e Santana (2019) detectaram resultados diferentes do presente estudo, por apresentarem resultados para uma solução polimérica sem incorporação de óleo vegetal. Já no caso do bioplástico analisado, foi possível detectar tons de verde e amarelo, representado pelos valores negativos obtidos para a*, e positivos para b*, o que comprova a presença da clorofila no bioplástico proveniente do óleo de açaí utilizado em sua produção.

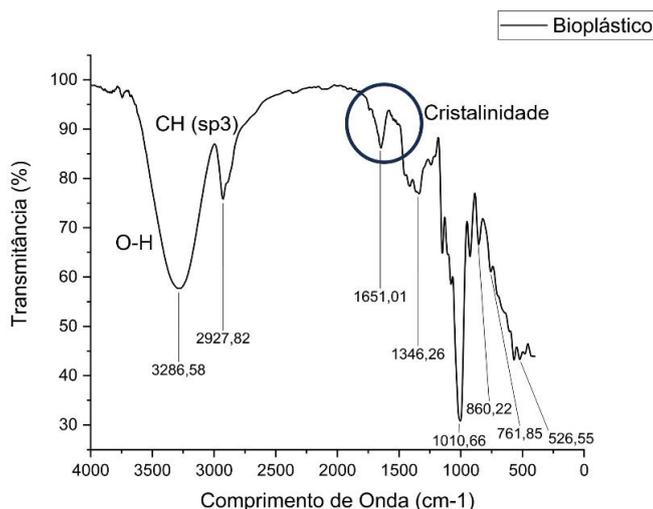
Pelos valores encontrados no bioplástico, pode-se afirmar que o valor de C* e h° indicam baixa saturação, e proximidade com a coloração amarelo esverdeado no ângulo, o que confere como predominante no bioplástico, a coloração obtida do amido de mandioca, mais para o branco e/ou transparente,

apesar da presença do óleo. Isso é ocasionado devido a maior proporção de amido, em comparação ao óleo de açaí, na composição do bioplástico.

5.3.5 Reflectância Total Atenuada (ATR) / Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) do bioplástico

O espectro ATR-FTIR do bioplástico de amido de mandioca incorporado com óleo de açaí pode ser observado na Figura 25.

Figura 25 – Espectro ATR-FTIR para o bioplástico.

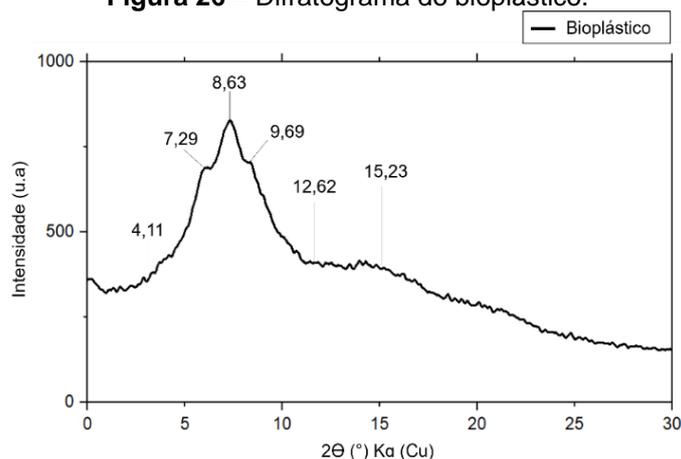


O espectro de FTIR do bioplástico (Figura 25) mostra a presença dos grupos funcionais já esperados para a amostra, como a presença de estiramento da ligação O-H em 3286,58 cm⁻¹ e estiramento de ligação C-H de carbono sp³ (2927,82 cm⁻¹) (Paiva *et al.*, 2018).

Na faixa de 1651 cm⁻¹ é possível detectar uma banda relacionado a deformação angular no modo “tesoura”, que segundo Marques (2005) está relacionado à água presente na composição da amostra e que muda de acordo com o grau de cristalinidade do polissacarídeo, comportamento muito semelhante ao espectro obtido pelo amido de mandioca. Além dessa banda, destacam-se as bandas de estiramento de ligação C-O na região de 1010 cm⁻¹.

5.3.6 Difração por Raios X (DRX) do bioplástico

O difratograma para a análise de DRX do bioplástico é apresentado na Figura 26.

Figura 26 – Difratoograma do bioplástico.

O difratograma do bioplástico (Figura 26) demonstrou a presença de picos na região $2\theta^\circ$ entre $4,11$ e $15,23^\circ$. Dentre as faixas, destaca-se o ângulo $8,63^\circ$ que representa o ponto máximo do maior pico observado no difratograma.

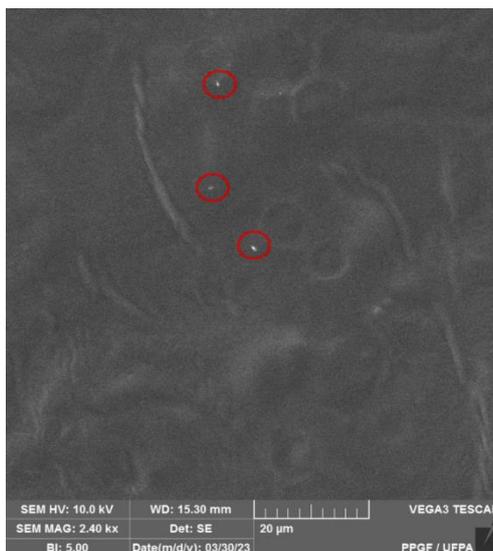
O crescimento de forma larga na intensidade da amostra pode estar relacionado a sua estrutura não cristalina ($4,11$ – $12,62^\circ$ (2θ)), diferentemente dos picos $7,29$, $8,63$ e $9,6^\circ$ (2θ) que indicam uma maior tendência à cristalinidade da amostra, notável pela estrutura mais alongada e definida desses picos (Nogueira e Martins, 2019).

O bioplástico apresentou um padrão cristalino, que segundo Van Soest e Esser (1997) é decorrente da interação da amilopectina do amido de mandioca na presença do glicerol, o que permite que haja uma recristalização da amostra quando submetidas a temperaturas acima de sua transição vítrea.

5.3.7 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) / (Espectroscopia por Energia Dispersiva (EDS) do bioplástico

A micrografia do bioplástico (Figura 27) é importante para detectar a estrutura física da amostra e até mesmo irregularidades presentes, ocasionadas por sua composição.

Figura 27 – Micrografia do bioplástico de amido de mandioca incorporado de óleo de açaí (2400x a 20µm).

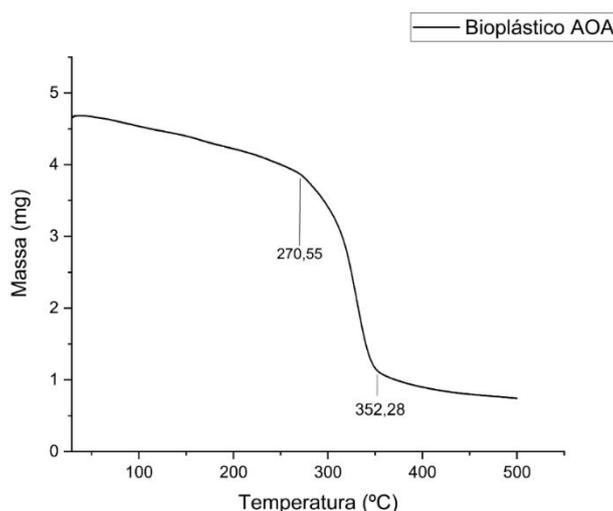


A micrografia do bioplástico de amido de mandioca (Figura 27) demonstrou a presença de poucos grânulos de amido que não sofreram gelatinização, o que indica que houve boa homogeneização da amostra, a estrutura do bioplástico apresentou uniformidade com a incorporação do óleo de açaí, sem deformações visíveis, o que segundo Jensen *et al.*, (2009) denota a integridade estrutural da amostra.

O EDS detectou uma diferenciação na composição química do bioplástico em relação a composição inicial do amido, o que resultou no aumento da presença de carbono (61,4%) e uma diminuição do oxigênio (38,6%). É importante ressaltar que esse aumento de carbono na estrutura do bioplástico é indicativo da presença do óleo de açaí, que tem predominância em ácidos graxos como oleico, palmítico e esteárico, conforme já apresentado na cromatografia gasosa.

5.3.8 Análise Termogravimétrica (TG) e Calorímetro Diferencial por Varredura (DSC) do bioplástico

A análise termogravimétrica do bioplástico pode ser observada por meio da curva apresentada na Figura 28.

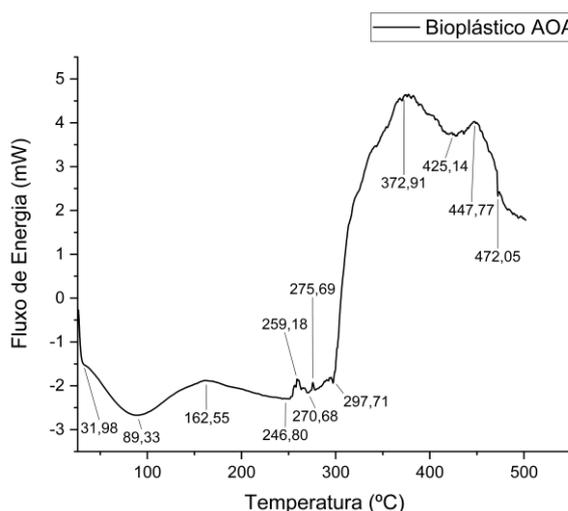
Figura 28 – Curva de TG para o bioplástico.

A TG do bioplástico (Figura 28) apresenta uma curva exotérmica com temperatura inicial de degradação em 270,55°C seguida por uma perda de massa brusca, acredita-se que isso acontece devido a maior composição do bioplástico ser de amido de mandioca, que é proveniente de uma raiz tuberosa, que segundo Franco *et al.*, (2004) as raízes são mais sensíveis ao processamento térmico. Essa faixa de temperatura também está relacionada com a perda de ácidos graxos, conforme já observado na TG do óleo de açaí.

Além disso, a perda de massa notável na temperatura de 352,28°C está relacionada à decomposição da carboidratos, já que os açúcares possuem baixa estabilidade térmica (Texeira, 2007), também oriunda do amido, o que indica que dentre os componentes do bioplástico, o amido de mandioca teve maior influência sobre a temperatura.

A calorimetria de varredura diferencial do bioplástico é observada na curva apresentada na Figura 29.

Figura 29 – Curva de DSC para o bioplástico.



A DSC do bioplástico produzido com amido de mandioca, glicerol e incorporado ao óleo de açaí (Figura 29), demonstrou um comportamento similar aos termogramas já apresentados do amido, considerando os valores relacionados ao amido especialmente identificados na temperatura inicial até 250°C, assim como o termograma observado no óleo, todavia neste último foi possível identificar maior resistência, quando adicionado à solução polimérica.

Em relação à composição geral do bioplástico, sabe-se que o amido é o componente com proporção predominante. Cabe salientar que, amidos que são plasticizados com glicerol, geralmente apresentam três transições distintas em sua DSC: 1- processo de relaxação α , associada a T_g ; 2- relaxação da fase rica em glicerol; 3- transição secundária, referente ao processo de relaxação β (Lourdin *et al.*, 1997; Forssell *et al.*, 1997; Avérous *et al.*, 2001).

A DSC do bioplástico denotou uma diferença quanto a temperatura de gelatinização já observada na DSC do amido, apresentando média de temperatura de 89,33°C, com maior resistência. O pico em 246,80°C a 297,71°C possivelmente está relacionado à presença do glicerol, representativo do processo de relaxação da fase rica e plastificação na amostra, isso acontece quando a quantidade de água adicionada é suficientemente proporcional (Chang *et al.*, 2006), provocando uma maior eficiência do plasticizante utilizado.

Assim como na DSC do óleo, na DSC do bioplástico é vista nas faixas 372,91°C a 472,05°C a degradação dos componentes químicos proveniente do óleo de açaí, quando submetido à altas temperaturas. Esse evento endotérmico

também já foi reportado pelo estudo realizado por (Pereira, 2015) ao analisar óleo de açaí, também indicando perda de massa da amostra em relação ao aumento de temperatura, uma vez que os ácidos graxos são degradados.

Nesse sentido, o bioplástico demonstrou um comportamento térmico previsto, visto sua composição, o que indica que a junção dos componentes da amostra não prejudicou ou causou alterações drásticas na composição individual da solução polimérica, apenas manteve sua atividade e intensificou a resistência dos mesmos.

6. CONCLUSÃO

Diante do exposto, conclui-se que por meio das análises realizadas, foi possível identificar o potencial que o óleo de açaí tem para a formulação e produção de novos produtos para o setor industrial.

Dentre as análises físico-química destaca-se que, embora o óleo analisado tenha apresentado um alto valor de acidez, essa alteração foi primordial para o despertar do olhar científico quanto ao aproveitamento e investigação desse óleo, no qual obtiveram-se resultados satisfatórios.

As análises térmicas foram capazes de determinar as temperaturas ideais do amido de mandioca, óleo de açaí e bioplástico, para uso nas indústrias e produtos, demonstrando que mesmo após a junção do óleo e amido para formação do bioplástico, este não perdeu suas características, todavia, manteve seu potencial biológico.

Vale ressaltar também as análises biológicas foram de extrema relevância para o presente estudo, pois foram por elas que se identificaram o valor biológico do óleo do açaí, referente a sua capacidade antioxidante, anticâncer e anti-inflamatória, com resultados promissores, denotando que este óleo é um forte aliado contra doenças cancerígenas e infecciosas, o que deve ser investigado mais a fundo para aprimoração dos dados obtidos.

O uso do amido de mandioca foi fundamental para a estrutura polimérica responsável pela produção do bioplástico, dado suas características físico-químicas, morfológicas e térmicas.

Os resultados obtidos por meio das análises físicas, indicam que o bioplástico incorporado ao óleo de açaí é um produto que salienta a capacidade para uso em setores cosméticos e farmacêuticos, além da possível utilização para o setor de embalagens, por se tratar de um produto 100% biodegradável, sem uso de resinas petroquímicas.

Destaca-se, por fim, os benefícios encontrados no óleo de açaí como fatores imprescindíveis para estudos e incorporação em produtos que consigam agregar ao consumidor final as atividades biológicas, como foi a criação do bioplástico, que conforme analisado, conseguiu aderir e manter as características do óleo de açaí, o que garante a bioatividade deste produto.

7. PROJEÇÕES DE PUBLICAÇÕES

Publicação do resumo intitulado “Evaluation of the cytotoxicity of Euterpe oleracea (açai) oil in neoplastic cell lines” no 3rd International Meeting on Oncology Research, aceito em novembro de 2022.

Publicação do resumo intitulado “Induction of apoptosis on paraense gastric adenocarcinoma lineage (AGP01) treated with Euterpe Oleracea Mart oil (açai)” no Oncology 2023 International Symposium, aceito em outubro de 2023.

REFERÊNCIAS

ABIPLAST. Associação Brasileira da Indústria do Plástico. Disponível em: <<http://www.abiplast.org.br/>>. Acesso em: 25 jan. 2022.

ABREU, C. M.; NETO, J. P. S.; MARTINS, L. H. S.; CRUZ, W. P.; SILVA, J. N.; SILVA, V. F. A.; CARVALHO, F. I. M.; SILVA, P. A. Quality of minimally processed table cassava cultivated in southeastern Pará, Brazilian Amazonian. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 7, p. 46365-46379, jul. 2020.

AGGARWAL, P.; DOLLIMORE, D. A method of comparison between corn starch and its products using thermal analysis. **Instrumentation Science e Technology**, v. 27, p. 191-197, 1999.

AGUIAR, E. B.; SCHLEDER, E. J. D.; BRITO, V. H. S.; AGUENA, F. A. F. Plantio direto na cultura da mandioca. **Uniciências**, n.1, p. 2-9, jun. 2021.

ALCÁZAR-ALAY, S. C.; MEIRELES, M. A. A. Physicochemical properties, modifications and applications of starches from different botanical sources. **Food Science and Technology**, Campinas, v. 35, n. 2, p. 215–236, 2015.

ALVES, L. R.; CARIELLO, G. M.; PEROGANO, G. M.; FILHO, J. F. A utilização de óleos vegetais como fontes de polióis para a síntese de poliuretano: uma revisão. **Disciplinarum scientia**, Série: Ciências Naturais e Tecnológicas, Santa Maria, v. 22, n. 1, p. 99-118. mai. 2021.

AMERICAN OIL CHEMISTS' SOCIETY. **Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society**. 4th ed. Champaign, USA, AOCS, 1990. [AOCS Official method Cd 8-53].

ANCORA, D.; MILLAVEZ, J.; GRADISEK, A.; CIFELLI, M.; SEPE, A.; APIH, T.; ZALAR, B.; DOMENICI, V. Sensitivity of proton NMR relaxation and próton NMR diffusion measurements to olive oil adulterations with vegetable oils. **Journal Agricultural and Food Chemistry**, v.69, p. 12081–12088. 2021.

ARAÚJO, R. O.; SANTOS, V. O.; RIBEIRO, F. C. P.; CHAAR, J. S.; PEREIRA, A. M.; FALCÃO, N. P. S.; SOUSA, L.K.C. Magnetic acid catalyst produced from acai seeds and red mud for biofuel production. **Energy Conversion and Management**, .v. 228, p.12081-12088, 2021.

AVÉROUS, L.; FRIGANT, C.; MORO, L. Plasticized starch-cellulose interactions in polysaccharide composites. **Polymers**, v. 42, n. 15, p. 6556-6572, 2001.

BAQUERA, P. B.; QUINTERO, A. H.; LÓPEZ, E. M. R. Residuo de café transformado en bioplástico. In: SERNA, E. M. (Org.). **Ciencia transdisciplinar para el desarrollo y la supervivencia de la humanidad**. Medellín – Antioquia: Editorial Instituto Antioqueño de Investigación, 2021. p. 59-72.

BERNAUD, R.F.S. e FUNCHAL, C.D.S. Atividade antioxidante do açaí. **Nutrição Brasil**, v. 10, n. 5, p. 310-316, 2011.

BERTUZZI, M. A.; VIDAURRE E. F. C.; ARMADA M.; GOTTIFREDI J. C. Water vapor permeability of edible starch based films. **Journal of Food Engineering**, v. 80, 3, 972–978, 2007.

BEZERRA, E.; ANDRADE, P. Desenvolvimento de bioplásticos à base de cascas de bananas e de ovos. In: ANDRADE, P.; RIBEIRO, I. (Org.). **Ciência e Engenharia de Materiais: Conceitos, Fundamentos e Aplicações**. Guarujá – SP: Editora Científica, 2021. p. 216-229.

BOBBIO, F. O.; BOBBIO, P. A. **Introdução à Química de Alimentos**. 3 ed. São Paulo: 2003. p. 55-80.

BRASIL. Instrução Normativa nº 87, de 15 de março de 2021. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 17 mar. 2021. Seção 1, p. 261.

BRASIL. Instrução Normativa nº 37, de 1 de outubro de 2018. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 2018.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução da Diretoria Colegiada. RDC nº 263, de 22 de setembro de 2005, dispõe sobre o regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 22 set. 2005.

BRIGIDANO, M.; RAMÍREZ, A.; ROMERO, A.V. Estudio de las propiedades de un bioplástico según sus refuerzos. **Ingenia Materiales**, n. 3, p. 17-21, jul. 2021.

BRUGNEROTTO, J.; LIZARDI, J.; GOYCOOLEA, W.; ARGÜELLES-MONAL, W.; DESBRIÈRES, J.; RINAUDO, M. An infrared investigation in relation with chitin and chitosan characterization. **Polymer**, v. 42, p. 3569–3580. 2001.

CASTRO, R. C.; COSTA, L. F. S.; COSTA, L. M. D. A.; MARTINS, G. B. C. Extração e análise de propriedades físico-químicas do óleo de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.). **Research, Society and Development**, v. 10, n. 8, e24610817358, 2021.

CEDRIM, P. C. A. S.; BARROS, E. M. A.; NASCIMENTO, T. G. Propriedades antioxidantes do açaí (*Euterpe oleracea*) na síndrome metabólica. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 21., e2017092, nov. 2018.

CHANG, Y. P.; KARIM, A. A.; SEOW, C. C. Interactive plasticizing-antiplasticizing effects of water and glycerol on the tensile properties on tapioca starch films. **Food Hydrocolloids**, v. 20, n. 1, p.1-8, 2006.

CHISENGA, S. M.; WORKNEH, T. S.; BULTOSA, G.; ALIM, B. A. Progress in research and applications of cassava flour and starch: a review. **Journal of Food Science and Technology**, v. 56, p. 2799-2813, may. 2019.

CHOUHAN, S.; SHARMA, K.; GULERIA, S. Antimicrobial activity of some essential oils – Present status and future perspectives. **Medicines**, v. 4, n. 3, art. nº 58, aug. 2017.

COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE. **CIE**. Disponível em: <<http://www.cie.co.at/>>. Acesso em: 7 fev. 2023.

COLZATO, M.; FORATO, L. A.; COLNAGO, L. A.; ASSIS, O. B. G. **Análise comparativa dos espectros de 1H RMN de óleos comestíveis oxidados**. São Carlos: EMBRAPA – CNPDIA, 200. 1-4p. (EMBRAPA – CNPDIA, Comunicado Técnico, 92), 2008.

COMMISSION INTERNACIONAL DE L'ECLAIRAGE (CIE). **Technical report: the spectroradiometric measurement of light sources**. Photocopy edition 1999, p.63. 1984.

COSTA, R. S.; BRITO, N. A.; CAMELO, S. R. P.; RIBEIRO-COSTA, R. M.; BARBOSA, W. L. R.; COSTA, C. E. F.; SILVA JÚNIOR, J. O. C. Investigation of thermal behavior of Heliotropium indicum L. lyophilized extract by TG and DSC. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v.111, p. 1959-1964, 2013.

CREA-PR. Avaliação de metodologias para a produção de plástico biodegradável a partir do amido de mandioca. **Revista Técnico-científica do CREA-PR** – ISSN 2358-5420 – Edição Especial, p. 1-17, set. 2021.

CRIPPA, A. **Estudo Do Desempenho De Filmes Multicamadas Em Embalagens Termoformadas**. 151f. Dissertação (Pós-graduação em engenharia e ciência dos materiais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

DAVANÇO, T. **Desenvolvimento e caracterização de biofilmes à base de gelatin, triacetina, ácido esteárico ou ácido capróico e surfactantes**. 155 f. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) - Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas/SP, 2006.

DEL BUONO, D.; LUZI, F.; BENINCASA, P.; KENNY, J. M.; TORRE, L.; PUGLIA, D. Extraction of nanostructured starch from purified granules of waxy and non-waxy barley cultivars. **Industrial Crops and Products**, v. 130, p. 520-527, apr. 2019.

ELIASSON, A.C. **Carbohydrates in food**. New York: Marcel Dekker, 1996. 664p.

FAO. **Cassava in Latin America and the Caribbean: A look at the potential of the Crop to promote Agric development and economic growth**. Paraguay, 2016.

FAO. **Production, crops**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>>. Acesso em: 28 dez 2021.

FARRO, P. C. A. **Desenvolvimento de filmes biodegradáveis a partir de derivados do grão de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willdenow) da variedade “Real”**. 320 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos). Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

FAUSTINO, E. F. A.; FAUSTINO, C. F. A.; LUCAS, G. K. S.; SILVA, R. J.; COSTA, B. L.; SOUZA, P. A.; AROUCHA, E. M. M.; LIMA, M. M.; CARNEIRO, L. C. Use of cassava starch and chitosan-based coating in the conservation of cashew raisins. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 7, n. 12, p. 120263-120277, dec. 2021.

FERNANDES, F. D.; GUIMARAES JUNIOR, R.; VIEIRA, E. A.; FIALHO, J. F.; MALAQUIAS, J. V. Produtividade e valor nutricional da parte aérea e de raízes tuberosas de oito genótipos de mandioca de indústria. **Rev. Bras. Saúde. Prod. Anim.**, Salvador, v. 17, n. 1, p. 1-12, jan/mar. 2016.

FERREIRA, M. D.; SPRICIGO, P. C. Colorimetria – princípios e aplicações na agricultura. In: FERREIRA, M. D. (Ed. técnico). **Instrumentação pós-colheita em frutas e hortaliças**, São Carlos: Embrapa Instrumentação, p. 209-220, 2017.

FORSSELL, P. M.; MIKKILA, J. M.; MOATES, G. K.; PARKER, R. Phase and glass transition behaviour of concentrated barley starch-glycerol-water mixtures, a model for thermoplastic starch. **Carbohydrate Polymers**, v. 34, n. 4, p. 275-282, 1997.

FRANCO, C. R.; CYRAS, V. P.; BUSAMELN, P. P.; VÁZQUEZ, A. Degradation of polycaprocactnone/starch blends and composites with sisal fibre. **Polymer Degradation and Stability**, v. 39, p. 95-103, 2004.

FRIEDRICHSEN, J. S. A.; FERREIRA, C. S. R.; FRIGO, C.; GOMES, E. S.; SILVA, J. F.; SILVA, P. G.; PIACQUADIO, N. M.; ARAÚJO, E. D.; SANTOS, O. O. The use of starch as a proposal for biodegradable packaging – A review. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 14, e282111436449, 2022.

GARCIA, M. C.; FRANCO, C. M. L.; JÚNIOR, M. S. S.; CALIARI, M. Structural characteristics and gelatinization properties of sour cassava starch. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 123, n. 2, p. 919-926, 2016.

GARCIA, M. A. MARTINO, M. N.; ZARITZKY, N. E. Lipid addition to improve barrier Properties of edible starch-based films and coatings. **Journal of Food Science**, London, v.65, n.6, p. 941-947, 2000.

GUIMARÃES, S. C. N.; ALVES, D. T. V.; SOUZA, R. B. M.; COSTA, C. E. F.; MELO, K. C.; OLIVEIRA, I. S.; SOARES, S. D.; SANTOS, O. V. Desenvolvimento de formulações fermentadas probióticas mistas enriquecidas com óleos de frutos amazônicos. **Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 33, p. 10882-10901, mar. 2020.

GUTIÉRREZ, L.; STEPIEN, G.; GUTIÉRREZ, L.; PÉREZ-HERNÁNDEZ, M.; PARDO, J.; PARDO, J.; GRAZÚ, V.; DE LA FUENTE, J. M. Nanotechnology in Drug Discovery and Development. **Comprehensive Medicinal Chemistry**. III, v. 1–8, p. 264–295, 2017.

HAFILA, Z. JUMAIDIN, R.; ILYAS, R. A.; SELAMAT, M. Z.; YUSOF, F. A. M. Effect of palm wax on the mechanical, thermal, and moisture absorption properties of thermoplastic cassava starch composites. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 194, n. 1, p. 851-860, jan. 2022.

HALONEN, N.; PÁLVOLGYI, P. S.; BASSANI, A.; FIORENTINI, C.; NAIR, R.; SPIGNO, G.; KORDAS, K. Bio-based Smart material for food packaging and sensors: a review. **Frontiers in Materials**, v. 7, article 82, apr. 2020.

HAN, J. H. e FLOROS, J. D. Casting antimicrobial packaging films and measuring their physical properties and antimicrobial activity. **Journal of Plastic Film and Sheeting**, v.13, p. 287-298, 2010.

HAZRATI, K. H.; SAPUAN, S.M.; ZUHRI, M. Y. M.; JUMAIDIN, R. Extraction and characterization of potential biodegradable materials based on Dioscorea hispida tubers. **Polymers**, v. 13, n. 4, p. 584, jan. 2021.

HORNUNG, P. S. **Efeito da radiação ultravioleta na oxidação induzida de amido de mandioca**. 70f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2014.

ILYAS, R. A.; SAPUAN, S. M.; ISHAK, M. R.; ZAINUDIN, E. S. Sugar palm nanocrystalline cellulose reinforced sugar palm starch composite: degradation and wáter-barrier properties. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Malaysia**, v. 368. p.1-12, nov. 2018.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. v. 1: **Métodos químicos e físicos para análise de alimentos**, 3. ed. São Paulo: IMESP, 1985. p. 21-22.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento sistemático da produção agrícola – Produção – Agosto 2023**. Rio de Janeiro, 2023. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1618#resultado>>. Acesso em: 06 set. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção Agropecuária – Produção de Açaí (Cultivo)**. Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/acai-cultivo/pa>>. Acesso em: 06 set. 2023.

IQBAL, H. M. N.; KESHAVARZ, T. The Challenge of Biocompatibility Evaluation of Biocomposites. **Biomed. Compos.**, p. 303–334, 2017.

JANE, J.; KASEMSUWAN, T.; LEAS, S.; ZOBEL, H.; ROBYT, J. F. Anthology of Starch Granule Morphology by Scanning Electron Microscopy. **StarchStarke**, v. 46, n. 5, p. 121–129, 1994.

JENSEN, S.; GROSSMANN, M. V. E.; MALI, S. Microestrutura e estabilidade de filmes de amido de mandioca adicionados de emulsificantes com diferentes equilíbrios hidrofílico/lipofílico. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 12, n. 2, p. 97-105, 2009.

JIMÉNEZ-ROSADO, M.; ZARATE-RAMÍREZ, L. S.; ROMERO, A.; BENGOCHEA, C.; PARTAL, P.; GUERRERO, A. Bioplastics based on wheat gluten processed by extrusion. **Journal of Cleaner Production**, v. 239, n.1, p. 10, dec. 2019.

JUMAIDIN, R.; SAPUAN, S. M.; JAWAID, M.; ISHAK, M. R.; SAHARI, J. Thermal, mechanical, and physical properties of seaweed/sugar palm fibre reinforced thermoplastic sugar palm Starch/Agar hybrid composites. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 97, p. 606-615, apr. 2017.

LEBRETON, L.; ANDRADY, A. Future scenarios of global plastic waste generation and disposal. **Humanities e Social Sciences Communications**, v.6, p. 1-11, jan. 2019.

LEE, J. Anthocyanins of açai products in the United States. **NFS Journal**, v. 14-15, p. 14-21, mar. 2019.

LEITE, A. L. M. P. **Obtenção e caracterização de nanofibras de celulose a partir de subprodutos de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz)**. 97f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos), Universidade Estadual de Campinas, SP. 2016.

LEITE, I. S.; SILVA, L. A.; JÚNIOR, W. R. P. Biofilm of gelatina and glycerol with antibacterial properties. **Latin American Journal of Energy Research**, v. 6, n. 2, p. 1–11. 2019.

LEMOS, P. V. F. **Importância da cristalinidade e do teor de amilose na estabilidade térmica de amidos de diferentes fontes botânicas**. 111f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos), Universidade Federal da Bahia, BH. 2017.

LIM, B. K. H; THIAN, E. S. Biodegradation of polymers in managing plastic waste – A review. **Science of the Total Environment**, p. 1-25. nov. 2021.

LIMA, K. T. S. **Produção e caracterização físico-química de nanopartículas de amido contendo antocianinas da fruta do jabolão (*Syzygium cumini*)**. 2021. 68f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021.

LINDEBOOM, N.; CHANG, P. R.; TYLER, R. T. Analytical, Biochemical and Physicochemical Aspects of Starch Granule Size, with Emphasis on Small Granule Starches: A Review. **Starch-Starke**, v. 56, n. 34, p. 89–99, 2004.

LIRA, G. B.; LOPES, A. S. C.; NASCIMENTO, F. C. A.; CONCEIÇÃO, G. S.; BRASIL, D. S. B. Extraction processes and industrial uses of andiroba and açai oils: a review. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 12, e229101220227. set. 2021.

LOPES, L. C. **Controle metrológico da cor aplicado à estamperia digital de materiais têxteis**. 142f. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Metrologia, Qualidade e Inovação, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2009.

LOURDIN, D.; BIZOT, H.; COLONNA, P. “Antiplasticization” in starch-glycerol film?. **Journal of Applied Polymers Science**, v. 64, p. 1047-1053, 1997.

LUCHESE, C. L. **Desenvolvimento de embalagens biodegradáveis a partir de amido contendo subprodutos provenientes do processamento de alimentos**. 226f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

MARINHO, J. R. D.; DEMARTELAERE, A. C. F.; JUNIOR, S. M.; PRESTON, H. A. F.; MATTOS, K. M. C.; NUNES, S. K. S.; SILVA, T. P. P.; PRESTON, W.; SILVA, R. M.; SOUZA, J. B.; LIRA, V. M.; PAIVA, L. L.; DANINO, G. S.; COUTINHO, P. W. R.; MATA, T. C.; MEDEIROS, D. C.; LOPES, D. A. Análise da viabilidade econômico-financeira da produção de Manihot esculenta (Crantz) em assentamentos rurais no município de Macaíba – RN. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 7, n. 4, p. 43463-43404, abr. 2021.

MARQUES, P. T. **Propriedades térmicas, mecânicas e reológicas de filmes de amido de mandioca: efeito da adição de plasticizante e de agentes reticulantes**. 138f. Tese (Doutorado em Ciências), Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.

MATTE, W. D.; SILVA, H. M.; ZEFERINO, C. P. Subprodutos da mandioca como alimento alternativo para frangos de corte. **Pubvet**, v. 15, n. 8, p. 1-11, ago. 2021. MCHUGH, T. H.; KROCHTA, J. M. Sorbitol- vs glycerol – plasticized whey protein edible films: integrated oxygen permeability and tensile property evaluation. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 42, n. 4, p. 841-845, 1994.

MENDOZA, L.J.; ARGÜELLES MONAL, W.M.; GOYCOOLEA VALENCIA, F.M. **Chemical Characteristics and Functional Properties of Chitosan. Chitosan in the Preservation of Agricultural Commodities**; Elsevier Inc.: Cambridge, UK, 2016.

MIRZAYANS, R.; ANDRAIS, B.; MURRAY, D. Viability Assessment Following Anticancer Treatment Requires Single-Cell Visualization. **Cancers (Basel)**, n.8, p. 255, 2018.

MORILLON, V.; DEBEAUFORT, F.; BLOND, G.; CAPELLE, M.; VOLLEY, A. Factors affecting the moisture permeability of lipid-based edible films: a review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 2, 1, 67-89, 2002.

MOSQUINI, A. F.; ZAPPA, V.; MONTANHA, F. P. Características Farmacológicas dos Antiinflamatórios não esteroidais - Revisão de Literatura. **Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária**, v. 11, n. 17, 2011.

MOYANO, D. C. P.; MAXI, A. A. A. **Estudio de la obtención de un material polimérico biodegradable a partir de los desechos de la yuca por adición de agentes plastificantes**. 177f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental) – Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, 2021.

NAGATA, G. A.; SOUTO, B. A.; PERAZZINI, M. T. B.; PERAZZINI, H. Analysis of the isothermal condition in drying of acai Berry residues for biomass application. **Biomass and Bioenergy**, v. 133, p. 105453, feb. 2020.

NASCIMENTO, R. J. S.; COURI, S; ANTONIASSI, R.; FREITAS, S. P. Composição em ácidos graxos do óleo de açaí extraído com enzimas e com hexano. **Rev. Bras. Frutic.**, v. 30, n. 2, 2008.

NOGUEIRA, D., e MARTINS, V. G. Use of Different Proteins to Produce Biodegradable Films and Blends. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 27. n. 9, p. 2027–2039, 2019.

OLIVEIRA, A. N. De comida à patrimônio: a importância da valorização da farinha de mandioca no litoral do Paraná, Brasil. **Elisée, Rev. Geo. da UEG**, v. 10, n. 2, e102218, dez. 2021.

OSORIO, S. D.; SANTANA, R. M. C. Avaliação das propriedades físicas e mecânica de biofilmes obtidos a partir do amido da casca de batata. In: XV Congresso Brasileiro de Polímeros, 2019, Bento Gonçalves. **Anais do 15º Congresso Brasileiro de Polímeros (15 CBPOL)** – Bento Gonçalves, Rio Grande do Sul, 2019. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/237265/001123628.pdf?sequence=1>. Acesso em: 7 fev. 2023.

PACHECO-PALENCIA, L. A.; MERTENS-TALCOTT, S.; TALCOTT, S. T. (2008). Chemical composition, antioxidant properties, and thermal stability of a phytochemical enriched oil from Acai (*Euterpe oleracea* Mart.). **J. Agric. Food Chem.**, v. 56, p. 4631-463, 2008.

PARDO, I.; LAYOUN, G. C.; PIUCCI, G. S. Canudo biodegradável a base de amido de mandioca. In: **Feira Paulista – São Paulo**, SP, 2021. Disponível em: <<https://www.doity.com.br/anais/feira2021/trabalho/202769>>. Acesso em: 04 jan. 2022.

PAVIA, L. D.; kriz, G. S. **Introdução à espectroscopia**. 4. ed. Washington: Cengage Learning, 2018. 708p.

PEREIRA, G. S.; BASSO, S. L.; FREITAS, P. M.; LIMA, D. A.; MACHADO, A. S. Caracterização físico-química e cromatográfica dos óleos de açaí (Euterpe precatória), patauá (*Oenocarpus batauá*) e cocão (*Attalea tessmanii*). In: **57° CBQ, 2017, Gramado**. Anais [...] Gramado: Rio Grande do Sul, 2017. Disponível em: <http://www.abq.org.br/cbq/2017/trabalhos/7/12346-24642.html>. Acesso em: 4 fev. 2023.

PEREIRA, N. S. **Estudo comparativo entre PS/ β -Caroteno e PS/Ácido oléico com PS/Óleo de buriti (*Mauritia flexuosa*) e preparação e caracterização dos materiais PS/Óleo de açaí (*Euterpe oleraceae* Mart.)**. 114f. Dissertação (Mestrado em Química), Universidade de Brasília. 2008.

PEREIRA, R. G.; SOUZA, F. A. B. A. Purification and characterization of glycerin obtained from soybean biodiesel productin. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v. 10, n. 3, p. 252-262. jul. 2019.

PEREIRA, R. R. **Obtenção e caracterização de sistemas líquido cristalinos contendo óleo de açaí (*Euterpe Oleracea* Mart.)**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Ciências da Saúde (ICS), Programa de Pós- Graduação em Ciências Farmacêuticas (PPGCF), p. 58. Belém, 2015.

PESSANHA, K. L. F. **Elaboração e caracterização físico-química de filmes de amido adicionados de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) liofilizado**. 115f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2016.

PESSOA, C. L. E. **Filmes de amido/argila sepiolita e nanopartículas de prata com propriedades de barreiras aprimoradas**. 43f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Mato Grosso, Barra do Garças, 2020.

PETRUK, G.; ILLIANO, A.; GIUDICE, R. D.; RAIOLA, A.; AMORESANO, A.; RIGANO, M. M.; PICCOLI, R.; MONTI, D. M. Malvidin and cyanidin derivatives from açaí fruit (*Euterpe oleracea* Mart.) counteract UV-A-induced oxidative stress in immortalized 16 fibroblasts. **Journal of Photochemistry e Photobiology, B: Biology**, v. 172, p. 42–51, 2017.

PLASTIVIDA. **Os plásticos**. Disponível em: < <http://www.plastivida.org.br/>>. Acesso em: 25 jan. 2022.

PRESTES, S.; OLIVEIRA, L. F.; BERTAN, L. C.; VASCONCELLOS, C. M.; DE RENSIS, B.; BILCK, A. P.; CRISTINA, P.; VIANNA, B. Whey protein-based films incorporated with oregano essential oil. **Polímeros**, v. 27, n. 2, p. 158–164, 2017.

RABELLO, M. **Aditivação de polímeros**. Ed. ARTLIBER, 2000.

RE, R.; PELLEGRINI, N.; PROTEGGENTE, A.; PANNALA, A.; YANG, M.; RICE-EVANS, C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation

decolorization assay. **Free Radical Biology e Medicine**, v. 26, p. 1231-1237, oct. 1999.

REDA, S. Y. **Controle da qualidade do biodiesel por técnicas analíticas avançadas**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Processos Biotecnológicos (PPGPB), p. 53. Paraná, 2010.

REIS, A. P. S. **Filmes biodegradáveis a base de amido: Uma análise acerca da aplicação de diferentes fontes de amido na produção de filmes biodegradáveis utilizando a técnica casting com potencial de utilização em embalagens alimentícias**. 58f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2021.

REIS, L. C. B.; BARCELLOS, A. D.; MACHADO, B. A. S.; DRUZIAN, J. I. Filme biodegradável incorporado com glicerol e aditivos naturais. **Caderno de Prospecção**, v. 4, n. 4, p. 23-32. 2011.

ROSAS, A. L. G. **Modificação de bentonita por ultrassom-assistido para adsorção de antocianinas de açaí (Euterpe precatória Mart.)**. 95f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2021.

ROWE, R.C.; SHEYKEY, P. .; QUINN, M. E. Handbook of Pharmaceutical Excipients 6. Edition. **Washington, Pharmaceutical Press**, p. 473, 2009.

SADEGHIZADEH-YAZDI, J.; HABIBI, M.; KAMALI, A. A.; BANAEI, M. Application of edible an biodegradable starch-based films in food packaging: a systematic review and meta-analysis. **Current Reserach Nutrition and Food Science Journal**, v. 7. n. 3, p. 624-637. oct. 2019.

SALES, P. F.; SILVA, Y. R. O.; LAPA, L. S. S.; AMARAL, F. H. C. Caracterização e aplicação de filmes biodegradáveis de amido de milho incorporados com extrato de própolis-verde. **ForScience**, v. 9, n. 2, e00958, jul. 2021.

SANTOS, J. C. O.; SANTOS, I. M. G.; SOUZA, A. G . Effects of heating and cooling on rehologicaç parameters of edible vegetable oils. **Journal of Food Enginering**, v. 67, n.4, p.401-405. 2005.

SARQUIS, I. R.; SARQUIS, R. S. F.R.; MARINHO, V. H. S.; NEVES, F. B.; ARAÚJO, I. F.; DAMASCENO, L. F.; FERREIRA, R. M. A.; SOUTO, R. N. P.; CARVALHO, J. C. T.; FERREIRA, I. M. Carapa guianensis Aubl. (Meliaceae) oil associated with silk fibroin, as alternative to traditional surfactants, and active against larvae of the vector Aedes aegypti. **Industrial Crops and Products**, v. 157, n. 1, 112931. dec. 2020.

SCHAUSS, A. G.; WU, X.; PRIOR, R. L.; OU, B.; HUANG, D.; OWENS, J.; AGARWAL, A.; JENSEN, G. S.; HART, A. N.; SHANBROM, E. Antioxidant capacity and other bioactivities of the freeze-dried Amazonian palm

berry, *Euterpe oleraceae* mart.(acai). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 54, n. 22, p. 8604-8610, 2006.

SHIKU, Y.; HAMAGUCHI, P. Y.; BENJAKUL, S.; VISESSANGUAN, W.; TANAKA, M. Effect of surimi quality on properties of edible films based on Alaska pollack. **Food Chemistry**, London, v. 86, n. 4, p. 493-499, 2004.

SHRINER, R. L.; FUSON, R. C. **Identificação sistemática de compostos orgânicos**. Rio de Janeiro, RJ: Publisher Guanabara Dois S.A. 1983.

SILVA, C. B.; SILVA, K. B.; OLIVEIRA, E. L. S.; SOARES, V. F.; COSTA, J.G.; SANTOS, A. F. A importancia da ação antioxidante de óleos essenciais em beneficio da saúde. **Diversitas Journal**, v. 2, n. 1, p. 52-55, abr. 2017.

SILVA, J. J. M.; ROGEZ, H. Avaliação da estabilidade oxidativa do óleo bruto de açaí (*Euterpe oleracea*) na presença de compostos fenólicos puros ou de extratos vegetais amazônicos. **Química Nova**, v. 36, n. 3, abr. 2013.

SILVA, B. J. M.; HAGE, A. A. P.; SILVA, E. O.; RODRIGUES, A. P. D. Medicinal plants from the Brazilian Amazonian region and their antileishmanial activity: a review. **Journal of Integrative Medicine**, v. 16, n. 4, p. 211-222. jul. 2018.

SILVA, T. O. M. **Compostos voláteis, perfil de aroma, de ácidos graxos e potencial antioxidante de óleo extraído por prensagem a frio de resíduo agroindustrial de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.)**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Sergipe, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos (PPGCTA), p. 88. São Cristóvão, 2017.

TECHNAVIO. **Global acai berry products market 2021–2025**. TechNavio. Disponível em: <<https://www.researchandmarkets.com/reports/5062046/global-aca-i-berry-products-market-2021-2025#rela1-4390881>>. Acesso em: 28 dez 2021.

TEIXEIRA, E. D. M. **Utilização de amido de mandioca na preparação de novos materiais termoplásticos**. 201f. Tese (Doutorado em Ciência). Departamento de Química., Universidade de São Paulo - USP, São Carlos, SP. 2007.

TEIXEIRA, E. M. **Utilização de amido de mandioca na preparação de novos materiais termoplásticos**. 201f. Tese (Doutorado em Ciência – Físico-Química). Universidade de São Paulo, 2007.

THE UNITED STATES PHARMACOPOEIA. **Rockville: United States Pharmacopeial Convention**; 2008. 31th.ed. Containers - Performance testing. Part 671, 10 p.

TOSHIMA, S.; HIRANO, T.; KUNITAKE, H. Comparison of anthocyanins, polyphenols, and antioxidant capacities among raspberry, blackberry, and Japanese wild Rubus species. **Scientia Horticulturae**, v. 285, 110204. jul. 2021.

TRAVALINI, A. P. **Filmes de amido de mandioca reforçados com nanopartículas de celulose visando aplicação em embalagens alimentícias “eco-friendly”**. 150f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Estadual de Ponta Grossa, PR. 2019.

UNEP. **Single-Use Plastics: A Roadmap for Sustainability**, Rev. ed.6, p. 6. 2018.

VAN SOEST, J. J. G.; ESSER, P. Influence of amylose-amylopectin ration on properties of extruded starch plastic sheets. **Pure and Applied Chemistry**, Oxford, v. 34, n. 9, p. 1665- 1689, 1997.

VIEIRA, A. H.; RAMALHO, A. R.; ROSA NETO, C.; CARARO, D. C.; COSTA, J. N. M.; VIEIRA JUNIOR, J. R.; WADT, P. G.S.; SOUZA, V. F. Cultivo de açaizeiro (*Euterpe oleracea* Martius) no Noroeste do Brasil. 1. ed. Roraima: **Embrapa Rondônia**, 2018. 90p.

VIELL, F. L. G. **Obtenção e caracterização de amido de mandioca (Manihot esculenta Crantz) modificado com ácido tartárico**. 56f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015.

WWF BRASIL. **Relatório planeta vivo 2018: Uma ambição maior**. Disponível em:

<https://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/especiais/relatorio_planeta_vivo_2018>. Acesso em: 04 jan. 2022.

YAMAGUCHI, K. K. L.; PEREIRA, L. F. R.; LAMARÃO, C. V.; LIMA, E. S.; VEIGA-JUNIOR, V. F. Amazon acai: chemistry and biological activities: a review. **Food Chemistry**, v. 179, p. 137-151, jul. 2015.

ZARONI, M. **Polissacarídeos no desenvolvimento de péletes de teofilina de liberação colônica**. 118f Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas), Universidade Federal do Paraná. 2006.

ZAVAREZE, E. R.; HALAL, S. L.M.; TELLES, A. C.; PRENTICE-HERNÁNDEZ, C. Filmes biodegradáveis à base de proteínas miofibrilares de pescado. **Brazilian Journal of Food Technology**, IV SSA, p. 53-57, 2012.

ZHAO, X.; JI, K.; KURT, K.; CORNISH, K.; VODOVOTZ, Y. Optimal mechanical properties of biodegradable natural rubber-toughened PHBV bioplastics intended for food packaging applications. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 21, p. 1-10, set. 2019.