



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE ANANINDEUA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E  
ENGENHARIA DE MATERIAIS

JOSIEL FERREIRA SANTOS

DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE BIOPLÁSTICOS DE FÉCULA  
DE MANDIOCA COM EXTRATO ALCOÓLICO DE VISMIA GUIANENSIS

ANANINDEUA – PARÁ

2024

JOSIEL FERREIRA SANTOS

**DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE BIOPLÁSTICOS DE  
FÉCULA DE MANDIOCA COM EXTRATO ALCOÓLICO DE VISMIA  
GUIANENSIS**

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais (PPGCEM), do *Campus* Universitário de Ananindeua (CANAN), da Universidade Federal do Pará (UFPA), como parte dos requisitos para a obtenção do título de mestre(a) em Ciência e Engenharia de Materiais.

Orientador(a): Gabriel Adolfo Cabrera Pasca

Area de Concentração: Caracterização, desenvolvimento e aplicação de materiais

Linha de pesquisa: Tecnologia dos materiais

ANANINDEUA - PA


2024

# DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DEBIOPLÁSTICOS DE FÉCULA DE MANDIOCA COM EXTRATO ALCOÓLICO DE *VISMIA GUIANENSIS*

**JOSIEL FERREIRA SANTOS**

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS - PPGCEM/UFPA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS.

Aprovada por:

Documento assinado digitalmente  
 **GABRIEL ADOLFO CABRERA PASCA**  
Data: 30/08/2024 08:54:03-0300  
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

PRESIDENTE: \_\_\_\_\_

**Prof. Dr. Gabriel Adolfo Cabrera Pasca**  
**Orientador – PPGCEM/UFPA**

Documento assinado digitalmente  
 **MARCELE FONSECA PASSOS**  
Data: 28/08/2024 15:19:02-0300  
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

MEMBROS: \_\_\_\_\_

**Prof<sup>a</sup>. Dra. Marcelle Fonseca Passos**  
**Examinadora Interno – PPGCEM/UFPA**

Documento assinado digitalmente  
 **ERICK LEONARDO RIBEIRO**  
Data: 29/08/2024 11:16:43-0300  
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Erick Leonardo Ribeiro**  
**Membro Externo à Instituição – DEPTO. DE ENG. MECÂNICA/USP**

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)

---

S237d SANTOS, JOSIEL FERREIRA SANTOS.  
DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE  
BIOPLÁSTICOS DE FÉCULA DE MANDIOCA COM  
EXTRATO ALCOÓLICO DE VISMIA GUIANENSIS / JOSIEL  
FERREIRA SANTOS SANTOS. — 2024.  
63 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Gabriel Adolfo Cabrera Pasca Pasca  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,  
Campus Universitário de Ananindeua, Programa de Pós-Graduação  
em Ciência e Engenharia de Materiais, Ananindeua, 2024.

1. Amido de mandioca. 2. Vismia Guianensis. 3.  
Bioplástico. 4. Extrato alcoólico . 5. Plastificante. I. Título.

CDD 530.0724

---

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus que esteve comigo nos momentos mais difíceis. Ao meu orientador que me orientou durante toda essa trajetória. A minha família que esteve comigo durante toda a construção deste trabalho

A imaginação é mais importante que a ciência, porque a ciência é limitada, ao passo que a imaginação abrange o mundo inteiro.

(Albert Einstein)

## RESUMO

Este trabalho investiga a incorporação do extrato alcoólico de *Vismia Guianensis* (EAVG) em fécula de mandioca, visando melhorar suas propriedades bioplásticas. O amido de mandioca foi dissolvido em água destilada nas seguintes concentrações com 0,2%, 0,5% e 1,0% de EAVG sob temperatura controlada no ponto de gelatinização (~70 °C) e depois moldado para formar os bioplásticos. As amostras preparadas foram caracterizadas por Refletância Total Atenuada/Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (ATR/FTIR), Análise Termogravimétrica e Térmica Diferencial (TGA-DTA), Difração de Raios X (XRD), Microscopia Eletrônica de Varredura/Espectroscopia de Energia Dispersiva (SEM/EDS), Microscopia de Força Atômica (AFM) e ensaios mecânicos, fornecendo insights sobre composição química, estabilidade térmica, cristalinidade, morfologia de superfície e propriedades mecânicas. Essas técnicas caracterizaram de forma abrangente os bioplásticos de fécula de mandioca com adição de EAVG, destacando suas propriedades mecânicas aprimoradas. Os resultados demonstraram que o EAVG desempenhou um papel eficaz como plastificante, aumentando a flexibilidade, resistência e estabilidade do biofilme que possuem uma espessura de 0,8mm, e suportam uma tração de 4,19 a 18,43 MPa. Este estudo justifica o EAVG como um aditivo promissor para a produção de materiais biocompatíveis e sustentáveis, adequados para inúmeras aplicações em plásticos biodegradáveis. A EAVG apresenta um caminho para o avanço de bioplásticos com propriedades mecânicas, térmicas e funcionais aprimoradas, com um futuro promissor, no que diz respeito à sua contribuição para novos desenvolvimentos nessas áreas.

**Palavras-chave:** Amido de mandioca, *Vismia Guianensis*, Bioplástico, Extrato alcoólico, Plastificante

## ABSTRACT

This work investigates the incorporation of the alcoholic extract of *Vismia Guianensis* (EAVG) cassava starch, aiming to improve its bioplastic properties. Cassava starch was dissolved in distilled water at the following concentrations with 0.2%, 0.5% and 1.0% EAVG under controlled temperature at the gelatinization point (~70 °C) and then molded to form bioplastics. The prepared samples were characterized by Attenuated Total Reflectance/Fourier Transform Infrared Spectroscopy (ATR/FTIR), Thermogravimetric and Thermal Differential Analysis (TGA-DTA), X-ray Diffraction (XRD), Scanning Electron Microscopy/Energy Spectroscopy Dispersive (SEM/EDS), Atomic Force Microscopy (AFM) and mechanical assays, providing insights into chemical composition, thermal stability, crystallinity, surface morphology and mechanical properties. These techniques comprehensively characterized cassava starch bioplastics with EAVG addition, highlighting their enhanced mechanical properties. The results demonstrated that EAVG played an effective role as a plasticizer, increasing the flexibility, resistance and stability of the biofilm that has a thickness of 0.8 mm, and supports a traction of 4.19 to 18.43 MPa. This study justifies EAVG as a promising additive for the production of biocompatible and sustainable materials, suitable for numerous applications in biodegradable plastics. EAVG presents a path forward for the advancement of bioplastics with improved mechanical, thermal and functional properties, with a promising future in terms of their contribution to new developments in these areas.

**Keywords:** Cassava starch, *Vismia Guianensis*, Bioplastic, Alcoholic extract, Plasticizer



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	11
<b>1.1 Objetivos</b> .....	13
1.1.1 Objetivo geral.....	13
1.1.2 Objetivos específicos.....	13
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	14
<b>2.1 Plásticos</b> .....	14
<b>2.2 Bioplásticos a base de amido</b> .....	15
2.3.1 Plastificantes.....	17
<b>2.4 Resinas</b> .....	18
2.4.1 Resina de <i>Vismia Guianensis</i> .....	19
<b>2.5 Família Hypericaceae</b> .....	20
2.5.1 Gênero <i>Vismia</i> .....	20
<b>2.6 Composição química</b> .....	21
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	23
<b>3.1. Metodologia Síntese dos filmes de bioplásticos de amido com EAVG</b> .....	24
<b>3.2. Métodos de caracterização</b> .....	27
3.2.1 Espectroscopia vibracional no infravermelho (FTIR).....	27
3.2.2 Análise termogravimétrica.....	29
3.2.3 Microscopia eletrônica de varredura (MEV).....	29
3.2.4 Medidas de AFM .....	30
3.2.5 Difração de Raios X (XRD) .....	32
3.2.6 Ensaio de tração.....	32
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	36
<b>4.1. Caracterização EAVG</b> .....	36
4.1.1 Difração de Raios X SEM-EDS, Análise TGA-DTA.....	36
4.1.2 Espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR).....	37
<b>4.2 Caracterização de bioplásticos</b> -----	<b>39</b>

4.2.1 Microscopia Eletrônica de Varredura/Espectroscopia de Energia Dispersiva (SEM/EDS) .....	39
4.2.3 FTIR de filme bioplástico.....	44
4.2.4 Análise Térmica TGA e DTA.....	45
4.3 Análise de Difração de Raios X (DRX) e Curvas Tensão-Deformação de Filmes Bioplásticos de Amido de Mandioca dopados com EAVG.....	47
<b>4.4 Ensaio mecânico (tração).....</b>	<b>49</b>
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>56</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>57</b>

## 1-INTRODUÇÃO

A busca por materiais alternativos renováveis ganha destaque devido à preocupação com a escassez de recursos petrolíferos e a crescente poluição ambiental. Entre as alternativas promissoras estão os biopolímeros e bioplásticos, derivados de recursos da biodiversidade amazônica, destacando-se por sua abundância, renovabilidade e biodegradabilidade. Esses materiais biológicos, tanto naturais quanto sintéticos, têm potencial em várias áreas, como embalagens, energia e biomedicina, apesar dos desafios complexos associados à sua adoção global.

A bioeconomia emerge como uma abordagem interdisciplinar para alcançar o desenvolvimento sustentável, conectando biotecnologia, bem-estar humano e preservação dos recursos naturais. Além disso, a economia circular, visando a utilização máxima de produtos e materiais antes do descarte, destaca-se como um modelo regenerativo. O Brasil, com sua vasta biodiversidade e setor agrícola competitivo, está posicionado para liderar o desenvolvimento dessa economia, aproveitando recursos renováveis e políticas de incentivo, como evidenciado pelo sucesso da indústria da cana-de-açúcar e do etanol no país.

Entre os produtos de base biológica não-energéticos, derivados da cana-de-açúcar, se situam os bioplásticos, uma alternativa renovável aos plásticos tradicionais. Segundo definição da *EUROPEAN BIOPLASTICS* (2020), para se encaixarem nessa denominação, esses novos produtos, que possuem as mesmas propriedades dos plásticos convencionais, podem ter origem renovável ou parcialmente renovável, serem biodegradáveis ou terem ambas as características.

Embora a evolução da tecnologia acerca dos bioplásticos permita que esses produtos substituam os compostos convencionais de origem fóssil, sem perda de qualidade dos produtos, a produção de bioplásticos ainda corresponde a apenas 1% da produção total de plásticos no mundo *EUROPEAN BIOPLASTICS* (2020). Cerca de 40% do plástico produzido atualmente é usado em produtos de uso único *NATIONAL GEOGRAPHIC* (2022).

Colocando em questão a necessidade de um consumo mais consciente em um planeta onde os recursos estão sob enorme pressão: as seringas descartáveis podem ser essenciais, mas muitos outros produtos, não. O ônus não deve ser colocado no consumidor final, mas sem uma mudança real no comportamento, é improvável que o problema seja corrigido ou mitigado. A responsabilidade pela disposição final e possível reciclagem também é objeto de debate: quais são as obrigações dos fabricantes.

Dentre as alternativas consideradas, muitos esforços estão sendo direcionados ao uso de materiais de origem biológica e facilmente degradáveis, como os plásticos biodegradáveis, os quais empregam uma variedade de polímeros naturais. Nesse contexto, dada a importância dos plásticos em vários setores industriais e, conseqüentemente, para a economia, bem como sua presença ubíqua no dia a dia da sociedade e a necessidade urgente de estabelecer um processo produtivo ambientalmente sustentável, a região amazônica, devido à sua vasta biodiversidade, emerge como um reservatório com vastas oportunidades para impulsionar a produção desses novos materiais biodegradáveis.

O segundo a Embrapa amido de mandioca, também conhecido como fécula, goma ou polvilho doce, é um pó fino, branco, sem cheiro e sem sabor, obtido a partir da mandioca. Essa raiz, rica em amido, tem mais de 800 usos. Na indústria, a fécula de mandioca é utilizada na fabricação de tecidos, papéis, colas, tintas, embutidos de carne, cervejas e alimentos. Além disso, ela desempenha um papel importante na produção de embalagens biodegradáveis, substituindo os derivados do petróleo. Além de seu uso industrial, a fécula de mandioca é utilizado como espessante e estabilizante em produtos de panificação. Portanto a mandioca não apenas alimenta, mas também contribui para a sustentabilidade.

Em meio às diversas formas de utilizar o amido e a biodiversidade da região amazônica, uma espécie nativa conhecida popularmente como "lacre", pau-de-lacre, árvore-da-febre, caapiá e caopia, pertence à família Clusiaceae (também denominada Guttiferae) DISTASI; HIRUMA-LIMA (2002). Além da importância medicinal, esses gêneros apresentam espécies economicamente relevantes para a região. A árvore também é utilizada para a produção de madeira, gomas, pigmentos, óleos essenciais e resinas DISTASI; HIRUMA-LIMA (2002), destacando sua versatilidade e valor para a economia local.

A espécie *Vismia guianensis* é encontrada nas regiões do Norte e Nordeste do Brasil. Trata-se de arbusto ou árvore pequena, com folhas ovais e oblongas, inflorescência em panículas terminais e frutos globosos, carnosos e indeiscentes ALMEIDA (1993).

Neste trabalho, apresentamos a produção de um novo tipo de bioplástico, o qual possui coloração alaranjada e é resistente para fins de aplicação em embalagens ou mesmo como carregador de fármacos devido a sua origem. Este produto foi produzido no Laboratório de Física do Campus de Abaetetuba de nanomateriais (LFCAnano) através

do método de deposição por *casting* e caracterizado por, TGA-DTA e MEV-EDS no RCGILab-USP, AFM e DRX foram realizados no IPEN e o FTIR e Ensaio de tração na UFPA.

## **1.1 Objetivos.**

### 1.1.1 Objetivo geral

Síntese de um Bioplástico de amido de mandioca plastificado e/ou reforçado com a resina de *Vismia guianensis* em baixas concentrações.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- a) Obtenção de extratos em álcool isopropílico da *Vismia guianensis* (EAVG) a partir da coleta resina do tronco das árvores e seguida de um processo de ultracentrifugação visando a purificação de metabólitos secundários.
- b) Caracterização do extrato por técnicas como FTIR, TGA-DTA e DRX.
- c) Produzir bioplásticos na forma de filmes pelo método de casting plastificados com EAVG.
- d) E caracterizar os filmes com técnicas DRX, FTIR, TGA-DTA, AFM, MEV-EDS e ensaio mecânico (tração)

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Plásticos

Os polímeros são macromoléculas muito grande constituída pela repetição de monômeros ligadas covalentemente entre si ANDRADE (1995). o plástico é um material sólido à temperatura ambiente, podendo ser moldado através da ação do calor e da pressão.

Os plásticos convencionais são polímeros de base petroquímica que se tornaram um problema para os biomas, microbiomas e o meio ambiente, e sua substituição acelerada é crucial IROEGBU *et al.* (2021), CHAMAS *et al.* (2020). Neste contexto, os bioplásticos surgem como candidatos promissores e substitutos dos plásticos convencionais REV NAT BIOENG (2024). No entanto, devido à sua fragilidade, diversas estratégias estão sendo exploradas, como a adição de materiais de reforço para produzir compósitos eficazes para uma diversidade de aplicações. Estas estratégias visam garantir que o tipo de reforço ou o novo compósito proporcione um substituto adequado para os plásticos de base fóssil. Por exemplo, o uso de fibras lignocelulósicas, fibras sintéticas, argila, nanotubos de carbono e até misturas com outros polímeros foi relatado nos últimos anos, criando uma gama de compósitos ecológicos KONG *et al.*, (2023), NANDA *et al.* (2022)

A poluição por plásticos pode ser considerada como um dos mais graves impactos ambientais da atualidade, afetando tanto os ambientes terrestres quanto os aquáticos. Os resíduos de plásticos descartados nas ruas e nas praias, acumulam-se nos rios e nos mares, formando verdadeiras ilhas de plástico. E como esse material não é biodegradável, ou seja, não é decomposto por microrganismos como os resíduos orgânicos, uma vez descartados, torna-se um gravíssimo problema ambiental HARRIS *et al.* (2021); KURNIAWAN *et al.* (2021).

Na busca pela obtenção de novos materiais que substituíssem os de origem natural, como cascos e chifres de animais (que eram utilizados para a confecção de objetos como pentes, fivelas e botões) e alguns produtos de origem vegetal (como o âmbar, goma-laca e guta-percha), no início do século XX surgiu um novo tipo de material chamado plástico, que com algumas mudanças e adaptações passou a ser comercializado no mundo todo DIEZ (2009). Esse polímero tem enfrentado sérias contradições: por um lado, as empresas de transformação dependem dele para a produção, enquanto, por outro lado, seu

descarte inadequado no meio ambiente tem gerado reações de grupos de consumidores conscientes. Além disso, o volume de plástico descartado nos oceanos tem alarmado a comunidade científica mundial.

O plástico se tornou onipresente no meio ambiente criando assim um grande desafio para o planeta, sociedade e a economia global. Os solos, águas doces e oceanos estão contaminados pela sua presença. Se tratando dos oceanos, a poluição plástica pode chegar a 300 milhões de toneladas métricas até 2030, considerando as atuais projeções de crescimento populacional, projeções de PIB per capita, e na atual geração de resíduos plásticos GEYER *et al.* (2017).

A poluição plástica é um problema global que afeta não apenas o meio ambiente, mas também a saúde humana e animal. É essencial que continuemos a buscar soluções sustentáveis e conscientes para reduzir o impacto do plástico em nosso planeta.

## **2.2 Bioplásticos a base de amido**

O desenvolvimento de bioplásticos, termo que pode fazer referência tanto a um produto de origem renovável, quanto a um plástico biodegradável, bem como a um plástico com as duas características, pode ser considerado como uma das aplicações da química verde RUJNIC-SOKELE; PILIPOVIĆ (2017).

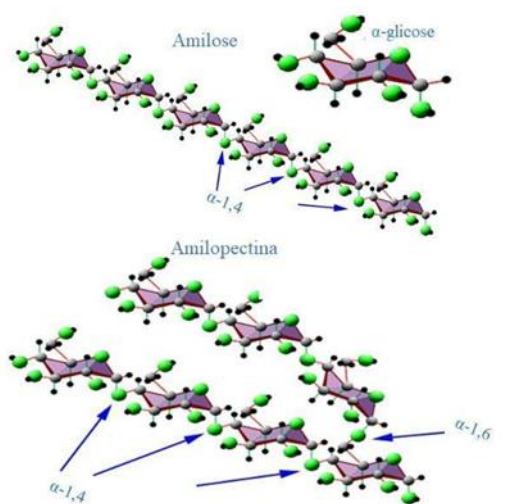
O amido, um polissacarídeo de reserva encontrado em diversas espécies vegetais, é estruturalmente composto por macromoléculas de amilose e amilopectina. A amilose é formada por unidades de glicose unidas por ligações glicosídicas  $\alpha$ -1,4, originando uma cadeia linear. Já a amilopectina é formada por unidades de glicose unidas em  $\alpha$ -1,4 e  $\alpha$ -1,6, formando uma estrutura ramificada. As proporções em que essas estruturas aparecem diferem em relação às fontes botânicas, variedades de uma mesma espécie e, mesmo numa mesma variedade, de acordo com o grau de maturação da planta ELIASSON (2004); TESTER *et al.* (2004).

Alguns estudos têm mostrado que, como ocorre na gelatinização, algumas populações de cadeias de amilopectina podem favorecer ou inibir a retrogradação da amilopectina devido à maior ou menor formação de duplas hélices durante a retrogradação VANDEPUTTE & DELCOUR (2004). Porém, a influência exata da amilose na retrogradação ainda permanece obscura. É possível sugerir que a fração amilose apresenta um efeito sinérgico na retrogradação da amilopectina, atuando como

um núcleo de recristalização no caso de baixos conteúdos de amilopectina VANDEPUTTE *et al.* (2003).

A figura 1 mostra a estrutura do amido de mandioca composto pelas moléculas de amilose, amilopectina e glicose.

**Figura 1:** Mostra a estrutura da amilose e da amilopectina que compõem a maior parte do amido de mandioca.



**Fonte:** Adaptado de Silva 2020.

Os termoplásticos são atrativos por suas capacidades de remodelação e reciclagem, tornando-os candidatos ideais para aplicações emergentes em adesivos, JIANG *et al* (2018), revestimento, LI *et al* (2020), e materiais de manufatura aditiva AKKERMAN e WIJSKAMP (2020), DAS e BORTNER, (2021) bem como os componentes estruturais (GE e ROBBINS, 2014), (LIU *et all.* 2020). A fusão térmica ou soldagem térmica de termoplásticos é um meio comum para unir peças poliméricas, onde duas superfícies são colocadas em contato próximo acima de sua temperatura de transição vítrea,  $T_g$ , permitindo a interdifusão ao longo de um período, de tempo ( $t$ ). GE e ROBBINS (2013). A fusão de termoplásticos tem chamado atenção especial devido à necessidade de interfaces regeneradas de alto desempenho em polímeros ou compósitos AKKERMAN e WIJSKAMP (2020), AGEORGES e HOU (2001), ZHANG, CREIGHTON, & VARLEY (2020).



### 2.3.1 Plastificantes

Plastificante e reticulante são aditivos usados em polímeros para modificar suas propriedades físicas e químicas, mas com funções diferentes. O plastificante aumenta a flexibilidade, maleabilidade e plasticidade reduzindo a temperatura de transição vítrea (T<sub>g</sub>) do polímero, tornando-o mais fácil de moldar e processar. Ele funciona interagindo com as cadeias poliméricas, diminuindo as forças de interação entre elas. Exemplos comuns de plastificantes incluem ftalatos, ésteres de ácido fosfórico e polímeros compatíveis. Quanto ao agente reticulante, este promove a formação de ligações cruzadas (ou reticulações) entre as cadeias poliméricas. Essas ligações adicionais aumentam a rigidez, a resistência mecânica e a estabilidade dimensional do polímero. Os reticulantes podem ser agentes químicos, como peróxidos, ou agentes físicos, como radiação ionizante ou calor. Esses agentes facilitam a formação de pontes covalentes entre as cadeias poliméricas, resultando em uma estrutura tridimensional mais forte e estável. Logo, os plastificantes tornam os polímeros mais flexíveis, enquanto os reticulantes os tornam mais rígidos e resistentes SOTHORNVIT E KROCHTA (2005).

Os agentes reticulantes, que por sua vez tem a função de promover ligações cruzadas entre as cadeias poliméricas, desta forma, podendo melhorar as qualidades mecânicas e a solubilidade dos filmes TSENOGLOU (1988). Mais especificamente para os bioplásticos de amido reticulados com polietilenoglicol surgiram algumas sutis rachaduras perto de suas extremidades. Além disso, estes bioplásticos apresentaram baixas propriedades mecânicas e altos valores de solubilidade em água.

Porém quando adicionado outros agentes plastificantes se tem uma mudança no tipo de ligação e conseqüentemente nas propriedades, como relatado por ZULLO & IANNACE (2009). A ureia e a formamida, utilizadas como plastificante, podem formar ligações de hidrogênio mais estáveis com o amido do que o glicerol. Através de uma análise qualitativa das micrografias de bioplásticos de amido termoplástico a fim de avaliar os efeitos de diferentes fontes de amido (milho, batata e trigo) e plastificantes (glicerol e mistura de ureia/formamida), amostras contendo ureia/formamida exibiram superfícies mais lisas.

Isso pode estar relacionado a uma melhor desestruturação e menor retrogradação do amido quando elas foram utilizadas como plastificante, o que foi confirmada também pela análise de raios-X SILVEIRA (2009). Para resolver esse problema, a ureia

geralmente é misturada com etanolamina, que ajuda aumentar a flexibilidade do amido plastificado, como foi utilizada no estudo feito por SCHMITT *et al.* (2015), o qual analisou bioplásticos de amido combinados com os plastificantes glicerol, sorbitol, glicerol/sorbitol e misturas de ureia/etanolamina por meio do processo de extrusão de alto cisalhamento para a preparação do amido termoplástico.

## 2.4 Resinas Naturais

A resina, derivada do latim, é uma substância pastosa ou sólida obtida naturalmente a partir de secreção orgânica de certas plantas. Suas propriedades químicas tornam-na útil na elaboração de diversos produtos como: perfumes, adesivos, vernizes e aditivos entre outros.

As resinas naturais são produzidas por células especiais presentes no tronco de algumas espécies de árvores. Elas contêm principalmente terpenos e derivados, além de compostos orgânicos em menor proporção, como óleos essenciais e ácidos carboxílicos GIGANTE (2005).

As resinas naturais são obtidas diretamente da natureza como foi discutido acima, os polímeros naturais também são obtidos da natureza, principalmente de árvores e plantas. Elas não são polímeros no sentido tradicional, pois não são formadas por unidades repetidas de monômeros. No entanto, algumas resinas naturais têm estruturas químicas complexas e podem ser consideradas precursores para a formação de polímeros. Por exemplo, a resina de bálsamo contém terpenos e outros compostos orgânicos que podem ser modificados para criar polímeros GIGANTE, 2005).

### 2.4.1- Resinas de *Vismia Guianensis*.

O uso de resinas amazônicas como plastificantes é uma área de pesquisa em crescimento devido à demanda por alternativas mais sustentáveis e naturais aos plastificantes tradicionais, muitos dos quais são derivados de petroquímicos.

Os óleos vegetais para serem utilizados como plastificantes em borracha, devem idealmente ser atóxicos, ter boa miscibilidade com o polímero, ser tão eficientes quanto plastificantes usuais, apresentar alta resistência à lixiviação do polímero com um custo relativamente baixo BRITO, *et al.* (2023).

A região Amazônica é reconhecida por sua rica biodiversidade, tornando-se um local de grande potencial para a produção de materiais biodegradáveis. Um exemplo notável é *Vismia guianensis*, comumente conhecida como “Lacre”. Esta planta,

pertencente ao reino Plantae e à família Hypericaceae, é nativa da floresta amazônica da América do Sul e pode atingir alturas de até 5 metros, caracterizada por uma copa irregular com múltiplos ramos BERG (1971). Um dos diferenciais da *Vismia guianensis* é seu látex (resina) amarelo-laranja, que pode ser obtido por meio de incisões em diversas partes do tronco da planta. Tradicionalmente, essa resina tem sido usada por algumas tribos amazônicas para tratar feridas, herpes e infecções fúngicas na pele. Recentemente, extratos de folhas de *V. guianensis* foram estudados por MOTTA *et al.* (2022)

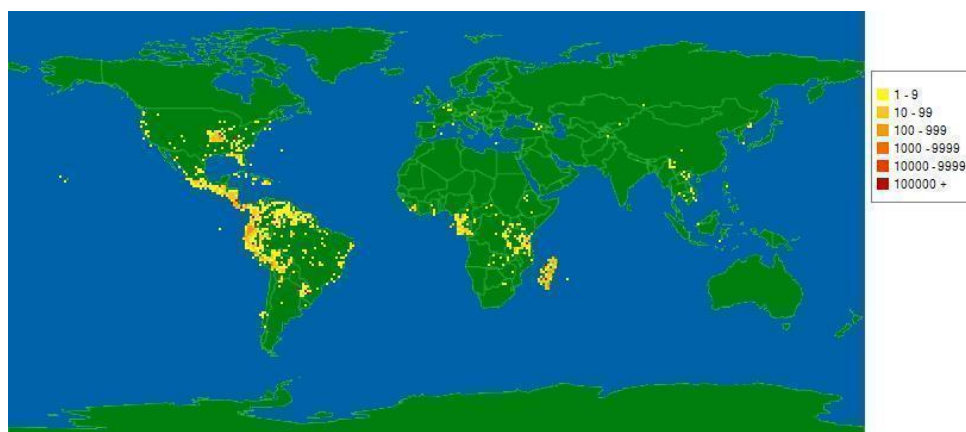
Atualmente, a busca por recursos naturais e baratos que possam ser facilmente utilizados na fabricação de filmes alimentícios tem sido considerada. Apesar do amplo uso de resinas sintéticas, as resinas naturais são raramente utilizadas.

segundo os autores AKAFIAN F, SHEKARCHIZADEH H (2024) a resina Opopanax (OR) foi utilizada como uma nova biofonte para preparar o filme comestível hidrofóbico. A etilcelulose (EC) foi bem misturada com a resina, permitindo a formação de um filme compósito. A preparação do filme foi possível usando diferentes quantidades de OR e EC. Foi interessante que a OR teve um efeito plastificante no filme CE. o filme obtido a partir de etilcelulose e Opopanax foi comparado como o bioplástico de fécula de mandioca e EAVG, assim como suas espessura e propriedades mecânicas.

## 2.5 Família Hypericaceae

A família Hypericaceae possui distribuição cosmopolita (Figura 2) e encontra-se representada por 11 gêneros (*Ascyrum*, *Cratoxylum*, *Eliea*, *Harungana*, *Hypericum*, *Lianthus*, *Psorospermum*, *Santomasia*, *Thornea*, *Triadenum* e *Vismia*) e aproximadamente 1356 espécies THE PLANT LIST (2019; STEVENS (2016). Sendo estes 11 gêneros distribuídos em três tribos: *Vismieae* Choisy, *Hypericeae* Choisy e *Cratoxyleae* Bentham STEVENS (2007).

**Figura 2:** Mapa da distribuição da família Hypericaceae



Fonte: <http://legacy.tropicos.org/NamePage.aspx?nameid=42000447&tab=maps>.

### 2.5.1 Gênero *Vismia*.

A espécie *Vismia guianensis*, conhecida popularmente como “lacre”, pau-de-lacre, árvore-da-febre, caapiá e caopia, é encontrada nas regiões do Norte e Nordeste do Brasil, Colômbia, Venezuela, Guiana MOURÃO e BELTRATI (2001). Trata-se de arbusto, com folhas ovais e oblongas. As inflorescências apresentam-se em panículas terminais e seus frutos são globosos, carnosos e indeiscentes DI STASI e HIRUMA-LIMA (2002). Esta espécie se destaca pela aplicação de seu látex (resina amarelo avermelhada denominada goma-lacre ou goma-guta) e da infusão das folhas no combate das afecções dermatológicas contra o pano branco (Pitíriase versicolor), impinges (*Tinea corpórea*) e ferimento por inseto. O decocto e infusão das suas folhas e cascas são utilizados contra reumatismo, como tônico e febrífugo OLIVEIRA (2009).

Espécies desse gênero têm sido empregadas na medicina tradicional para o tratamento de algumas enfermidades, particularmente o látex, produzido por diversas espécies tais como *V. augusta*, *V. confertiflora*, *V. dealbata*, *V. baccifera* ssp. *V. ferrugínea* e *V. guianensis* dentre outras, tem sido utilizada no tratamento de feridas, ulcerações, afecções de pele, herpes, como febrífugo e purgante ALVAREZ *et al.* (2008).

Em *Vismia guianensis* foi detectada a presença de diversos compostos, como a vismiona e a ferruginina; além de xantonas, antraquinonas, benzofenonas e benzocumarinas. Estudos tem revelado a atividade de *Vismia guianensis* no combate a células cancerígenas. Estudos mostraram que a Vismiona, metabólito presente em *V. guianensis* e em outras espécies do gênero, mostrou atividade *in vitro* contra linhagem de tumores experimentais – carcinoma de ovário M5076 e melanocarcinoma B16 PASQUA *et al.* (1995). Destacam uma potencial atividade antimalárica DI STASI e HIRUMA-LIMA (2002). Mostraram uma acentuada atividade letal dos extratos orgânicos e aquosos de *V. guianensis* frente à linhagem MCF-7 de adenocarcinoma de mama humano SUFFREDINI *et al.* (2007).

**Figura 3:** mostra um exemplar da *Vismia guianensis* evidenciando folhas, frutos e inflorescências.



**Fonte:** Autor.

## 2.6 Composição química

Para a espécie em estudo, muitos metabólitos secundários já foram identificados na sua constituição:  $\beta$ -sitosterol, vismiona H BOTTA *et al.* (1985), quinonas GONZALES *et al.* (1980); DELLE MONACHE *et al.* (1980), diantronas POLITI *et al.* (2004), antraquinonas GROSSE *et al.* (1997); BILIA *et al.* (2000), POLITI *et al.* (2004) e xantonas BOTTA *et al.* (1986); BILIA *et al.* (2000). Já foram isolados da fração clorofórmica das raízes de *V. guianensis* cinco benzofenonas denominadas de vismiaguianonas e duas benzocumarinas chamadas de vismiaguianis SEO (2000).

Poucos estudos foram realizados até então para extratos contendo as folhas de *V. guianensis*, mas alguns metabólitos secundários já foram isolados: antraquinonas GONZALES *et al.* (1980); POLITI *et al.* (2004) mistura de diantronas, vismiona A, triterpenos como o lupeol SANTOS *et al.* (2007),  $\beta$ -amirina, e  $\beta$ -sitosterol. GONZALES *et al.* (1980), além de flavonóides, benzofenonas e xantonas POLITI *et al.* (2004).

As benzofenonas e as benzocumarinas apresentaram uma moderada citotoxicidade contra a linha celular KB (carcinoma epidermóide oral) SEO *et al.* (2000). Já foram registradas a ocorrência de atividade letal significativa dos extratos vegetais de *V. guianensis* sobre células tumorais humanas de mama (MCF-7), e comprovado a partir de experimentos de, revelaram que os extratos aquosos dos frutos e das sementes dessa espécie demonstraram uma boa letalidade sobre uma linha de células cancerígenas de adenocarcinoma de cólon (KM-12), SUFFREDINI (2006), SUFFREDINI (2007)

A figura abaixo mostra o espectro do full scan, do extrato hidroalcoólico de *Vismia guianensis* 1:10 para a identificação dos compostos químicos. Foi possível identificar 14 compostos MOTA (2020).

**Figura 4:** Alguns constituintes químicos isolados de espécies do gênero *Vismia*.

Número	[M <sup>+</sup> H]	MS <sup>n</sup> ions	Composto proposto
1	191	173, 111, 85	Ácido quinico
2	431	269	Isovitexina
3	447	429, 357	Isoorientina
4	289		Catequina
5	447	429, 301, 269, 229	Orientina
6	431	285, 163	Kaempferol-o-ramnosídeo
7	731	285, 255	Kaempferol galactodídeo-ramnosídeo
8	1153	1001, 983, 789	Tetrâmero de Catequina
9	463	301, 283, 273, 229, 179, 121	Quercitina glicosídeo
10	577	425, 407, 285, 257, 213	Dímero de Catequina
11	1167	1015, 863, 711	Trímero de procianidina digalatoe tipo A
12	409	273, 255	Vismiona D
13	283	269, 239	Antraquinona F
14	285		Kaempferol

Fonte: Mota (2020)

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção serão descritos os materiais e métodos utilizados para a extração da resina *Vismia guianensis*, a síntese dos filmes de amido, bem como as metodologias utilizadas para a caracterização dos materiais. Este bioplástico foi produzido no Laboratório de Física do Campus de Abaetetuba de nanomateriais (LFCA nano) através do método de deposição por *casting* e caracterizado por técnicas , Análise termogravimétrica (TGA), Análise térmica diferencial (DTA) e microscopia eletrônica de varredura, com detector de energia dispersiva (MEV-EDS) no RCGILab-USP, Microscopia de Força Atômica (AFM) e Difractometria de raios X (DRX) foram

realizados no IPEN e o Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) e Ensaio de tração na UFPA

### **3.1- Metodologia Extração da resina *Vismia guianensis***

O método de extração da resina *Vismia guianensis* foi executado fazendo modificações no método apresentado no trabalho de MOTA (2020). Inicialmente, fez-se cortes no caule da árvore de lacre (*Vismia guianensis*) de onde coletou-se a resina após 7 dias (Figura 8A). Esta resina foi macerada e 20g dessa matéria-prima ficou em 40 ml de álcool isopropílico por 7,5 dias em temperatura ambiente. Durante esse período ocorreu a decantação dos resíduos sólidos, para melhor separação dos resíduos sólidos, a solução foi centrifugada a 7.000 rpm por 15 minutos três vezes. No processo de síntese de bioplástico foi utilizado o EAVG, no entanto para a quantificação e algumas análise foi evaporado o álcool da solução e obtido a resina solida.

Em seguida, para evaporação do álcool isopropílico, o material líquido, de coloração marrom, foi aquecido a 40° C sem agitação, por 6 horas, e depois foi exposto a secagem a vácuo por 8 horas. Após esse processo, o produto final cristalizou, porém com aspecto semelhante a um filme. Então, mediu-se a massa do produto final, que foi de 0,27 gramas. Esta quantidade corresponde a 9% da solução após centrifugação. O produto final foi caracterizado por TGA e FT-IR. Além disso, este material foi utilizado como agente plastificante nas proporções de 0,2%, 0,5 % e 1% em massa na síntese dos bioplásticos de amido.

**Figura 5:** (A) Resina coletada das árvores, (B) resina deposita em álcool isopropílico sob agitação mecânica, (C) solução centrifugada após período de 7 dias, (D) solução purificada e produto final após evaporação do álcool.



Fonte: autor

### 3.2. Metodologia Síntese dos filmes de bioplásticos de amido com *Vismia guianensis*

A síntese dos filmes de bioplásticos de amido de mandioca plastificado com o extrato em álcool da *Vismia guianensis* (EAVG) foi realizada a partir de modificações dos métodos apresentados por (AKAFIAN F, SHEKARCHIZADEH H 2024)

Os materiais utilizados nas sínteses foram amido de mandioca comercial da marca Dona Nuna, EAVG, e água destilada. Inicialmente, foram realizados testes com o objetivo de obter a melhor condição de temperatura e agitação de preparo, bem como para a secagem do material. Por fim, analisou-se a influência da variação de temperatura durante



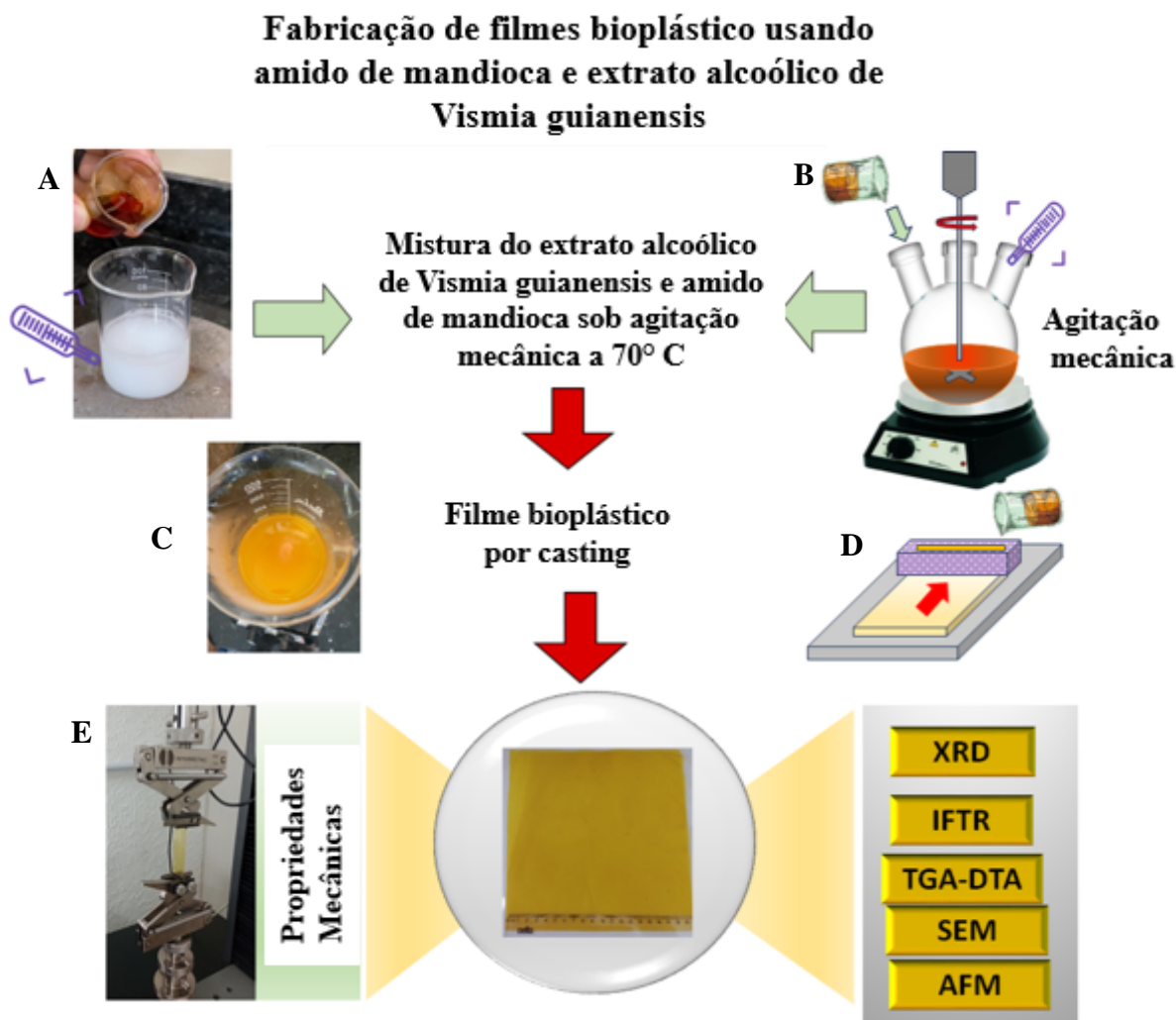
a secagem. Após esses testes, foram sintetizadas três amostras com diferentes proporções de EAVG, as quais seguiram o esquema ilustrado na Figura 6.

Inicialmente, mediu-se a massa do amido (15 g), que foi dissolvido em 200 mL de água destilada sob agitação constante por 20 minutos. Após a homogeneização, para cada filme, denominado de A1, A2 e A3, adicionou-se a solução contendo 0,03, 0,075 e 0,15 g do produto final da resina de *Vismia guianensis* diluída em 10 mL de álcool isopropílico, respectivamente. A solução final permaneceu em agitação constante por 30 minutos em atmosfera ambiente. A temperatura interna da solução 70°C, pois de acordo com Da róz e Curvelo (2004), a temperatura de gelatinização do amido de mandioca está entre 58 e 70°C. Após esse período, a solução formou um gel, o qual foi disperso via cisalhamento (casting) em substrato de laminado melamínico branco. A secagem do filme ocorreu ao ar livre por 12 horas, em uma placa de poliestireno. O cisalhamento provocado pelo dispersor induz uma orientação no processo de ligações cruzadas das moléculas do filme (SENA,2011). Depois, o filme foi seco ao ar livre por 12 horas.

O cisalhamento provocado pelo dispersor induz uma orientação no processo de ligações cruzadas, de amido, foi utilizada uma direção preferencial para o cisalhamento, essa mesma direção foi utilizada nos corpos de prova ensaiados no ensaio de tração.

Desta forma, foram produzidas três amostras englobadas para garantir o método de processamento e observa o efeito da resina no amido, as amostras foram feitas com diferentes proporções em massa (0,2%, 0,5% e 1%) do produto final da resina de *Vismia guianensis* com relação à massa total do amido.

**Figura 6:** (A) Resina purificada adicionada ao amido de mandioca dissolvido em água, (B) aquecida sob agitação mecânica, (C) solução filmogênica, (D) Casting, (E) filme após secagem, análise das propriedades mecânicas e caracterização.



Fonte: Autor

A tabela abaixo mostra as quantidades e porcentagem de amido, álcool e *Vismia guianensis* utilizadas para a produção dos filmes obtidos durante a síntese.

Em seguida, com a ajuda de um dispersor com uma abertura de 1,5 mm, que foi deslocado com velocidade constante (100mm/s), a solução filmogênica é espalhada sobre um substrato de Poliestireno.

**Tabela 1:** Proporção de massa para a produção dos filmes de amido.

Filmes de Amido de mandioca	Massa de amido	Volume de Solvente - água destilada (ml)	Massa de <i>Vismia guianensis</i> (g)	Volume de Solvente - álcool (ml)
A1(0,2%)	15 ± 0,01	200± 2	0,03± 0,01	10± 0,25
A2(0,5%)	15± 0,01	200± 2	0,07± 0,01	10± 0,25
A3 (1%)	15± 0,01	200± 2	0,15± 0,01	10± 0,25

Fonte: Autor

### 3.3 Métodos de caracterização

Os materiais bioplásticos, por apresentarem grande diversidade polimérica, precisam ser caracterizados por meio de uma série de técnicas. A caracterização de materiais é essencial para entender suas propriedades e projetar novos materiais com características específicas. Ela permite compreender melhor a estrutura e as propriedades dos materiais, o que pode levar a melhorias no desempenho e na qualidade dos produtos que os utilizam. A caracterização também é crucial para o controle de qualidade, pois permite verificar se os materiais utilizados na fabricação de produtos atendem aos requisitos de qualidade e especificações. Além disso, é fundamental entender como os materiais podem interagir com o meio ambiente, minimizando impactos ambientais negativos e desenvolvendo materiais mais sustentáveis.

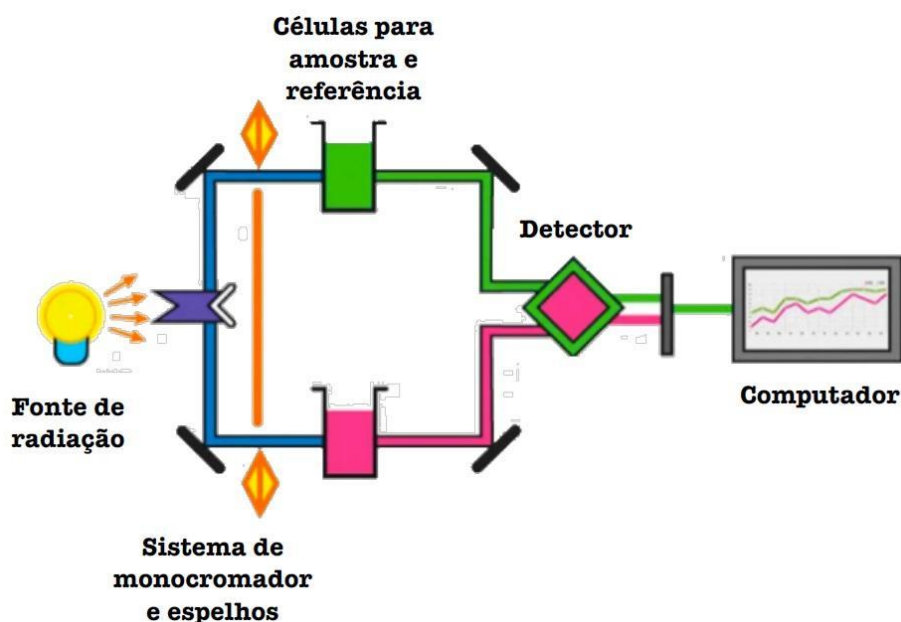
A seguir, apresentaremos as principais técnicas utilizadas neste trabalho visando caracterizar a matriz polimérica, e o compósito.

#### 3.3.1 Espectroscopia vibracional no infravermelho (FTIR)

A Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR- do inglês, Fourier Transform Infrared Spectroscopy) baseia-se no fato de que a maioria das moléculas absorvem luz na região infravermelha do espectro eletromagnético, convertendo-a em vibração molecular. Esta absorção é característica da natureza das ligações químicas. Desta forma, a espectroscopia FTIR fornece informações sobre a presença ou ausência de grupos funcionais específicos e fornece uma “impressão digital” molecular muito útil para a caracterização de amostras. Logo, esta técnica foi empregada para identificar os grupos funcionais e a composição química dos materiais em estudo neste trabalho.

O método ou técnica de espectroscopia infravermelha é conduzido com um instrumento chamado espectrômetro infravermelho (ou espectrofotômetro) para produzir um espectro infravermelho.

**Figura 7:** esquema de funcionamento de um espectrômetro.



Fonte: <https://microbenotes.com/infrared-ir-spectroscopy/>

A espectroscopia infravermelha é a análise da luz infravermelha interagindo com uma molécula, como pode ser observado na figura 7. O intervalo de absorção para ligações orgânicas de polímeros no espectro de FTIR é de  $400\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$ . Algumas regiões do espectro apresentam características distintas e peculiares, sendo úteis como ponto de partida para a avaliação do resultado.

Para as medidas de FTIR, o produto final obtido da resina (Figura 8 (E)) foi triturado em pequenos pedaços para a realização de medidas Espectroscopia Infravermelha (FTIR). As medidas de FTIR foram realizadas utilizando equipamento BRUKER, modelo VERTEX 70V. O espectro foi obtido por reflectância total atenuada (ATR), na região espectral de  $4000\text{ - }400\text{ cm}^{-1}$ , a 32 scans e resolução de  $4\text{ cm}^{-1}$ . Para as medidas de FTIR deste trabalho, tanto o produto final obtido da resina, material seco, foram triturados, já para as amostras dos filmes foram cortados pequenos pedaços de acordo com o porta amostras.

### 3.3.2 Análise termogravimétrica

A análise TGA (do inglês, Thermogravimetric Analysis) acompanha a perda e/ou ganho de massa da amostra em função do tempo/ temperatura, enquanto a DTA (do inglês, Differential Thermal Analysis) é o tratamento matemático, em que a derivada primeira da variação de massa em relação ao tempo/temperatura é registrada.)

Conhecimento das propriedades térmicas podem levar a melhorias de processos de moldagem, transporte, conservação e até melhorar as aplicações de determinados compostos e materiais DENARI (2012).

Embora ambas forneçam informações importantes sobre o comportamento térmico dos materiais, elas se concentram em aspectos diferentes e utilizam princípios distintos.

A TGA mede a variação de massa de uma amostra em função da temperatura ou do tempo enquanto a amostra é aquecida, resfriada ou mantida a uma temperatura constante. Desta forma, pode-se fazer o estudo de decomposição térmica e estabilidade térmica; análise de conteúdo volátil; determinação de umidade, teor de cinzas, e composição de materiais; investigação de reações químicas que envolvem mudanças de massa, como oxidação e redução.

A partir disso, temos informações sobre mudanças de massa relacionadas a processos térmicos; temperaturas de decomposição; quantificação de componentes voláteis e resíduos; análise de processos de degradação. Assim, para Polímeros, através dela pode-se quantificar material orgânico e inorgânico, perda de água, perda de solventes ou plastificantes, constatar mistura de materiais, temperatura de início e final de perda de massa; comparação da estabilidade térmica entre dois ou mais materiais, dentre outros.

Os testes termogravimétricos foram realizados utilizando um instrumento Shimadzu DTG-60. Amostras, compreendendo pedaços pesando entre 5 e 3 mg de cada filme e aproximadamente 4,2 mg de EAVG seco, foram colocadas em cadinhos abertos de alumínio e aquecidas de 30°C a 600°C a uma taxa de 10°C/min sob ar sintético. fluxo de 50 mL/min.

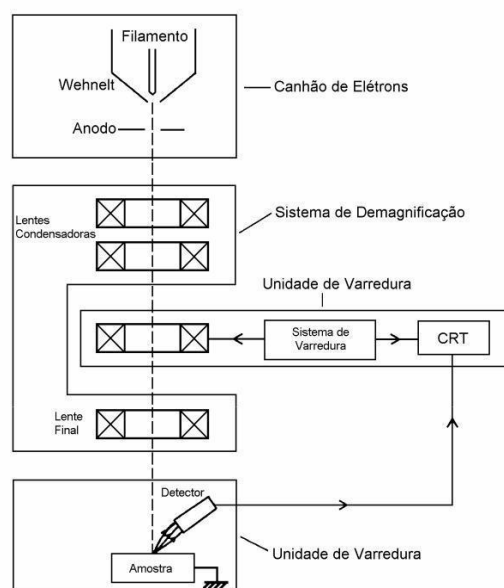
### 3.3.3 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

As imagens MEV foram obtidas no Laboratório Institucional de Microscopia Eletrônica de Varredura no RGCI, FClab-Poli USP, utilizando um microscópio eletrônico

TESCAN, modelo Mira 3, com canhão de elétrons tipo FEG (field emission gun) e acoplado a um EDS (Energy Dispersive Spectroscopy). As amostras de filmes foram montadas em suportes de alumínio usando fita de carbono para garantir a adesão. Esse procedimento permitiu a análise tanto da superfície quanto da seção transversal dos filmes em ampliações e energias de elétrons apropriadas.

O microscópio eletrônico de varredura (MEV) é um equipamento capaz de produzir imagens de alta ampliação (até 300.000 x) e resolução, conforme apresentado na figura 7 os dispositivos de funcionamento.

**Figura 8:** Esquematização dos componentes do MEV



**Fonte:** Maliska, s.d.

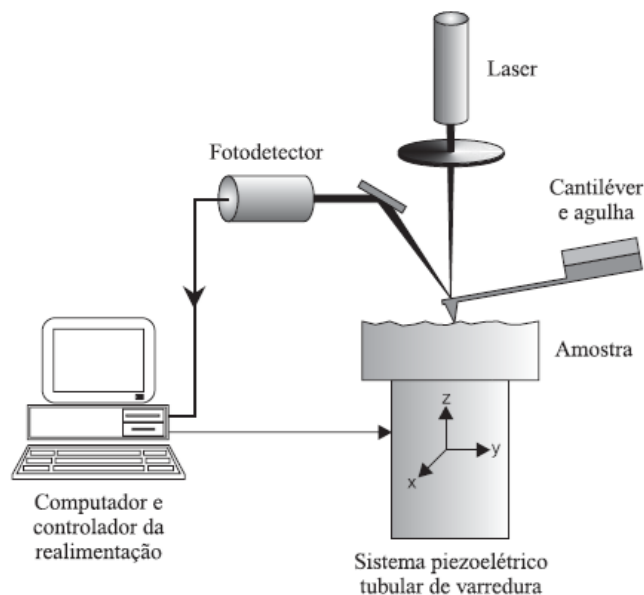
A figura da microscopia eletrônica de varredura é formada pela incidência de feixes de elétrons na amostra, sob condições de vácuo, essa incidência de elétrons primários promove a emissão de elétrons secundários, retroespalhados e Raios X característicos. Que são interpretados pela unidade de comando e apresentam imagens em tons de cinza, a contagem de elétrons secundários (SE – secondary electrons) e retroespalhados (BSE – backscattering), que são emitidos pela amostra, conforme a caracterização interna representada pela figura 8.

### 3.3.4 Medidas de AFM.

As medições de AFM (do inglês, Atomic Force Microscopy) dos filmes de bioplástico foram realizadas usando o equipamento Veeco Nanoscope III A, equipado com um Multi-Mod Bruker, no IPEN. Para caracterizar a topografia da superfície dos

filmes, especificamente a rugosidade e o tamanho das partículas das amostras, as medidas foram realizadas na superfície livre, a qual não entrou em contato com o substrato de dispersão dos filmes.

**Figura 9:** Ilustração do princípio de funcionamento do microscópio de varredura por força - SFM.



A figura 9 ilustra o princípio de funcionamento do AFM, que a partir de um cantiléver e uma agulha analisam a rugosidade da amostra, a partir de um laser e um fotodetector, que pode ser visualizada em um computador que controla o equipamento.

O microscópio de força atômica foi aplicado pela primeira vez no estudo de polímeros em 1988, logo depois da sua invenção. Hoje estudos em polímeros abrangem desde a simples visualização da morfologia até o exame mais avançado da estrutura e propriedades do material em escalas nanométricas. Dentre as aplicações de AFM WIESENDANGER (1994), FROMMER (1992). para o estudo de polímeros se destacam: morfologia da superfície, nanoestrutura, empacotamento e conformação das cadeias, estudo tribológico, distribuição de fases por topografia ou por diferença em módulo de elasticidade, nano indentação, estudo de mecanismos de desgaste, porosidade, rugosidade, cristalização epitaxial, mapeamento da distribuição de cargas elétricas, perfil de força de interação química específica, entre outras. A seguir serão apresentados os detalhes de algumas destas aplicações.

### 3.3.5 Difração de Raios X (XRD)

As medidas de XRD (do inglês, X-Ray Diffraction) dos foram realizadas usando um difratômetro Rigaku SmartLab com radiação  $\text{Cu K}\alpha_1$  ( $\lambda = 1,54059 \text{ \AA}$ ), operando a 40 kV e 30 mA no IPEN. A radiação espalhada foi detectada em um intervalo angular de 5–40° ( $2\theta$ ) com um tamanho de passo de 0,01°. Para uma análise eficaz, os filmes foram secos por 6 horas a vácuo em um dessecador e depois depositados em um porta amostra de silício monocristalino. Desta forma, obteve-se informações das contribuições amorfas e cristalinas das amostras.

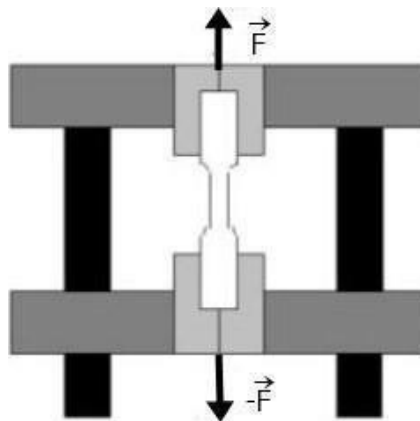
### 3.3.6 Ensaio de tração

As propriedades mecânicas dos materiais são verificadas pela execução de ensaios cuidadosamente programados, que reproduzem o mais fielmente possível condições reais de uso para determinado material. Dentre os fatores a serem considerados nos ensaios incluem-se a natureza da carga aplicada, a duração de aplicação dessa carga e as condições ambientais. A carga pode ser de tração, compressão ou cisalhamento, e a sua magnitude pode ser constante ao longo do tempo ou então flutuar continuamente. O tempo de aplicação pode ser de apenas uma fração de segundo ou pode se estender por um período de muitos anos CALLISTER (2007).

Os corpos de prova foram produzidos em observância à norma ASTM D638. As características mecânicas dos polímeros em sua maioria, são altamente sensíveis a taxa de deformação. Um dos ensaios mecânicos de tensão-deformação mais usados é executado sobre carga de tração. O ensaio de tração consiste na aplicação gradativa de carga de tração uniaxial nas extremidades de um corpo de prova especificado, conforme a Figura 10.



**Figura 10:** Representação esquemática de um corpo de prova submetido à carga de tração.



Fonte: GARCIA, A (2000)

Tensão é definida genericamente como a resistência interna de uma força externa aplicada sobre um corpo, por unidade de área. Deformação é definida como a variação de uma dimensão qualquer desse corpo, por unidade da mesma dimensão, quando submetido a um esforço qualquer.

Se uma carga é estática ou se ela se altera de maneira relativamente lenta com o tempo, e é aplicada uniformemente sobre uma seção reta ou superfície de um componente, o comportamento mecânico pode ser verificado mediante ensaios de tensão-deformação, os quais são normalmente realizados à temperatura ambiente. Neste tipo de ensaio mede-se a variação no comprimento ( $l$ ) como função da carga ( $F$ ) aplicada CALLISTER (2007).

O ensaio de tração é um teste mecânico comum usado para determinar as propriedades mecânicas de um material, como resistência à tração, limite de elasticidade, alongamento e redução de área.

A equação básica que descreve o ensaio de tração é a seguinte:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

onde:

- $\sigma$  é a tensão (stress),
- $F$  é a força aplicada,
- $A$  é a área da seção transversal.

Além disso, a deformação ( $\varepsilon$ ) é geralmente relacionada à tensão ( $\sigma$ ) através do módulo de elasticidade (E) pela seguinte relação linear:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

Esta é a chamada lei de Hooke para a região elástica

Existem outras equações que podem ser usadas para descrever o comportamento mais complexo de materiais durante o ensaio de tração, como a lei de Hooke para a região elástica e outras equações para a região plástica, onde ocorre deformação permanente.

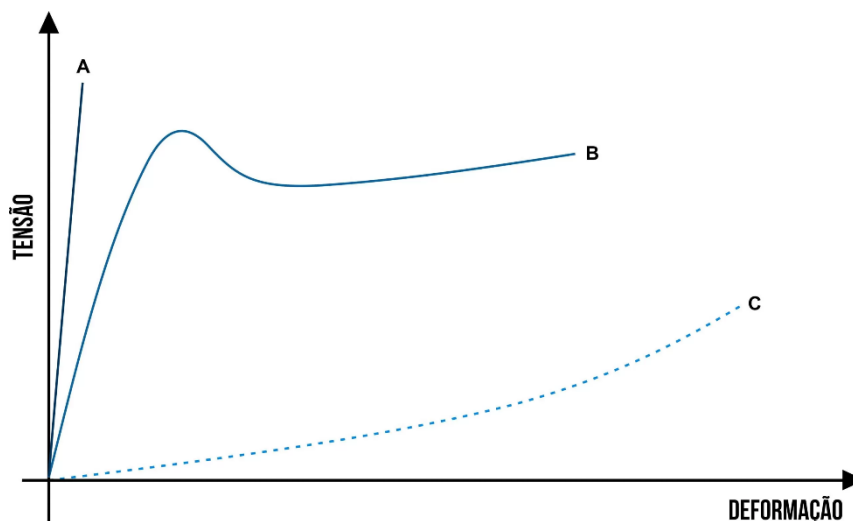
O fator preponderante para a caracterização de material é a definição de quando um material é dúctil ou frágil. Uma fratura pode ser definida como dúctil quando há a predominância da ocorrência de deformações plásticas em detrimento da propagação de trincas, ou seja, na fratura dúctil acontece uma lenta propagação de trincas e o material tensionado tende a se deformar plasticamente. As fraturas dúcteis geralmente ocorrem de forma que a estrutura tensionada sofre uma gradual estrição na região de tensão HUGO *et al.* (2017).

Enquanto que uma fratura pode ser definida como frágil quando é marcada pela predominância da formação de trincas em relação à deformação plástica. Ocorre, nesse tipo de fratura, uma rápida formação e propagação das trincas, o que leva à rápida ruptura do material com a ocorrência de pouca ou nenhuma deformação plástica no processo. A fratura frágil pode ocorrer de duas formas: transgranular e intergranular. A fratura frágil transgranular ou clivagem é caracterizada pela separação de planos atômicos, fato que faz com que essa cisão passe por dentro do grão que forma o material e faça com que a textura da superfície de fratura fique facetada HUGO *et al.* (2017).

Os materiais poliméricos são geralmente compostos orgânicos baseados em carbono, hidrogênio e outros elementos não-metálicos que são constituídos de moléculas muito grandes e apresentam baixa densidade, podendo ser extremamente flexíveis. Considerando os polímeros, o ensaio é sensível aos parâmetros estruturais e externos, por isso, existem curvas típicas para três grupos de polímeros: frágeis(a), plásticos(b) e elastoméricos(c), observa-se claramente que o comportamento dos polímeros difere dos metais, principalmente devido aos mecanismos de deformação. As principais normas utilizadas nesse caso são ASTM D638.

A partir das medidas de cargas e os respectivos alongamentos, constrói-se a curva tensão-deformação, como mostra a figura 11, a qual mostra essa relação para diferentes tipos de polímeros.

**Figura 11:** Gráfico de tensão x deformação para polímeros (a) frágeis, (b) plásticos, (c) elastômeros.



Fonte: <https://biopdi.com.br/artigos/diagrama-tensao-deformacao/>

Um material é dito ter comportamento elástico se, uma vez removido o esforço, as dimensões retornam àquelas antes da aplicação dele, isto é, não há deformações permanentes.

Para os ensaios de tração deste trabalho, os filmes foram cortados em tiras retangulares de dimensões 25mm x 110mm, com comprimento maior na mesma direção do cisalhamento. A espessura média dos filmes foi de 0,076 mm. O ensaio foi realizado à temperatura ambiente (25 °C) utilizando um equipamento InterMetric modelo GR021, do laboratório de caracterização do Campus Ananindeua da UFPA, a uma velocidade de estiramento de 5 mm/min e distância entre as garras de 5 cm, de acordo com a norma ASTM D 882-02, e, célula de carga de 5,0 kN.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. Caracterização EAVG

#### 4.1.1 Difração de Raios X SEM-EDS, Análise TGA-DTA

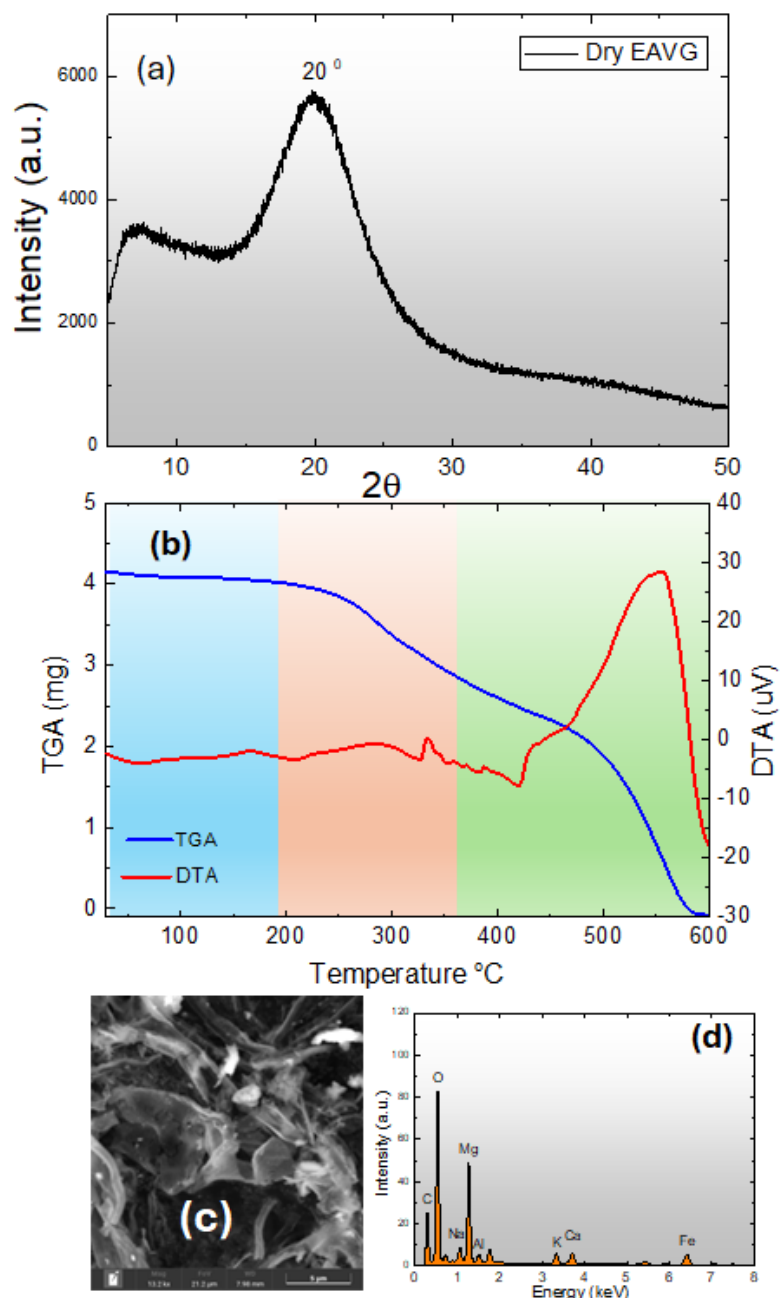
Para analisar de forma abrangente o EAVG, seus padrões de difração foram obtidos colocando o EAVG-seco em um substrato de silício monocristalino, medindo ângulos variando de  $2\theta$  de  $5^\circ$  a  $50^\circ$ . O padrão de difração obtido indicou uma estrutura amorfa, normalmente devido às fracas interações de longo alcance entre os componentes moleculares do EAVG seco (ver figura 5 (d)). Entretanto, é importante notar que essas entidades moleculares exibem interações de curto alcance responsáveis pelo padrão de difração de raios X (formando halos em torno de  $20^\circ$ ), indicando que os componentes moleculares não estão alinhados com os planos cristalinos VENKATESHAIAH *et al.* (2014).

Para caracterizar as propriedades térmicas do EAVG amorfo, foram realizadas medições térmicas utilizando TGA-DTA. A análise foi realizada sob fluxo de ar sintético de 50 mL/min, a uma taxa de aquecimento de  $10^\circ\text{C}/\text{min}$ , na faixa de temperatura de  $30^\circ\text{C}$  a  $600^\circ\text{C}$ , utilizando cadinhos de alumina. A curva TGA na Figura 12(b)-azul mostra uma perda de umidade característica entre  $30^\circ\text{C}$  e  $200^\circ\text{C}$ , indicando desidratação, ou seja, a perda de massa das moléculas de água fisicamente adsorvidas (região amarela). A região laranja corresponde à perda de massa devido às camadas de água quimicamente adsorvidas e à despolimerização das moléculas de EAVG. Posteriormente, de  $320^\circ\text{C}$  a  $600^\circ\text{C}$ , ocorre uma perda de massa atribuída à degradação das camadas de carbono e à formação de CO e CO<sub>2</sub>.

A curva DTA na Figura 12(b)-vermelho mostra a  $320^\circ\text{C}$  e  $420^\circ\text{C}$  e um eventos exotérmicos em torno de  $556^\circ\text{C}$  devido à degradação do CO<sub>2</sub>. Após as medidas, os componentes residuais foram analisados por imagens de MEV (microscópio eletrônico de varredura), revelando uma morfologia lamelar (Figura 12 (c)). A inspeção EDS permitiu a identificação de componentes correspondentes a minerais naturais (por exemplo, Na, Mg, Al, Ca, K e Fe) inerentes ao EAVG, minerais semelhantes encontrados em outras espécies vegetais. (GHOZALI, 2022), (Figura 12(d)).

**Figura 12:** (a) Padrões de raios X de difração de raios X (b) Análise TGA-DTA de EAVG seco exibindo comportamento térmico característico. (c) Imagem SEM

revelando morfologia lamelar de materiais residuais após medições de TGA-DTA. (d) Análise EDS identificando componentes minerais naturais (por exemplo, Na, Mg, Al, Ca, K, Fe) nos materiais residuais



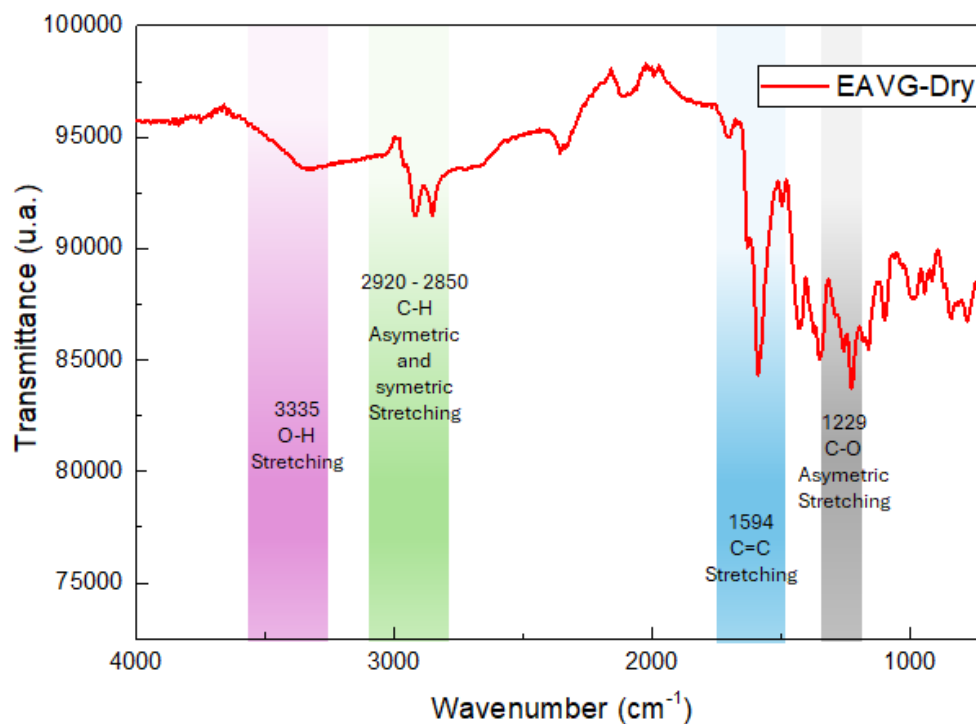
#### 4.1.2 Espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)

FTIR é uma técnica analítica poderosa que pode fornecer informações importantes sobre a estrutura molecular de moléculas orgânicas e extratos vegetais, como o extrato seco de etanol de *Vismia Guianensis* (EAVG). A Figura 13 mostra o espectro

infravermelho de EAVG-seco na faixa de frequência de 4000–700  $\text{cm}^{-1}$ . No espectro podem ser destacadas as seguintes bandas características do EAVG: A banda em 3335  $\text{cm}^{-1}$  corresponde a uma banda larga devido às vibrações de estiramento O-H, características de álcoois e fenóis. Em 2920-2850  $\text{cm}^{-1}$  as bandas correspondem a vibrações de alongamento CH assimétricas e simétricas, respectivamente. A banda em 1594  $\text{cm}^{-1}$  corresponde a ligações C=C de compostos aromáticos (FERIA et al 2023). Uma forte banda de absorção em 1229  $\text{cm}^{-1}$  é característica do alongamento assimétrico da ligação CO em álcoois, fenóis e ácidos carboxílicos KAINAT *et al.* (2022).

Estas bandas indicam a presença de flavonóides, amins e ácidos carboxílicos, o que é consistente com a análise realizada por Motta, E.P. e outros MOTTA (2022) Usando fluxo de injeção direta do extrato hidroalcoólico de *Vismia guianensis* (EHVG), eles identificaram compostos fenólicos como antraquinonas, catequinas, epicatequinas, kaempferol, vismione e flavonóides. Os compostos encontrados são os mesmos descritos anteriormente em outros estudos utilizando folhas de *Vismia guianensis* HUSSAIN *et al.* (2012), POLITI *et al.* (2004).

**Figura 13:** Espectro de espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) de EAVG na faixa de frequência de 4000–600  $\text{cm}^{-1}$ . O espectro destaca as seguintes bandas características de EAVG-seco



Região de absorção	Tipo de ligação
3550-3200 cm <sup>-1</sup> , 1600 cm <sup>-1</sup>	O-H C=C
1260-1000 cm <sup>-1</sup>	C-O
770 cm <sup>-1</sup>	C-H

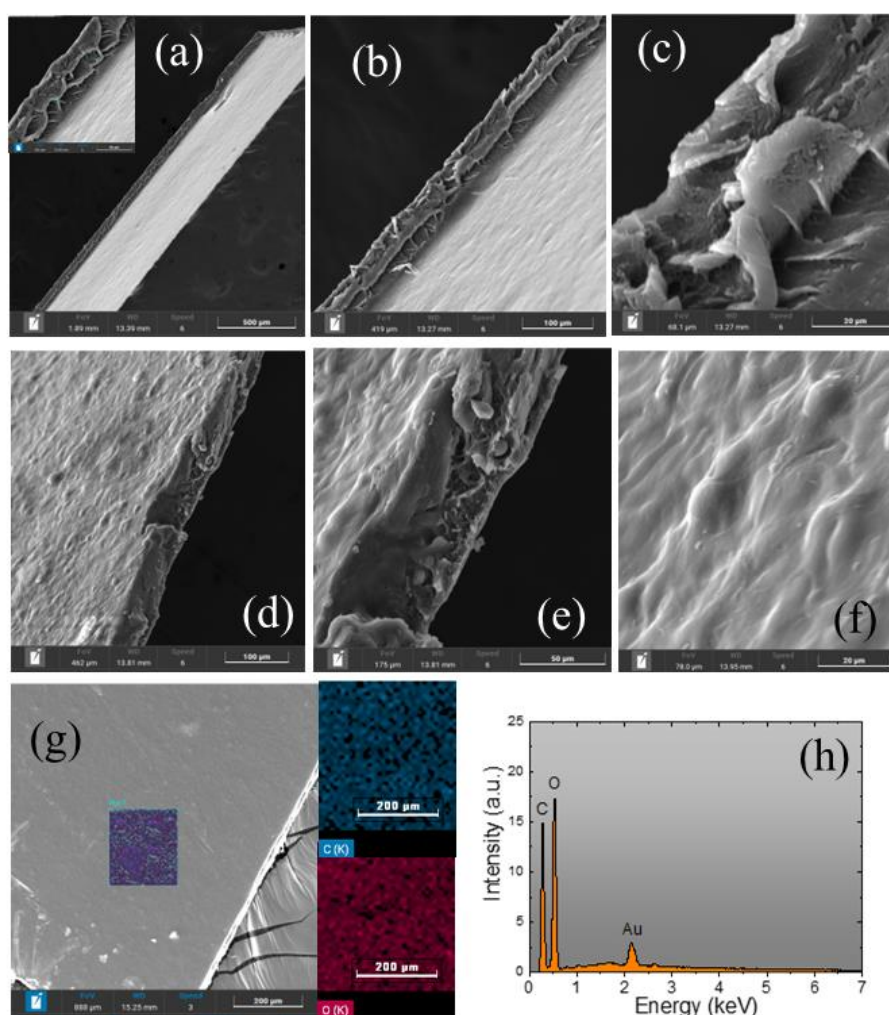
## 4.2 Caracterização de bioplásticos

### 4.2.1 Microscopia Eletrônica de Varredura/Espectroscopia de Energia Dispersiva (SEM/EDS).

A inspeção morfológica por SEM/EDS é mostrada na Figura 3 para amostras de amido dopadas com 0,2% de EAVG, enquanto as amostras com 0,5% e 1% de dopagem são apresentadas, respectivamente nas figuras 15 e 16. A Figura 14 (a) corresponde a um cortransversal da amostra, revelando a estrutura interna do filme bioplástico. Os filmes exibiram excelente resistência e facilidade de manuseio. (b) A espessura do filme foi analisada ao longo da seção transversal em todas as amostras, com média de aproximadamente 55 micrômetros. Isto indica que o processo de fundição dos filmes bioplásticos permitiu um controle preciso da espessura e uniformidade do filme. (c) Esta imagem confirma a espessura uniforme do filme e destaca a formação de lamelas densas, características de todos os filmes produzidos neste estudo. (d-e) Imagens mostrando uma fratura no filme, onde podem ser observadas partículas de amido características. (f) Uma

visão detalhada da superfície do filme bioplástico, destacando as ondulações superficiais, demonstrando a rugosidade superficial existente no filme. (f-h) Análise da composição da superfície por EDS e mapeamento da distribuição de oxigênio e carbono, sem a presença de outros elementos, que, se houver, estão em níveis vestigiais.

**Figura 14:** (a) (f) Imagens SEM da amostra de amido contendo 0,2% de EAVG, ilustrando a morfologia da superfície e detalhes estruturais do bioplástico. Imagens EDS (g) (h) retratam a distribuição e composição elementar de carbono e oxigênio na amostra, fornecendo informações sobre a integração e interação do extrato com a matriz de amido

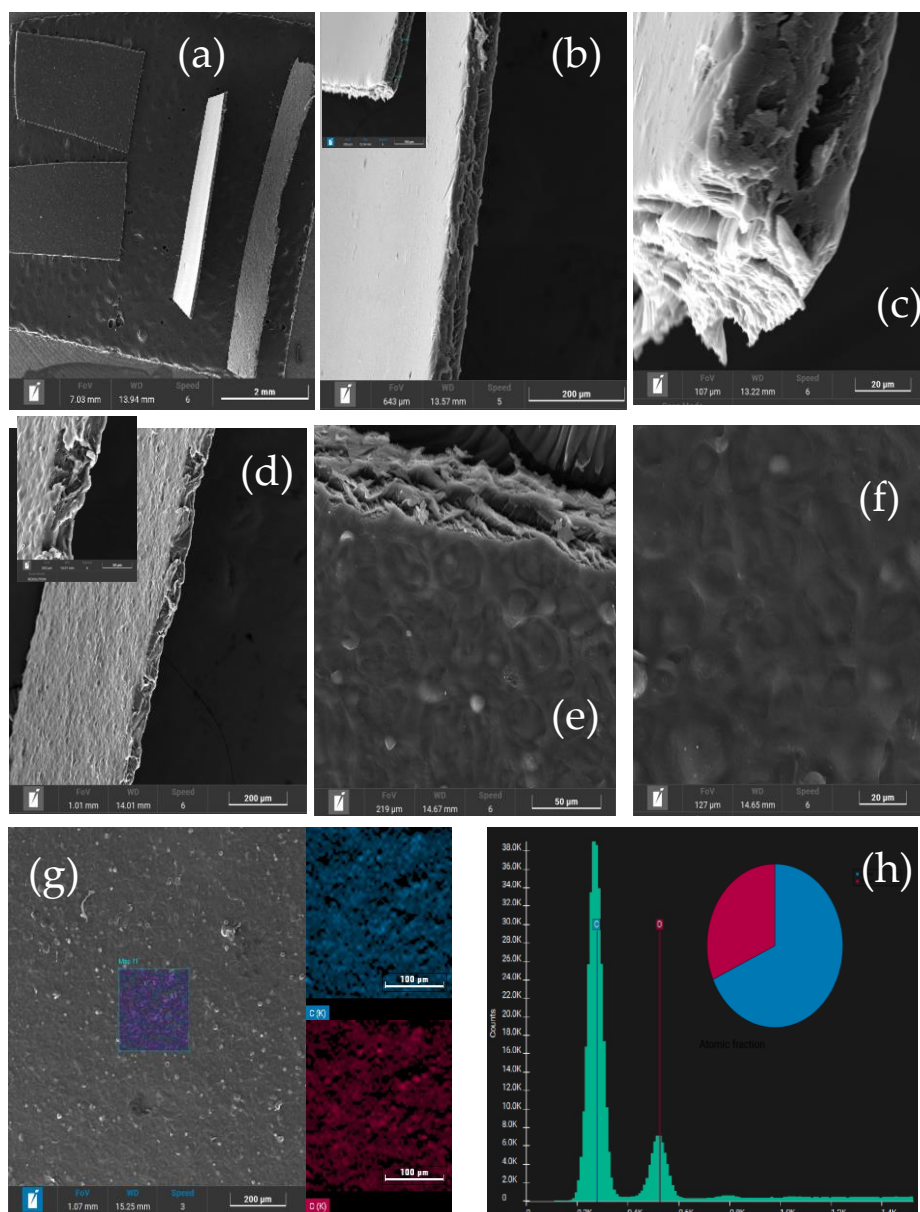


**Fonte:** Autor

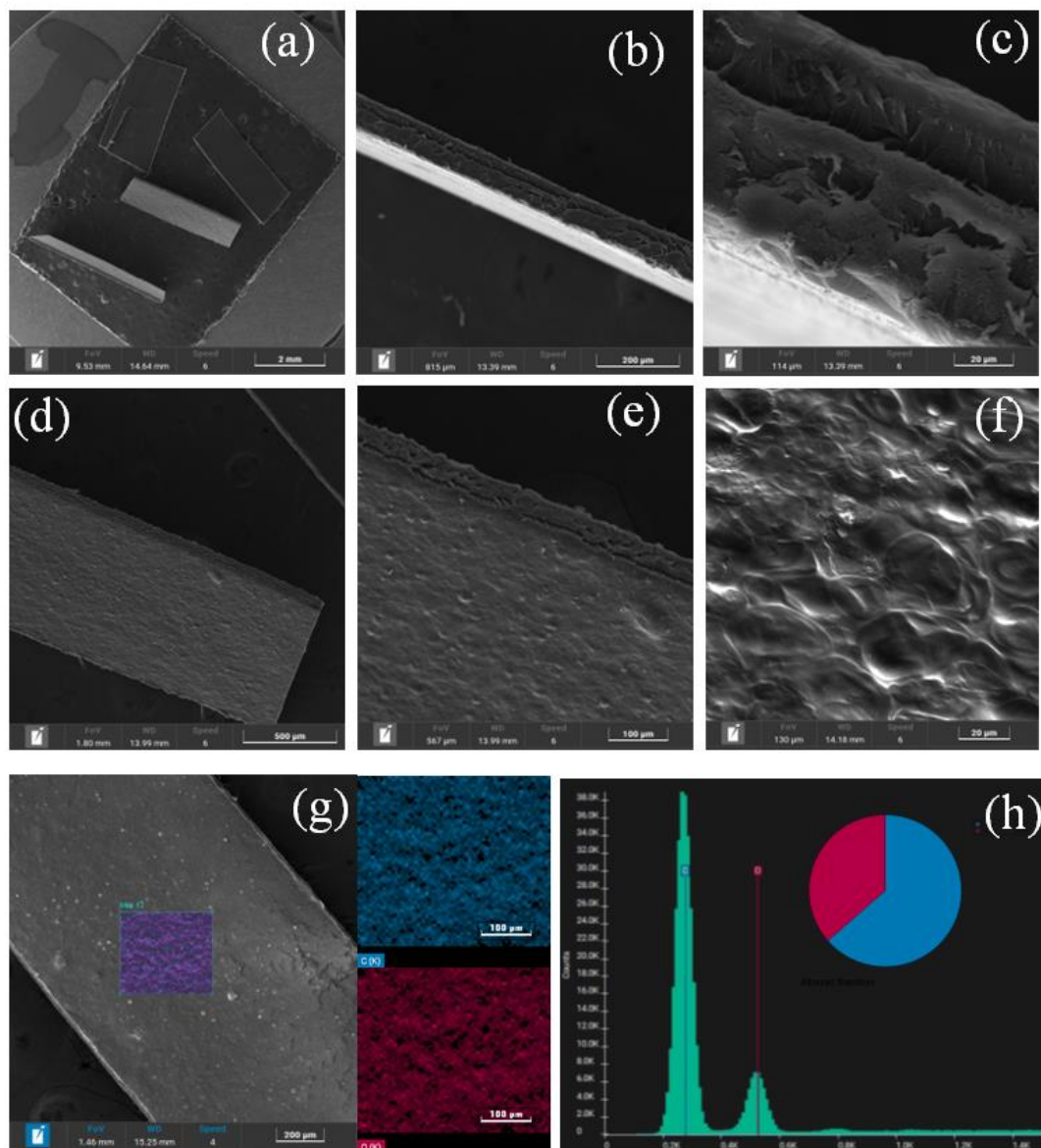
Os Filmes de EAVG caracterizados possuíam uma espessura média de 0,08 mm, confirmados pelo Microscópio eletrônico de varredura.



**Figura 15:** Imagens SEM correspondentes à amostra de amido contendo 0,5% de extrato alcoólico de *Vismia guianensis*.



**Figura 16:** Imagens SEM correspondentes à amostra de amido contendo 1,0% de extrato alcoólico de *Vismia guianensis*.

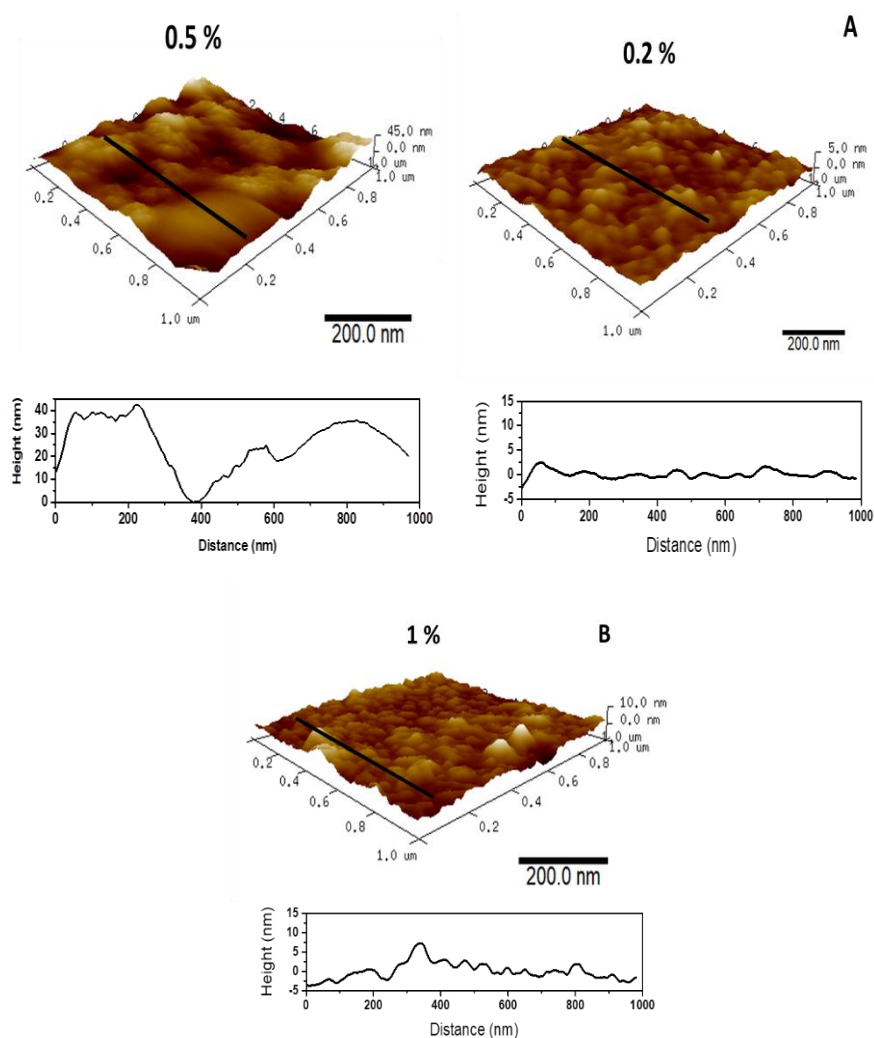


#### 4.2.2 Microscopia de Força Atômica (AFM): Rugosidade Superficial (SR) e Tamanho de Partícula (PS)

Para melhor compreender o efeito da variação da concentração de EAVG nos filmes bioplásticos, o AFM foi utilizado para analisar as características morfológicas, incluindo rugosidade superficial e estimativa do tamanho do grão. Para ambas as amostras de EAVG de 0,2% e 1%, pôde-se observar uma superfície bastante lisa e com grãos (Figuras 4A e B). A rugosidade (RMS) aumentou de 0,755 nm para 1,76 nm com poucas alterações nas áreas observadas. Para amostra de EAVG a 0,2%, os valores do pico ao

vale variam de 0,8 a 2,9 nm e de 0,9 nm a 9,5 nm para amostra de EAVG a 1%. O corte transversal foi retirado da linha preta desenhada na imagem 3D e pode ser observado na parte inferior da Figura 17. Isso sugere que aumentando a concentração de EAVG no bioplástico, obtém-se um filme menos homogêneo.

**Figura 17:** Imagens 3D AFM de (A) 0,2% e (B) 1,0% de filmes bioplásticos EAVG mostrando a rugosidade superficial e sua respectiva análise de seção transversal. O diâmetro das estruturas de grãos observadas na superfície do filme EAVG de 0,2% variou de 30 a 80 nm.



Fonte: Autor

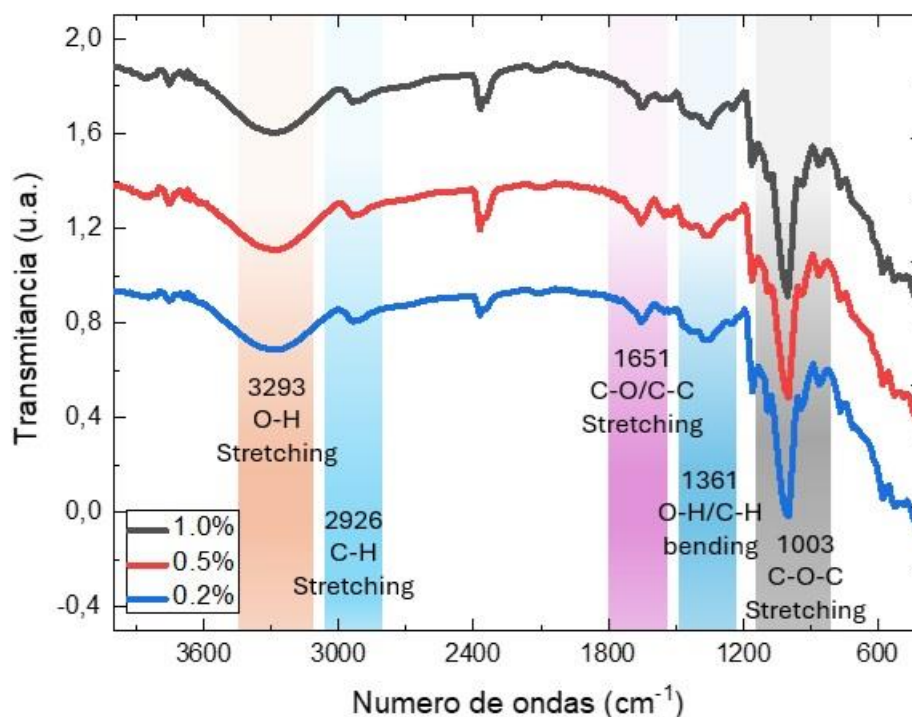
#### 4.2.3 FTIR de filme bioplástico

Os compósitos de amido com EAVG em diferentes níveis de dopagem de 1,0%, 0,5% e 0,2% foram caracterizados por espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR). Todos os espectros apresentam bandas semelhantes, correspondendo aos espectros de amido de mandioca puro. Isso era esperado, uma vez que todas as amostras foram preparadas utilizando uma matriz de fécula de mandioca com concentrações muito altas e baixas concentrações do EAVG, juntamente com água destilada, resultando em faixas semelhantes de características de grupos funcionais do amido de mandioca. Portanto, os três espectros exibem bandas características semelhantes ABDULLAH *et al.* (2003), GHOZALI *et al.* (2022).

A banda de estiramento OH é observada em  $3317,56\text{ cm}^{-1}$ , com o amplo espectro indicando extensas ligações de hidrogênio de forças inter e intramoleculares ABDULLAH *et al.* (2003). A vibração de estiramento CH no espectro FTIR característico do amido nativo mostra um pico distinto em torno de  $2.900\text{ cm}^{-1}$  a  $2.933\text{ cm}^{-1}$ . Em todos os espectros obtidos, observa-se uma banda em torno de  $2925\text{ cm}^{-1}$ , relacionada às vibrações de estiramento C-H de grupos alifáticos na estrutura de hidrocarbonetos do amido dopado com EAVG. O número de onda  $1647,21\text{ cm}^{-1}$  é atribuído a um grupo hidroxila. Segundo a literatura, a absorção em torno de  $1640\text{ cm}^{-1}$  é uma banda típica presente nos espectros do amido e seus derivados, relacionada à água fortemente ligada GHOZALI *et al.* (2022). Os picos de absorção em torno de  $1450\text{--}1330\text{ cm}^{-1}$  estão associados à flexão e tesoura do  $\text{CH}_2$  (flexão fora do plano) MIKUS *et al.* (2014).

Os picos característicos em  $1078,5\text{ cm}^{-1}$  e  $1003\text{ cm}^{-1}$  para o filme bioplástico estão relacionados à ligação de estiramento CO do amido ABDULLAH *et al.* (2003), CHAFFA *et al.* (2022).

**Figura 18:** Espectros FT-IR de filmes bioplásticos com EAVG em concentrações de 1,0 % (linha preta), 0,5% (linha vermelha) e 0,2% (linha azul), respectivamente.



#### 4.2.3 Análise Térmica TGA e DTA

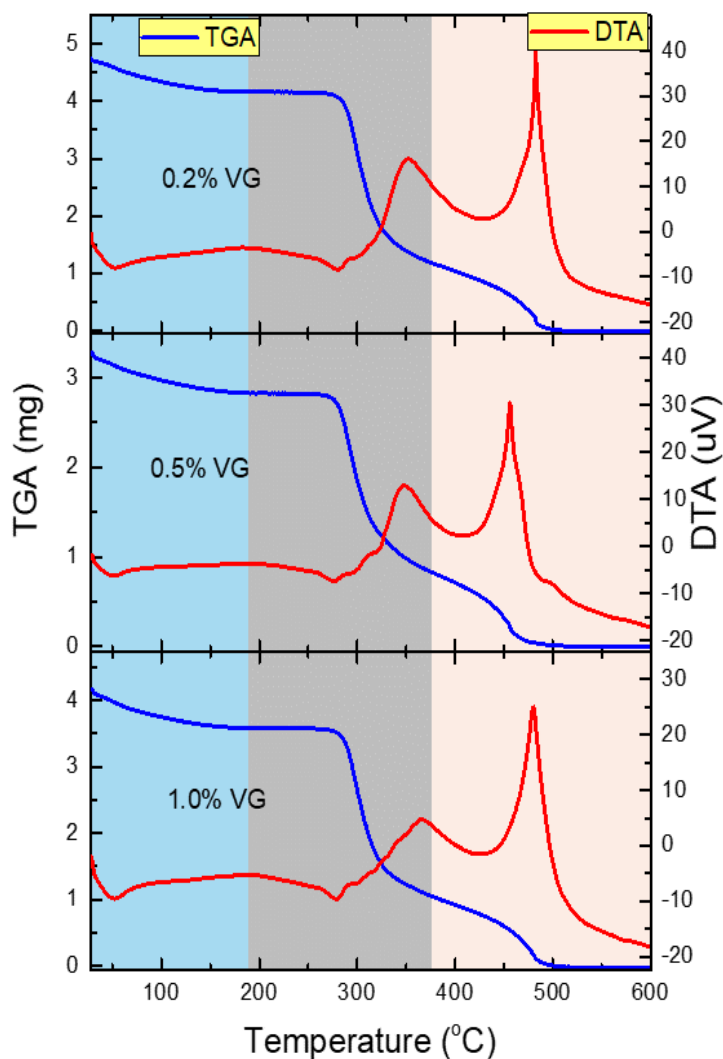
Foram realizadas análises térmicas utilizando termogravimetria (TG) e análise térmica diferencial (DTA), registrando dados desde a temperatura ambiente até 600 °C. As curvas térmicas características estão representadas na Figura 6, revelando três eventos térmicos distintos em relação à temperatura.

Variando da temperatura ambiente até 200 °C, uma diminuição de 6% na curva TGA sugere perda de umidade, provavelmente devido à água residual usada durante a preparação do filme bioplástico e interação ambiental. Entre 200 °C e 400 °C, ocorre uma perda de massa significativa de aproximadamente 65%, com pico de 289 °C, conforme indicado pela derivada na curva TGA. Esta região é atribuída à liberação de água fisicamente ligada e carboidratos voláteis continuando até 320 °C além do qual um pico exotérmico na curva DTA a 354 °C indica a despolimerização de moléculas de amido de mandioca formando derivados menores como amilose e amilopectina e despolimerização dos metabólitos EAVG.

A terceira etapa, de 400 °C a 600 °C, envolve a decomposição do componente de carbono do bioplástico e a degradação dos óxidos inorgânicos formados durante a análise

térmica, resultando em aproximadamente 22% de teor de cinzas. Um pico exotérmico a 480 °C na curva DTA sugere reações de oxidação dos polímeros, liberando energia. Comportamento térmico consistente em todas as amostras de 1%, 0,5% e 0,2% de EAVG foi observado nas análises de TGA e DTA. Essas descobertas estão alinhadas com estudos anteriores sobre amido de mandioca puro SHI *et al.* (2019). No entanto, experimentos que introduzem dopantes ou plastificantes, como etilenoglicol e outros extratos, exibem diferentes curvas TGA-DTA devido às suas concentrações e interações variadas SHI *et al.* (2019), VELASQUES *et al.* (2023).

**Figura 19.** Análises térmicas por termogravimetria (TG) e análise térmica diferencial (DTA) nos filmes de fécula de mandioca plastificados com EAVG.



Fonte: Autor

### 4.3 Análise de Difração de Raios X (DRX) e Curvas Tensão-Deformação de Filmes Bioplásticos de Amido de Mandioca dopados com EAVG

A análise de DRX foi realizada para examinar as alterações estruturais na matriz do bioplástico de fécula de mandioca dopada com extrato de *Vismia guianensis* (EAVG). As amostras, na forma de filmes, foram colocadas em um porta-amostras de silício com fundo zero em um difratômetro Rigaku. Os difratogramas dos filmes bioplásticos de fécula de mandioca com 0,2%, 0,5% e 1,0% de EAVG são apresentados na Figura 14(a). Os difratogramas dos filmes bioplásticos com extrato de EAVG a 0,5% e 1,0% mostram picos de difração em  $2\theta$  de  $15,2^\circ$  e  $17^\circ$ , característicos da formação da estrutura VH Helix PALUCH *et al.* (2022), YACHUAN, HAN (2010). A cristalinidade do tipo VH pode ser transformada em tipo VA sob condições de desidratação e vice-versa LOMELÍ *et al.* (2023), DOME *et al.* (2020). Em contrapartida, os picos entre  $17^\circ$  e  $20^\circ$  tendem a desaparecer, formando uma estrutura completamente amorfa no filme bioplástico com 0,2% de EAVG. Este resultado indica que a presença de EAVG evita a retrogradação do amido durante o processo de resfriamento na técnica de fundição aplicada para formação de filme bioplástico JARAMILLO *et al.* (2016).

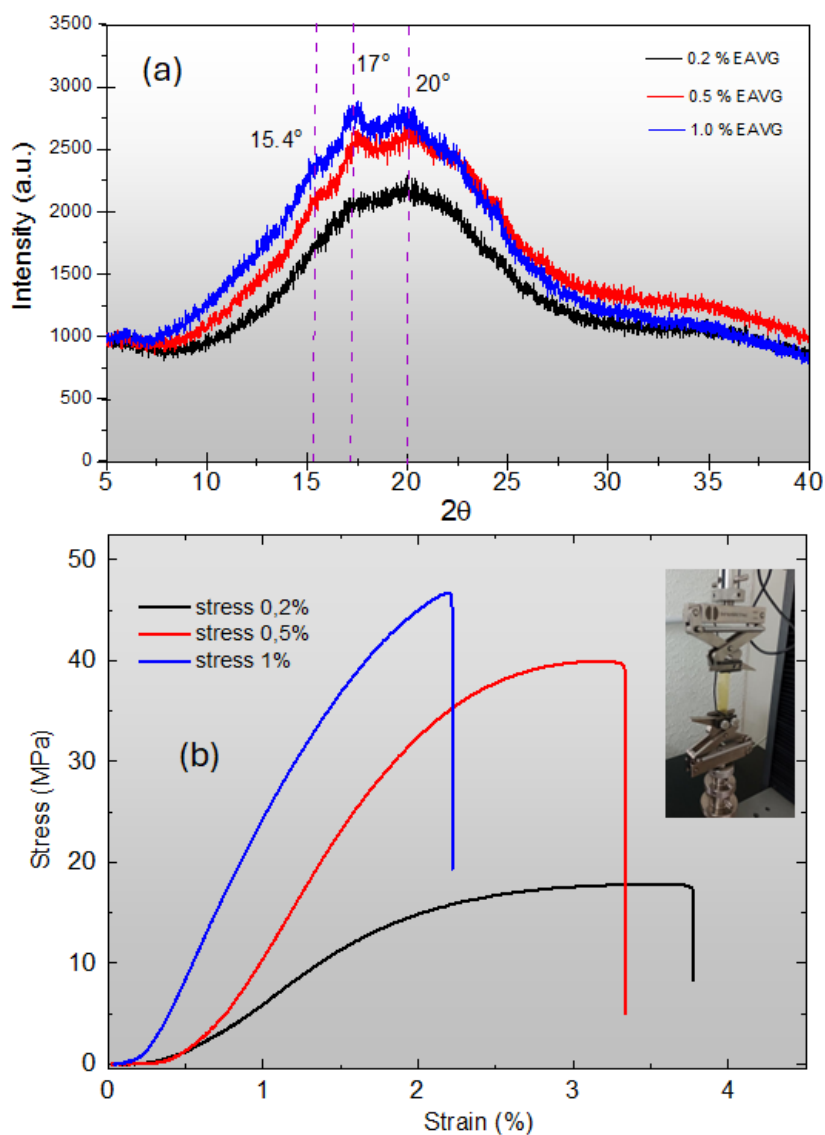
O aumento na cristalinidade tem implicações tanto na resistência à tração quanto na extensibilidade dos filmes bioplástico. Portanto, a dopagem com EAVG pode influenciar diretamente nas propriedades mecânicas dos biofilmes, sugerindo que o controle da concentração de EAVG pode ser uma estratégia eficaz para otimizar o desempenho destes materiais.

O comportamento das curvas Tensão vs. Deformação revela um efeito antiplastificante do EAVG (Figura 20(b)), pois há claramente uma diminuição na resistência à tração do filme e um aumento na flexibilidade à medida que a concentração do extrato de EAVG diminui. Para o filme bioplástico com 1,0% de EAVG, foi observada uma alta tensão combinada com baixa deformação, indicando uma maior fragilidade em comparação às demais amostras. Em contrapartida, os filmes bioplásticos com concentrações de 0,5% e 0,2% de EAVG exibiram maior ductilidade em comparação com a amostra de 1,0% de EAVG, manifestada pelo aumento da deformação antes da fratura no ensaio mecânico, reforçando o efeito antiplastificante.

Curiosamente, ao contrário dos plastificantes mais comuns, como glicerol, sorbitol e polietilenoglicol (PEG) MIKUS, *et al.* (2014), SUN *et al.* (2019), onde um

aumento na concentração do plastificante geralmente resulta em maior flexibilidade, neste estudo, o aumento da concentração de EAVG resultou em maior fragilidade dos biofilmes. O maior alongamento foi observado na amostra com concentração de 0,2% em comparação com 1,0% de EAVG, sugerindo uma forte interação entre EAVG e as moléculas de amido de mandioca (amilose/amilopectina) DOME *et al.* (2020).

**Figura 20:** (a) é uma curva de padrões de difração de raios X para filme bioplástico com diferentes concentrações de EAVG que mostrou os principais picos de difração em diferentes posições (ângulos) de  $2\theta$  ( $15,4^\circ$ ,  $17^\circ$ ,  $20^\circ$ ) (b) como está a tensão– curvas de tensão de filmes bioplásticos com EAVG, representando o efeito de anti plastificação.



Fonte: Autor



#### 4.4 Ensaio mecânico (tração)

Curvas do ensaio de tração dos filmes de Amido de Mandioca com adição de 0.2%, 0.5% e 1% de *Vismia guianensis*. É possível observar que a incorporação da *Vismia Guianensis* causou um aumento na resistência à tração dos filmes se comparados entre si quanto maior a porcentagem maior a resistência, no entanto é possível observar que a amostra contendo menor porcentagem apresenta o menor valor de tensão máxima suportada que nesse caso e a amostra de 0,2%, no entanto foi a que se observou maior deformação. em relação aos filmes contendo 0,5% e 1%.

De acordo com os dados mostrados na figura 21, as amostras plastificadas com *Vismia guianensis*, apresentam maior deformação quando utilizada baixa porcentagem. No gráfico apresentado acima temos a amostra com 0,2% com a maior deformação seguida pela de 0,5% e a amostra de 1% apresentando menor deformação. Podemos inferir que a deformação está diretamente relacionada a quantidade de *Vismia guianensis* utilizada com plastificante.

Diferentes estudos relacionado a plastificantes mostram que existe um porcentagem em solução filmogénica a ser plastificada. Para (AKAFIAN F, SHEKARCHIZADEH H 2024) o uso de até 33% p/p de glicerol não foi capaz de produzir um filme de EC elástico, o uso de apenas 8,5% p/p OR produziu um filme de EC rígido e flexível com menor sensibilidade à água.

Considerando a porcentagem de resina de *Vismia* utilizado, as amostras que foram adicionados 0,2% de resina suportaram uma tração de (4,019 Mpa), enquanto que as amostras com 0,5% suportaram uma tração de 18,438, o pô fim as amostras que foram adicionados 1% de *Vismia guianensis* suportaram uma tração 29,444.

O que mostra um resultado próximo do obtido utilizando *Vismia* como plastificante, o valor obtido em Mpa a amostra mais resistente suportou uma tensa de 2,7 Mpa, e a de menor valor suportou uma tensão de 1,8 Mpa, filmes com uma espessura média de 0,07 mm

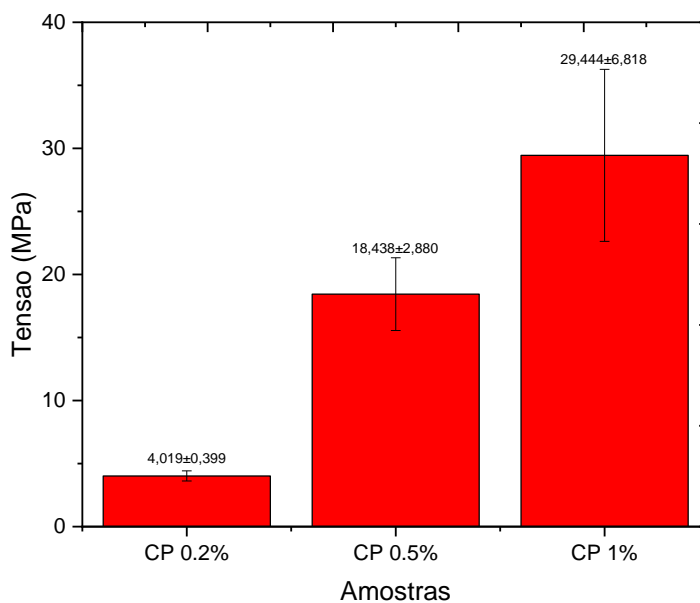
Os seguintes resultados no ensaio de tração para filmes plastificados com sorbitol 1,93 Mpa para a amostra de menor resistência a tração e 4,12 para a amostra de maior resistência a tração, já para os filmes plastificados com glicerol obteve os seguintes valores para o filmes de menor e maior resistência tração respectivamente 1,24 Mpa e 1,50 Mpa. Espessura dos filmes 0,092 a 0,138 mm MOIA *et, al.* (2021).

<b>Tabela 2: Parâmetros dos filmes comparados</b>				
<b>Filmes</b>	<b>Porcentagem de Plastificantes</b>	<b>Espessura</b>	<b>Tração</b>	<b>Autor</b>
Etenocelulose	Resina Opopanax (OR) 8,5%	0,001 mm	0,4 – 2,73 MPa	AKAFIAN F, SHEKARCHIZADEH H (2024)
Pele de tambaqui	Sorbitol/glicerol 1,5%	0,092 a 0,138 mm.	1,24 - 4,12 MPa	MOIA, <i>et al.</i> (2021)
ÓLEO DE SOJA	Óleo vegetal 10%	1,00 mm	2,81 – 5,54 MPa	ANGELONI (2016)
Amido com EAVG	0,2, 0,5 e 1%	0,07mm	4,019, 18,438 e 29,444 MPA	

A tabela 2 mostra os filmes comparados que utilizam plastificante comerciais e naturais, com porcentagens diferentes e espessuras diferentes. Também podem ser observados a tração máxima suportada por cada filme.

Amostras plastificadas com extrato alcoólico de *Vismia guianensis* com as porcentagens de 0,2%, 0,5% e 1%, suportaram uma tração média 4,019, 18,43 e 29,44 respectivamente como mostra a figura seguir.

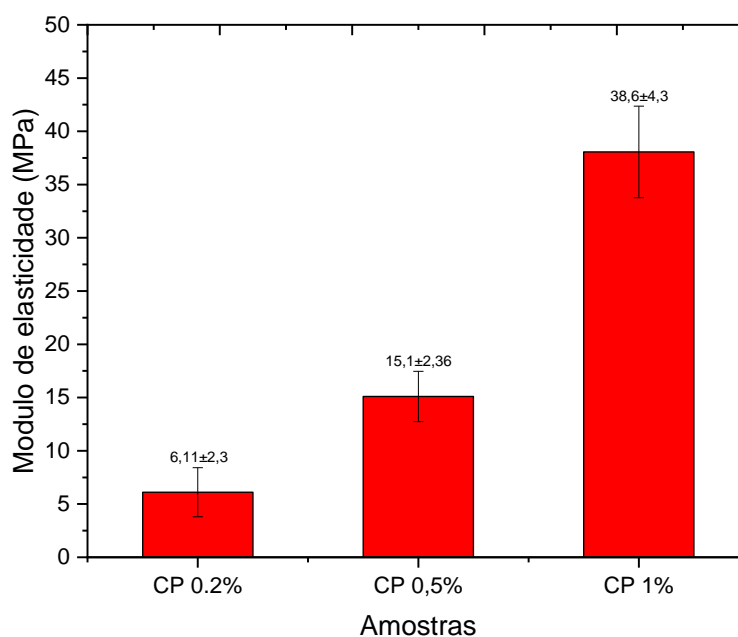
**Figura 21:** Tensão suportada pelas amostras.



Fonte: Autor

O módulo de elasticidade é uma medida da rigidez de um material, ou seja, sua capacidade de deformar temporariamente sob a ação de uma carga e retornar à sua forma original quando a carga é removida. Essa grandeza descreve a relação entre a tensão aplicada ao material e a deformação elástica resultante.

**Figura 22:** Módulo de elasticidade.



Fonte: Autor

Em relação ao Módulo de elasticidade, os filmes com 1% de *Vismia guianensis* apresentaram um valor de E maior, seguida de 0,2%, e 0,5% o que indica que a presença de *Vismia guianensis* como plastificante produziu mobilidade nas cadeias poliméricas de tal forma que deve ter aumentado a cristalinidade do amido de mandioca, fazendo com que as amostras suportam uma tensão maior que as demais, antes de sofrer uma deformação plástica ou permanente.

É comum o uso de materiais plastificantes para alterar a estrutura molecular do amido de mandioca e de outros tipos de amido, pois o amido de mandioca nativo não pode funcionar como plástico devido à presença de fortes ligações de hidrogênio inter e intramoleculares formadas por amilose e amilopectina. Portanto, a adição de plastificantes envolve diferentes tipos de interações, tanto químicas quanto físicas, como difusão de água, gelatinização e fusão polimérica de grânulos de amido. Neste estudo, uma solução de fécula de mandioca em água destilada foi dopada com EAVG (extrato alcoólico de *Vismia Guianensis*) no ponto de gelatinização, em torno de 70 °C. A

temperatura foi medida diretamente na solução com termopar tipo K, seguida de processo de moldagem para formação do biofilme, conforme descrito na metodologia. Os resultados revelaram características flexíveis e resistentes à tração de todos os filmes bioplásticos em comparação com outros já relatados na literatura SURENDREN *et al.* (2022).

É importante considerar que o ponto de gelatinização do amido de mandioca promove a desintegração dos grânulos de amido, reduzindo a afinidade molecular interna. O material plastificante, neste caso, os polímeros presentes no EAVG, evita a formação de pontes de hidrogênio inter e intramoleculares no grânulo de amido, despolimerizando parcialmente a estrutura do amido de mandioca e formando uma estrutura flexível que exibiu uma morfologia lamelar mais lisa e com excelente dispersão. Isto é evidenciado pelas imagens SEM, na Figura 12, 14, 15 e 16. para concentrações de EAVG de 0,2%, 0,5% e 1,0%, respectivamente.

Conforme relatado na literatura, a eficiência do material plastificante depende do tipo e concentração, pois um plastificante eficiente para amido seria feito de moléculas do tipo polar e hidrofílica com ponto de ebulição superior à temperatura de processamento do filme bioplástico RODRÍGUEZ *et al.* (2004). Nesse sentido, o EAVG contém basicamente três importantes grupos: flavonóides, ferruginina e visminonas, todos com capacidade de interagir com a matriz de amido através de ligações de hidrogênio devido aos grupos hidroxila (OH) presentes, tornando o EAVG uma plataforma para a produção de bioplásticos. filmes e plásticos funcionais.

Os resultados de caracterização dos filmes bioplásticos deste estudo reforçam a interação dos metabólitos com o amido. Por exemplo, os padrões de difração de raios X de todos os filmes bioplásticos mostram um comportamento predominantemente amorfo. É sabido que o amido de mandioca apresenta baixo grau de cristalinidade (13%), classificado como tipo C, onde os picos de difração característicos dependem do tipo de processamento ao qual foi submetido SURENDREN *et al.* (2022).

A cristalinidade tipo C do amido de mandioca é formada pela coexistência de cristalitos do tipo A e B. Especificamente, um grânulo de amido tipo C possui um núcleo com estrutura tipo B, rodeado por cristalitos tipo A. Durante o processo de gelatinização, a cristalinidade muda do tipo C para a estrutura VH Helix, que é instável e tende a se tornar amorfa DOME *et al.* (2020). Esse fato foi observado nos padrões de raios X dos

filmes bioplásticos deste estudo. Nos casos de 1,0% e 0,5%, foi evidente a ocorrência de picos da fase VH Helix; ainda assim, não era dominante. Para a concentração de 0,2% não foram observados picos, mostrando um padrão de difração característico de um sistema amorfo. Além disso, os dados de AFM revelaram grãos muito pequenos, na faixa nanométrica, indicando a ação do EAVG na prevenção da retrogradação durante o resfriamento devido à interação entre amilose e amilopectina.

Outro resultado interessante está relacionado às propriedades mecânicas dos filmes bioplásticos EAVG 0,2%, que apresentaram melhor desempenho em relação à deformação, permitindo que os bioplásticos sejam mais flexíveis e menos frágeis, não sendo frágeis como no caso dos filmes de amido puro ou filmes de amido plastificados com uréia, que, mesmo em baixas concentrações, é frágil YACHUAN ZHANG (2010).

Adicionalmente, o comportamento mecânico também está associado à resistência à degradação térmica, apresentando pontos de degradação diferentes dos do amido puro e na presença de plastificantes CHEN *et al.* (2018).

Embora a diferença seja pequena, o aumento na temperatura de degradação de 0,2% para 1,0% do EAVG mostra quão eficaz a interação do EAVG pode ser. O menor resultado de deformação no ensaio mecânico para os filmes de 0,5% e 1,0% em comparação com a amostra de 0,2% EAVG pode estar associado à ocorrência de picos do tipo VH, sugerindo separação de fases e lixiviação do filme bioplástico, o que pode causar deslizamento do plano e conseqüentemente ruptura, produzindo alongamentos menores em comparação com a amostra de 0,2%, conforme mostrado no gráfico tensão vs. deformação da Figura 20.b.

É importante mencionar que os extratos alcoólicos de *Vismia guianensis* analisados por Motta, E.P. e outros. mostraram efeitos anti-*Candida* e anti-inflamatórios que inibem fatores de virulência fúngica, relacionados à presença de vismione D, indicando que esses extratos podem representar uma nova perspectiva para o tratamento de doenças causadas por *Cândida* MOTA (2022), HUSSAIN *et al.* (2012), POLITI *et al.* (2004). Nesse sentido, os filmes bioplásticos podem ser estudados como carreadores desse tipo de medicamento para o tratamento de tais doenças, além de serem excelentes plastificantes naturais para uma série de plásticos e termoplásticos que podem ser elaborados a partir desse extrato natural.

Os resultados no ensaio de tração para filmes plastificados com sorbitol 1,93 Mpa para a amostra de menor resistência a tração e 4,12 para a amostra de maior resistência a tração, já para os filmes plastificados com glicerol obteve os seguintes valores para o filmes de menor e maior resistência tração respectivamente 1,24 Mpa e 1,50 Mpa MOIA *et, al.* (2021).

## 5. CONCLUSÃO

A caracterização do extrato alcoólico de *Vismia guianensis* (EAVG) e dos filmes bioplásticos de fécula de mandioca dopados com EAVG foi realizada utilizando diversas técnicas analíticas. A espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (ATR/FTIR) identificou os grupos funcionais nos biofilmes. A Análise Termogravimétrica (TGA-DTA) revelou a estabilidade térmica dos biofilmes, mostrando que o EAVG melhora a resistência térmica dos filmes bioplásticos ao retardar o processo de degradação em comparação ao amido puro. A análise de difração de raios X confirmou que os filmes bioplásticos com EAVG apresentam comportamento predominantemente amorfo, com formação de estruturas do tipo VH Helix nas concentrações de 0,5% e 1,0%, mas não em 0,2% que eram padrões amorfos puros. A Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e a Microscopia de Força Atômica (AFM) forneceram insights detalhados sobre a topografia superficial dos filmes bioplásticos em nanoescala, revelando grãos muito pequenos e confirmando a prevenção da retrogradação do amido devido à interação com EAVG. Mecanicamente, os filmes bioplásticos contendo 0,2% de EAVG foram mais flexíveis e menos frágeis que os filmes de amido puro ou com uréia relatados na literatura. A combinação dessas técnicas permitiu uma caracterização abrangente de filmes bioplásticos de fécula de mandioca dopados com EAVG, destacando melhorias em suas propriedades mecânicas, térmicas e estruturais. Os resultados demonstram que o EAVG atua efetivamente como plastificante, aumentando a flexibilidade, resistência e estabilidade dos biofilmes e oferecendo benefícios potenciais para aplicações biomédicas. Estas técnicas de caracterização foram essenciais para validar a eficácia do EAVG como um aditivo promissor para a produção de materiais biocompatíveis e sustentáveis.

## REFERÊNCIAS

- ABDULLAH, A H D; Chalimah, S; Primadona, I; Hanantyo, M H G (2018). Physical and chemical properties of corn, cassava, and potato starchs. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 160(), 012003–. doi:10.1088/1755-1315/160/1/012003.
- AGEORGES, C., Ye, L. & HOU, M. Advances in fusion bonding techniques for joining thermoplastic matrix composites: A review. *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.* 32, 839–857. [https://doi.org/10.1016/S1359-835X\(00\)00166-4](https://doi.org/10.1016/S1359-835X(00)00166-4) (2001).
- AKAFIAN F, Shekarchizadeh H. Resina natural como biofonte e plastificante de base biológica para preparação de filme compósito de resina/etilcelulose comestível. *J Food Sci Technol.* 2024 Jun; 61(6):1105-1116. DOI: 10.1007/s13197-023-05922-w. EPub 2024 24 de janeiro. PMID: 38562603; PMCID: PMC10981645.
- AKKERMAN, R., BOUWMAN, M. & WIJSKAMP, S. Analysis of the thermoplastic composite overmolding process: Interface strength. *Front. Mater.* 7, 27. <https://doi.org/10.3389/fmats.2020.00027> (2020).
- ALMEIDA, E.R. Plantas medicinais brasileiras: conhecimentos populares e científicos. Sao Paulo: Hemus, 1993. p.225-226.ÁLVAREZ, E.R. et al. Actividad antioxidante y contenido fenólico de los extractos provenientes de las bayas de dos especies del género *Vismia* (Guttiferae). *VITAE*
- ÁLVAREZ, E. R, *et al.* Actividad antioxidante y contenido fenólico de los extracto provenientes de las bayas de dos especies del género *Vismia* (Guttiferae). *Vitae, Revista de la Facultad de Química Farmacéutica.* v. 15, n. 1, 165-172, 2008.
- BARBOSA-FILHO, J. M, *et al.* Natural products with antileprotic activity. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 17 (1): 141-148, 2007.
- BERG, Maria Elizabeth van den. Notas sobre *Vismia guianensis* (Aubl.) Choisy e suas novas variedades. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Nova Série Botânica*, Belém, n. 40, p. 1-13, set. 1971.
- BILIA, A. R. *et al.* New prenylated anthraquinones and xanthonones from *Vismia guianensis*. *Journal of Natural Products* v. 63, p. 16-21, 2000.
- BRANDÃO, H. N, *et al.* Química e farmacologia de quimioterápicos antineoplásicos derivados de plantas. *Química Nova*, Vol. 33, Nº 6, 1359-1369, 2010.
- BRITO, G. F., AGRAWAL, P., Araújo, E. M., & MÉLO, T. J. A. Biopolímeros, Polímeros Biodegradáveis e Polímeros Verdes. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos (REMAP)*, 6(2), 127-139, 2011 <http://www2.ufcg.edu.br/revista-remap/index.php/REMAP/article/view/222/204>
- BRITO, K. J. S. *et al.* Sustainable plasticizer from agroindustrial waste for natural rubber compounds: influence on the curing system and compound properties. *Journal of Elastomers & Plastics*, Vol. 0(0) 1–17, 2023, DOI: 10.1177/00952443221150762
- BUTLER, M. S. The role of natural product chemistry in drug discovery. *Journal of Natural Products*, v. 67, n. 12, p. 2141-2153, 2004.



CALLISTER, W.D. Materials Science and Engineering- An Introduction. 7<sup>a</sup> ed, New York, John Wiley and Sons, p. 721, 2007.

CASSINELLI, G. *et al.* Cytotoxic and antitumor activity of vismiones isolated from Vismieae. Journal of natural Products, n. 49, p. 929-931, 1986.

CHAFFA, T.Y., Meshesha, B.T., Mohammed, S.A. *et al.* Production, characterization, and optimization of starch-based biodegradable bioplastic from waste potato (*Solanum tuberosum*) peel with the reinforcement of false banana (*Ensete ventricosum*) fiber. *Biomass Conv. Bioref.* (2022). Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13399-022-03426-9>. Acesso em 13 jul 2024

CHEN, S, *et all.* Eng. J. 2020, 401, 126095.

CHOUDHURY A, Sarma S, SARKAR S, Kumari M, DEY BK. Polysaccharides Obtained from Vegetables: an effective source of alternative excipient. J Pharmacopuncture. 2022 Dec 31;25(4):317-325. doi: 10.3831/KPI.2022.25.4.317. PMID: 36628349; PMCID: PMC9806151.

COSTA, D. P.; PERALTA, D. F. Bryophytes diversity in Brasil. *Rodriguésia*. 66 (4): 1063-1071, 2015.

DA RÓZ, Alessandra Luzia; CURVELO, Antônio Aprígio da Silva. Preparação e caracterização de amidos termoplásticos. 2004.

DAS, A., MCILROY, C. & BORTNER, M. J. Advances in modeling transport phenomena in material-extrusion additive manufacturing: Coupling momentum, heat, and mass transfer. *Prog. Addit. Manuf.* 6, 3–17. <https://doi.org/10.1007/s40964-020-00137-3> (2021).

DATTA S, Sinha BK, BHATTACHARJEE S, Seal T. Nutritional composition, mineral content, antioxidant activity and quantitative estimation of water soluble vitamins and phenolics by RP-HPLC in some lesser used wild edible plants. *Heliyon*. 2019 Mar 28;5(3):e01431. doi:10.1016/j.heliyon.2019.e01431. PMID: 30976701; PMCID: PMC6441826.

DELLE MONACHE D. F.; *et al.* Chemistry of Vismia genus. Note V:  $\gamma$ -hidroxy and  $\gamma,\gamma$ -hidroxy-feruginin A. *Journal of Natural Products*. v. 43, n. 4, p. 487-494, 1980.

DENARI, GABRIELA BUENO. Princípio e Aplicações de análise térmica/org. São Carlos: IQSC, 2012.

DI STASI, L. C, *et all.* Plantas medicinais na Amazônia e na Mata Atlântica: -2. ed. rev. e ampl. São Paulo; Editora UNESP, 2002.

DOME, Karina, *et all.* Changes in the Crystallinity Degree of Starch Having Different Types of Crystal Structure after Mechanical Pretreatment. *Polymers*, 2020. 12(3), 641–. doi:10.3390/polym1203064.

DUVAL, J, *et all.* Research advances for the extraction, analysis and uses of anthraquinones: A review. *Industrial Crops and Products*. 94, 812-833, 2016.

ELIASSON, A.C. Starch in food – Structure, function and applications. New York: Boca Raton, CRC, 2004. 605p.

F. J. Rodriguez-Gonzalez, B. A. Ramsay and B. D. Favis, *Carbohydr. Polym.*, 2004, 58, 139–147.

FERIA-REYES, Rossy, *et al.* 2023. "Pine Bark as a Potential Source of Condensed Tannin: Analysis through Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), Scanning Electron Microscopy (SEM), and Energy Dispersive X-ray (EDX)" *Forests* 14, no. 7: 1433. Disponível em <https://doi.org/10.3390/f14071433>. Acesso em: 12 jul 2024

FROMMER, J.; Scanning tunneling microscopy and atomic force microscopy in Organic chemistry. *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.*, v.31, p.1298-1328, (1992).

GE, T., PIERCE, F, *et al.* Molecular dynamics simulations of polymer welding: Strength from interfacial entanglements. *Phys. Rev. Lett.* 110, 098301. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.110.098301> (2013).

GHOZALI, Muhammad, YENNY Meliana, and MOCHAMAD Chalid. 2022. "Novel In Situ Modification for Thermoplastic Starch Preparation based on *Arenga pinnata* Palm Starch" *Polymers* 14, no. 22: 4813. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/polym14224813> Acesso em: 12 jul 2024

GIORDANI, R. B.; PAGLIOSA, L. B.; HENRIQUES, A. T. ZUANAZZI, J. A. Investigação do potencial antioxidante e antiolinesterásico de *Hippeastrum* (Amaryllidaceae). *Química Nova*. v. 31, n. 8, 2042-2046, 2008.

GROSSE, B.K., BALASUBRAMANIAN, V, KAPADIA, G.J. Isolation and characterization of prenylated anthranoids from *Vismia guineensis*. In: 38th Annual Meeting of the American Society of Pharmacognosy, The University of Iowa City, Iowa, July 26-30, 1997.

HARBORNE, J.B. Introduction to ecological biochemistry, 3 ed, Academic Press, London, 1988. p. 356-387.

HUANG, K., & ZHANG, L. Avanços recentes em plastificantes de base biológica para o desenvolvimento ambientalmente amigável e sustentável. *Materiais*, 11(9), 2018.

HUSSAIN, H.; Hussain, J.; Al-Harrasi, A.; Saleem, M.; Green, I.R.; van Ree, T.; Ghulam, A. Chemistry and biology of genus *Vismia*. *Pharm. Biol.* 2012, 11, 1448–1462.

HYUNJIN Moon, *et al.* Degradation Rates of Plastics in the Environment Ali Chamas, *ACS Sustainable Chemistry & Engineering* 2020 8 (9), 3494-3511 DOI: 10.1021/acssuschemeng.9b06635.

JARAMILLO, Carolina Medina, *et al.* Biodegradability and plasticizing effect of yerba mate extract on cassava starch edible films. *Carbohydrate Polymers*, (2016), S0144861716305471–. doi:10.1016/j.carbpol.2016.05.025.

JIANG, N. *et al.* Structure-induced switching of interpolymer adhesion at a solid-polymer melt interface. *Soft Matter* 14, 1108–1119. <https://doi.org/10.1039/c7sm02279d>, 2018

KAINAT, S., Gilani, S.R., Asad, F. *et al.* Determination and Comparison of Phytochemicals, Phenolics, and Flavonoids in *Solanum lycopersicum* Using FTIR Spectroscopy. *Food Anal. Methods* 15, 2931–2939 (2022). Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12161-022-02344-w>. Acesso 14 jul 2024

KONG, Uwei, Nurul Fazita Mohammad Rawi, and Guan Seng Tay. 2023. "The Potential Applications of Reinforced Bioplastics in Various Industries: A Review" *Polymers* 15, no. 10: 2399. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/polym15102399>. Acesso em 23 jul 2024.

KOZŁOWSKI, M., SZCZEPKOWSKI, L., & RYDZKOWSKI, T. Bioplásticos e suas propriedades. In *Compósitos Poliméricos Sustentáveis e Nanocompósitos* (pp. 1-34). Springer, 2019

LI, F. *et al.* "Soft-rigid" synergistic reinforcement of PHBV composites with functionalized cellulose nanocrystals and amorphous recycled polycarbonate. *Compos. Part B Eng.* 206, 108542. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2020.108542> (2021).

LIU, H, *et al.* Preparation and characterization of glycerol plasticized (high-amylose) starch–chitosan films. *Journal of Food Engineering*, 116, p. 588–597, 2013.  
LOMELÍ-RAMÍREZ, María Guadalupe. *Bio-composites of cassava starch-green coconut fiber: Part II—Structure and properties. Carbohydrate Polymers*, 102(2014), 576–583. doi:10.1016/j.carbpol.2013.11.020.

MALI, S.; GROSSMANN, M.V.E.; YAMASHITA, F.. Starch films: production, properties and potential of utilization. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 31, p. 137-156, 2010

MARCILLA, A., GARCIA, S., GARCIA-QUESADA, J. C.; Migrability of PVC Plasticizers. *Polym. Test* 2008, 27 (2), 221.

MIKUS, P.-Y.; Alix, S, *et al* *Deformation mechanisms of plasticized starch materials. Carbohydrate Polymers*, 2014; 114(), 450–457. doi:10.1016/j.carbpol.2014.06.087

MOIA, *et al.* **R. bras. Tecnol. Agroindustr.**, Francisco Beltrão, v. 15, n. 2: p. 3573-3590, jul./dez. 2021

millet starch nanoparticles. *Carbohydrate Polymers*, 111, 133–138, 2014.

MOORE, G. R. P *et al.* Influence of the glycerol concentration on some physical properties of feather keratin films. *Food Hydrocolloids*, v. 20, p. 975–982, 2006.

MOTTA, Elizangela Pestana, *et al.* 2022. "The Anti-Virulence Effect of *Vismia guianensis* against *Candida albicans* and *Candida glabrata*" *Antibiotics* 11, no. 12: 1834. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/antibiotics11121834>. Acesso em 13 jul 2024.

MOURÃO, K. S. M. e BELTRATI, C. M. Morphology and anatomy of developing fruits and seeds of *Vismia guianensis* (AUBL.) CHOISY (Clusiaceae). *Rev. Brasil. Biol.*, 61(1): 147- 158, 2001.

NANDA, S, *et al.* Innovations in applications and prospects of bioplastics and biopolymers: a review. *Environ Chem Lett* 20, 379–395 (2022). Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10311-021-01334-4>. Acesso em 26 jul.2024

NODARI, R. O.; GUERRA, M. P. Biodiversidade: aspectos biológicos, geográficos, legais e éticos. In: SIMÕES, C. M. O, *et al.* *Farmacognosia: da planta ao medicamento*. 5ª ed. Porto Alegre/Florianópolis: Editora da UFRGS/Editora da UFSC, 2004.

OLIVEIRA, A. H. de. Atividade antimicrobiana e imunológica in vitro dos extratos de *Senna reticulata* (Willd). Irwin & Barneby (mata-pasto) e *Vismia guianensis* (Aubl.)

(lacre) 126 p., Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual Paulista. “Júlio de Mesquita Filho”. Faculdade de Ciências Farmacêuticas. Programa de Pós-graduação em Ciências Farmacêuticas, Araraquara, 2009.

PASQUA, G. *et al.*: Accumulation of vismione A in regenerated plants of *Vismia guianensis* D.C. *Protoplasma* 1995; 189: 9-16.

PALUCH, M. *et al.* Structural and Thermal Properties of Starch Plasticized with Glycerol/Urea Mixture. *J Polym Environ* **30**, 728–740 (2022).  
<https://doi.org/10.1007/s10924-021-02235-x>.

BORDADO, Joao Carlos, and SARDINHA José Paulo, Plastic Pollution: A Perspective on Matters Arising: Challenges and Opportunities ACS Omega 2021 6 (30), 19343-19355 DOI: 10.1021/acsomega.1c02760.

PLÁSTICO, [A rota do: do lixo aos ecossistemas marinhos | National Geographic \(nationalgeographicbrasil.com\)](https://www.nationalgeographic.com.br/rota-do-do-lixo-aos-ecossistemas-marinhos) POR REDAÇÃO NATIONAL GEOGRAPHIC  
POLI, A, Anzelmo G, FIORENTINO G, Nicolaus B, TOMMONARO G, Donato PD. Polissacarídeos de resíduos de processamento industrial de vegetais: novas oportunidades para sua reutilização ecologicamente correta. In: Elnashar M, editor. Biotecnologia de biopolímeros. IntechOpen; Londres: 2011. pp.

POLITI, M. *et al.* HPLC-UV/PAD and HPLC-MS Analyses of leaf and root extracts of *Vismia guianensis* and isolation and identification of two new bianthrone. *Phytochemical Analysis*, V.15, p. 355-364, 2004.

POLITI, M.; Sanogo, R, *et al.* HPLC-UV/PAD; HPLC-MS Analyses of leaf and root extracts of *Vismia guianensis* and isolation and identification of two new bianthrone. *Phytochem. Anal.* 2004, 15, 355–364.

PUBLICADO 20 DE ABR. DE 2022, 12:42 BRT.

REIS, L. C. B., SOUZA, *et al.*, Active biocomposites of cassava starch: The effect of yerba mate extract and mango pulp as antioxidant additives on the properties and the stability of a packaged product. *Food and Bioproducts Processing*, v. 94, p. 382–391, 2015.

SEO, E.K. *et al.* New bioactive aromatic compounds from *Vismia guianensis*. *Phytochemistry*, v. 55, n. 1, p. 35-42, 2000.

SHI, A. M., *et al.* The effect of annealing and cryoprotectants on the properties of vacuumfreeze dried starch nanoparticles. *Carbohydrate Polymers*, 88, 1334–1341, 2012.  
SHI, Miaomiao, *et al.* "Structure and Physicochemical Properties of Malate Starches from Corn, Potato, and Wrinkled Pea Starches" *Polymers* 11, 2019, no. 9: 1523.  
<https://doi.org/10.3390/polym11091523> .

SILVA, Hugo, G A da, *et al.*, Caracterização de fraturas frágil e dúctil em microscopia eletrônica de varredura (MEV) Revista Militar de Ciência e Tecnologia RMCT VOL.34 Nº3 2017.

STEHMANN, J. R.; SOBRAL, M. Biodiversidade no Brasil. In: SIMÕES, C. M., *et al.*, Farmacognosia: do produto natural ao medicamento. Porto Alegre: Artmed, 2017.

STEVENS, P. F. Clusiaceae-Guttiferae, Hypericaceae. IN: K. KUBITZKI [ed], The families and genera of vascular plants, vol. IX, Flowering plants. Eudicots.

Berberidopsodales, Bruxales, Cromossomatales, Fabales pp., Geraniales, Gunnerale, Myrtales pp., Proteales, Saxifragales, Vitales, Zigophyllales, Clusiaceae alliance, Passifloraceae alliance, Dilleniaceae, Huaceae, Picramniaceae, Sabiaceae, 48-66, 194-201. Springer, Berlin, Germany, 2007.

SUFFREDINI I.B . *et al*, In vitro breast cancer cell lethality of Brazilian plant extracts. *Pharmazie*, v.62, n.10, p.798-800, 2007.

SUN, Kai-qiang, *et all*. *Optimisation of compatibility for improving elongation at break of chitosan/starch films*. *s/c(2019) RSC Advances*, 9(42), 24451–24459. doi:10.1039/c9ra04053f

SUN, Q. *et al*. Effect of retrogradation time on preparation and characterization of proso SURENDREN, Aarsha, *et all*. A review of biodegradable thermoplastic starches, their blends and composites: recent developments and opportunities for single-use plastic packaging alternatives. *Green Chemistry*. 24. 10.1039/D2GC02169B. 2022

TESTER, R.F. *et al*. Starch – composition, fine structure and architecture. *Journal of Cereal Science*, v.39, p.151-165, 2004. Disponível em: [http://www.sciencedirect.com/science?\\_ob=ArticleURL&\\_udi=B6WHK4BNMH9W4&\\_user=687358&\\_rdoc=1&\\_fmt=&\\_orig=search&\\_sort=d&view=\\_acct=C000037899&\\_version=1&\\_urlVersion=0&\\_userid=687358&md5=af13c384207409ca760f595fa217b8bd](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6WHK4BNMH9W4&_user=687358&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&view=_acct=C000037899&_version=1&_urlVersion=0&_userid=687358&md5=af13c384207409ca760f595fa217b8bd). Doi: 10.1016/j.jcs.2003.12.001..

The multifaceted challenges of bioplastics. *Nat Rev Bioeng* 2, 279 (2024). Disponível em :<https://doi.org/10.1038/s44222-024-00181-6>. Acesso em: 20 jul.2024

THE PLANT LIST. Version 1.1. Published on the internet; Disponível em :<http://www.theplantlist.org/>. Acesso em 25 de novembro de 2023.

TRINDADE, A. C. R. Contribuição para o Estudo do Desenvolvimento de Padrões em Materiais Elastoméricos. 2006. 180 f. Dissertação (Doutorado) - Universidade de Lisboa, Lisboa, 2006. Disponível em: <https://orcid.org/0000-0003-2584-6873>. Acesso em: 21 maio 2024.

VELÁSQUEZ-CASTILLO, Lía Ethel, *et all*. "Cassava Starch Films Containing Quinoa Starch Nanocrystals: Physical and Surface Properties" *Foods* 12, no. 3: 576, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/foods12030576>, Acesso em:19 jul.2024.

VENKATESHAIAH, Abhilash; NUTENKI, Rajender; KATTIMUTTATHU, Suresh, Chapter 14 - X-ray diffraction.

WIESENDANGER, R.; *Scanning Probe Microscopy and Spectroscopy*. Cambridge University Press, Cambridge, (1994).

YACHUAN ZHANG; J.H. Han . *Crystallization of High-Amylose Starch by the Addition of Plasticizers at Low and Intermediate Concentrations*. , 75(1), 0–0. doi:10.1111/j.1750-3841.2009.01404.x, 2020

YACHUAN, Zhang; HAN, J.H. (2010). Crystallization of High-Amylose Starch by the Addition of Plasticizers at Low and Intermediate Concentrations. , 75(1), 0–0. doi:10.1111/j.1750-3841.2009.01404.x

Z. Chen, J. ZHANG, P. Xiao, W. Tian, J. ZHANG, Novel thermoplastic cellulose esters containing bulky moieties and soft segments, *ACS Sustainable Chem. Eng.* 6 (2018)

4931–4939. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.7b04466>. Acesso em : 19 jul 2024

ZHANG, J., de Souza, M., CREIGHTON, C. & VARLEY, R. J. New approaches to bonding thermoplastic and thermoset polymer composites. *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.* 133, 105870. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2020.105870> (2020).