



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA**

**Jurandi Tiago Soares Muniz**

**DESENVOLVIMENTO DE UM COMPÓSITO LAMINADO DE FIBRA DE COCO  
VERDE (*COCOS NUCIFERA*) ATRAVÉS DA MOLDAGEM POR COMPRESSÃO**

**Recife**

**2024**

**Jurandi Tiago Soares Muniz**

**DESENVOLVIMENTO DE UM COMPÓSITO LAMINADO DE FIBRA DE COCO VERDE (*COCOS NUCIFERA*) ATRAVÉS DA MOLDAGEM POR COMPRESSÃO**

Monografia de curso de graduação apresentado à coordenação do Curso de Química Industrial da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Química Industrial.

**Orientador(a):** Prof. Dr. Felipe Pedro da Costa Gomes

**Recife**

**2024**

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Muniz, Jurandi Tiago Soares.

Desenvolvimento de um compósito laminado de fibra de coco verde (Cocos nucifera) através da moldagem por compressão / Jurandi Tiago Soares Muniz. - Recife, 2024.

61 p. : il., tab.

Orientador(a): Felipe Pedro da Costa Gomes

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Química Industrial - Bacharelado, 2024.

Inclui referências.

1. Fibras do coco verde. 2. Reaproveitamento. 3. Compósitos poliméricos laminados. 4. Moldagem por compressão. 5. Resistência à tração. 6. Absorção de água. I. Gomes, Felipe Pedro da Costa. (Orientação). II. Título.

540 CDD (22.ed.)

**Jurandi Tiago Soares Muniz**

**DESENVOLVIMENTO DE UM COMPÓSITO LAMINADO DE FIBRA DE COCO  
VERDE (*COCOS NUCIFERA*) ATRAVÉS DA MOLDAGEM POR COMPRESSÃO**

Monografia de curso de graduação apresentado à Coordenação do Curso de Graduação em Química Industrial da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Química Industrial.

Aprovado em: 21/08/2024.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof<sup>o</sup>. Dr. Felipe Pedro da Costa Gomes (Orientador)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof<sup>o</sup>. Dra. Yeda Medeiros Bastos de Almeida (1<sup>o</sup> Examinador)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof<sup>o</sup>. Dra. Karina Carvalho de Souza (2<sup>o</sup> Examinador)  
Universidade Federal de Pernambuco

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pela saúde e prosperidade em minha vida.

Aos meus pais, que contribuíram com o suporte emocional, subsídio financeiro, moradia e alimentação.

Ao meu irmão, Felipe Tiago Soares Muniz, por ser uma pessoa que sempre pude contar e minha maior inspiração.

Ao meu primo, Sérgio Eduardo Pessoa do Nascimento Filho pelos momentos de descontração durante os momentos de escrita.

A UFPE pelo ensino ímpar.

Ao Dr. Felipe Pedro pela integridade, paciência, disponibilidade e didática excepcional durante a orientação.

A Dra. Yêda Medeiros por todo apoio e fornecimento do ambiente e material necessário para a pesquisa.

Ao Dr. Ivo Diego de Lima Silva e a Dra. Daniella Stepheny Carvalho Andrade pela contribuição nos ensaios das formulações propostas.

Ao I-LITPEG, em especial os laboratórios LMPC e LPQ, por fornecerem toda a estrutura necessária para a realização do projeto.

Aos pesquisadores William Ottoni Barbosa Azevedo e Rafael Alves Pereira pelo auxílio durante as etapas do projeto.

Ao INTM por permitir o uso da máquina universal de ensaios mecânicos para o ensaio de tração.

## RESUMO

Sabe-se que o despojo de 125 cascas de coco ocupa 1 m<sup>3</sup> do ambiente destinado ao descarte deste material. Este descarte inadequado induz a diminuição da vida útil dos locais de depósito, já que é um fruto que pode levar até 12 anos para se decompor na natureza. Assim como as cascas do coco verde, os plásticos derivados do petróleo também podem se acumular nos aterros, podendo residir em até 500 anos na natureza, se mostrando estruturas resistentes às intempéries naturais como a temperatura, umidade e a luz ultravioleta, requerendo o reaproveitamento destes materiais, ou ainda, o incentivo ao uso de polímeros biodegradáveis. Diante desta problemática, o objetivo deste projeto se pautou no reaproveitamento desses insumos acumulados na natureza através do processamento de formulações de compósitos poliméricos laminados fazendo uso das fibras internas e externas do coco verde a partir de uma matriz de uma matriz polimérica de poli (butileno adipato co-tereftalato) (PBAT) ou de polietileno de alta densidade (PEAD). Para verificar a eficácia destes compósitos, foram promovidos ensaios de absorção de umidade, densidade, estabilidade térmica e resistência a tração. A partir dos resultados, constatou-se que os compósitos poliméricos desenvolvidos apresentaram baixas taxas de absorção de água. Analisando a contribuição individual dos componentes estudados, fibra, matriz e número de camadas, verificou-se uma maior resistência a tração em relação as formulações oriundas das fibras externas do coco verde em relação aos compósitos provenientes das fibras internas. Quanto ao tipo de matriz empregada no processamento, constatou-se que as formulações constituídas de PEAD, obtiveram resultados superiores em relação a resistência a tração e estabilidade térmica quando comparado ao PBAT. Apesar disso, o PBAT não apresentou resultados tão destoantes ao PEAD, podendo ainda ser aproveitado em aplicações futuras, uma vez que é um polímero biodegradável com uma elevada deformação na ruptura. Por fim, comparou-se o efeito da ampliação do número de camadas dos compósitos laminados, sendo verificada uma redução na eficiência das propriedades estudadas dos compósitos de 5 camadas em relação as formulações constituídas de 3 camadas.

**Palavras-chave:** Fibras do coco verde; Reaproveitamento; Compósitos poliméricos laminados; Moldagem por compressão; Resistência à tração; Absorção de água.

## ABSTRACT

It is known that the disposal of 125 coconut shells occupies 1 m<sup>3</sup> of the space designated for discarding this material. Such improper disposal reduces the useful life of disposal sites, as coconuts can take up to 12 years to decompose in nature. Similar to green coconut shells, petroleum-derived plastics can also accumulate in landfills, remaining in the environment for up to 500 years. These materials are resistant to natural weathering agents such as temperature, humidity, and ultraviolet light, making their reuse necessary, as well as encouraging the adoption of biodegradable polymers. Given this issue, the objective of this project was to reuse these raw materials accumulated in nature by processing laminated polymer composite formulations using the internal and external fibers of green coconut, with a polymer matrix of poly(butylene adipate-co-terephthalate) (PBAT) or high-density polyethylene (HDPE). To verify the effectiveness of these composites, tests for moisture absorption, density, thermal stability, and tensile strength were conducted. The results showed that the developed polymer composites exhibited low water absorption rates. Analyzing the individual contribution of the studied components fiber type, matrix, and number of layers it was found that the formulations using external green coconut fibers displayed greater tensile strength compared to composites made from internal fibers. Regarding the type of matrix used in processing, HDPE-based formulations achieved superior tensile strength and thermal stability compared to those made with PBAT. Nevertheless, PBAT did not present results that significantly differed from HDPE and can still be used in future applications, as it is a biodegradable polymer with high elongation at break. Finally, the effect of increasing the number of layers in the laminated composites was evaluated, revealing a reduction in the efficiency of the studied properties for the 5-layer composites compared to the formulations with 3 layers.

Keywords: Green coconut fibers; Reuse; Laminated polymer composites; Compression molding; Tensile strength; Water absorption.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1 -</b>	Planta de Coqueiro	16
<b>Figura 2 -</b>	Camadas do Coco Verde	17
<b>Figura 3 -</b>	Fluxo e Canais de Comercialização do coco no Brasil	18
<b>Figura 4 -</b>	Estrutura molecular da celulose presente em fibras naturais	19
<b>Figura 5 -</b>	Processamento dos resíduos do Coco Verde	20
<b>Figura 6 -</b>	Percentual de consumo de plásticos no Brasil em 2018	22
<b>Figura 7 -</b>	Identificação e simbologia de Resinas	23
<b>Figura 8 -</b>	Mecanismos para a degradação polimérica	27
<b>Figura 9 -</b>	Classificação de polímeros biodegradáveis quanto a origem	28
<b>Figura 10 -</b>	Estrutura Química do PBAT	29
<b>Figura 11 a -</b>	Representações esquemática de compósitos reforçados com fibras contínuas e alinhadas	32
<b>Figura 11 b -</b>	Representações esquemática de compósitos reforçados com fibras descontínuas e alinhadas	32
<b>Figura 11 c -</b>	Representações esquemática de compósitos reforçados com fibras descontínuas e orientadas aleatoriamente	32
<b>Figura 12 -</b>	Estrutura de uma máquina de compressão térmica	33
<b>Figura 13 -</b>	Secagem das fibras externas e internas	34
<b>Figura 14 -</b>	Esquema da segunda etapa de laminação	35
<b>Figura 15 -</b>	Processamento dos compósitos laminados	37
<b>Figura 16 -</b>	Picnometria do compósito de PBAT	38
<b>Figura 17 -</b>	Picnometria do compósito de PEAD	38
<b>Figura 18 -</b>	Absorção de água em compósitos	40

<b>Figura 19 -</b>	Absorção de água em fibras	40
<b>Figura 20 -</b>	Equipamento para análises de TGA	40
<b>Figura 21 -</b>	Máquina Universal de ensaios EMIC	41
<b>Figura 22 -</b>	Corpos de prova ensaios de resistência a tração	41
<b>Figura 23 -</b>	FTIR dos plásticos reciclados	42
<b>Figura 24 -</b>	Curvas de TGA e DTG da formulação de PEAD5C-O	46
<b>Figura 25 -</b>	Curva de TGA das formulações de PBAT	48
<b>Figura 26 -</b>	Curva de TGA das formulações de PEAD	48
<b>Figura 27 -</b>	Gráfico Tensão x Deformação PBAT3C	50
<b>Figura 28 -</b>	Gráfico Tensão x Deformação PBAT5C	50
<b>Figura 29 -</b>	Gráfico Tensão x Deformação PEAD3C	50
<b>Figura 30 -</b>	Gráfico Tensão x Deformação PEAD5C	50

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Comparativo entre as propriedades dos PE's	26
<b>Tabela 2</b> - Formulações empregadas para obtenção do compósito laminado	36
<b>Tabela 3</b> - Percentual de Umidade Absorvida das fibras e formulações de laminados	43
<b>Tabela 4</b> - Densidade e desvio padrão médio das fibras do coco verde	44
<b>Tabela 5</b> - Comparativo entre os valores experimentais e teóricos de densidade	45
<b>Tabela 6</b> - Temperaturas de decomposição das formulações	47
<b>Tabela 7</b> - Propriedades mecânicas das formulações	51

## LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABREMA	Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente
ASTM	American Society for Testing and Materials
BASF	Badische Anilin & Soda Fabrik
DTG	Termogravimetria Derivada
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EMIC	Equipamento Móvel de Inferência em Campo
FAOSTAT	Food and Agriculture Organization Stat
FTIR	Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
I-LITPEG	Instituto de Pesquisa em Petróleo e Energia
INTM	Instituto Nacional de Tecnologia em União e Revestimento de Materiais
ISO	International Organization for Standardization
LMPC	Laboratório de materiais poliméricos e caracterização
LPQ	Laboratório de Petroquímica
PBAT	Poli (Butileno Adipato Co-Tereftalato)
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PEBD	Polietileno de Baixa Densidade
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
TGA	Análise Termogravimétrica

## LISTA DE SIMBOLOS

A1	Massa do Picnômetro
A2	Massa do Picnômetro somado a massa da amostra
A3	Massa do Picnômetro somado a massa da amostra e da água destilada
A4	Massa do Picnômetro somado a massa da água destilada
°C	Grau Celsius
cm <sup>-1</sup>	Centimetro (Comprimento de Onda)
°C/min	Grau Celsius por minuto
dS/min	Limite de Condutividade Elétrica
g	Gramas
kg	Kilograma
kgf/cm <sup>2</sup>	Kilograma força por centímetro quadrado
kg/hab	Kilogram por habitante
kN	Kilo Newton
L	Litro
L <sub>0</sub>	Comprimento
Mc	Massa do Compósito
Mf	Massa da Fibra
mg	Miligrama
min	Minuto
mL	MiliLitro

mL/min	Milimetro por minuto
Mm	Massa da Matriz
MPa	Mega Pascal
$\rho_c$	Densidade do Compósito
$\rho_f$	Densidade da Fibra
$\rho_m$	Densidade da Matriz
$\rho_s$	Densidade Relativa
T	Espessura
Tm	Temperatura de Fusão
Vf	Volume de Fibra
Vm	Volume da Matriz
Vv	Volume de Vazios
W	Largura

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>16</b>
2.1 COCO VERDE .....	16
<b>2.1.1 Características e Propriedades do Coco Verde.....</b>	<b>17</b>
<b>2.1.2 Processo de comercialização do Coco Verde .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1.3 Fibras do Coco Verde .....</b>	<b>18</b>
2.2 POLÍMEROS.....	21
<b>2.2.1 Reciclagem dos Polímeros.....</b>	<b>23</b>
<b>2.2.2 Polietileno .....</b>	<b>24</b>
<b>2.2.3 Degradabilidade dos Polímeros.....</b>	<b>26</b>
<b>2.2.4 Poli (Butileno Adipato co-Tereftalato) (PBAT) .....</b>	<b>28</b>
2.3 COMPÓSITOS POLIMÉRICOS .....	29
<b>2.3.1 Orientação das Fibras.....</b>	<b>31</b>
<b>2.3.2 Compósitos Laminados.....</b>	<b>32</b>
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>33</b>
3.1 MATERIAIS.....	33
3.2 MÉTODOS .....	33
<b>3.2.1 Obtenção e preparo das Fibras.....</b>	<b>33</b>
<b>3.2.2 Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) ...</b>	<b>34</b>
<b>3.2.3 Moldagem por Compressão .....</b>	<b>34</b>
<b>3.2.4 Densidade dos Laminados .....</b>	<b>37</b>
<b>3.2.5 Ensaio de Absorção de Água.....</b>	<b>39</b>
<b>3.2.6 Análise Termogravimétrica .....</b>	<b>40</b>
<b>3.2.7 Ensaio de Resistência a Tração.....</b>	<b>40</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>42</b>

<i>4.1 ANÁLISE FTIR DO PLÁSTICO RECICLADO</i> .....	<b>42</b>
<i>4.2 ABSORÇÃO DE ÁGUA</i> .....	<b>42</b>
<i>4.3 DENSIDADE RELATIVA</i> .....	<b>44</b>
<i>4.4 TERMOGRAVIMETRIA (TGA)</i> .....	<b>46</b>
<i>4.5 RESISTÊNCIA A TRAÇÃO</i> .....	<b>49</b>
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	<b>52</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>54</b>

## 1 INTRODUÇÃO

De acordo com a FAOSTAT (2022), o Brasil ocupa a quarta posição em relação a produção mundial de coco. Este resultado é reflexo de uma produção mundial estimada de 61,5 milhões de toneladas, onde o Brasil contribuiu com 4% da produção mundial no ano de 2022. Essa elevada produção está diretamente associada com sua ampla gama de aplicações no ramo alimentício, onde se é feito o aproveitamento da polpa, da água e do óleo do fruto (RODRIGUES, 2022).

Devido a elevada produção de coco verde no decorrer dos anos, vem se gerando uma elevada quantidade de resíduos deste fruto, como é o caso das cascas provenientes das camadas espessas e fibrosas do fruto compreendidas pelo epicarpo e pelo mesocarpo, que quando não aproveitadas, se acumulam nos lixões e aterros. De acordo com Bonamone (2019), o despojo de 125 cascas de coco ocupa 1 m<sup>3</sup> do ambiente destinado ao descarte deste material, cujo acúmulo se deve em função do formato arredondado do fruto, de sua elevada dureza e também devido a um volume correspondente a 85% de seu peso bruto. Este descarte inadequado induz a diminuição da vida útil dos locais de depósito, já que é um fruto que pode levar até 12 anos para se decompor na natureza, possibilitando a proliferação de insetos e pragas que utilizam os resíduos do coco como subsídio, fazendo uso da matéria orgânica residual do fruto como fonte energética (CANDIDO, 2023). O *Aedes aegypti* que é a espécie responsável pela transmissão da dengue, febre amarela urbana, Zika e Chikungunya é um exemplo de inseto que se adapta com facilidade aos ambientes urbanos, se aproveitando da contenção do fluxo hídrico trazida pelo acúmulo de resíduos do coco verde para se proliferar (JESUS *et al*, 2021).

A fibra do coco verde é composta predominantemente por estruturas lignocelulósicas, caracterizadas pela baixa densidade, elevada elasticidade, elevada resistência à umidade, além de ser um material inerte e totalmente biodegradável (PEREIRA *et al*, 2023). Devido a essas características físico-químicas, vem se estudando o processo de reciclagem dos resíduos do coco verde em diferentes sistemas, desde que estejam em concordância com a Política Nacional de Resíduos Sólidos Lei nº 12.305/10 que preconiza o reconhecimento desses resíduos, bem como da introdução de tecnologias limpas no intuito de minimizar os impactos ambientais, gerar renda e promover uma destinação adequada para esse material (LIMA, 2020).

As propriedades desses resíduos podem ser aproveitadas a partir das diversas técnicas de reaproveitamento já conhecidas, como é o caso do artesanato, que se promove o uso das propriedades físicas dos resíduos do coco verde como a sua baixa densidade e da sua maleabilidade para confecção de itens de cunho popular e cultural, como é o caso de tapetes, bolsas, vasos e outros utensílios. Além disso, as propriedades térmicas e sonoras desses resíduos são preconizadas a partir da confecção de telhas bioecológicas e no revestimento interno de estruturas. A composição química das fibras vem possibilitando a produção de matérias primas essenciais no âmbito industrial, já que devido a elevada concentração de compostos lignocelulósicos, tem-se a possibilidade do isolamento de estruturas presentes nas camadas do coco verde, como é o caso da celulose, que pode ser utilizada na confecção de tecidos ou até mesmo da produção do papel (BONAMONE, 2019).

Entretanto, uma das aplicações que vem ganhando maior destaque pela comunidade científica é o da implementação das fibras como reforço em biocompósitos poliméricos em detrimento das fibras sintéticas, que são derivadas de combustíveis fósseis, e que, portanto, não se degradam facilmente na natureza, além de demandarem uma elevada quantidade de energia para sua produção (GOMES, 2023). Já as fibras naturais proporcionam um menor impacto ambiental e fornecem ao produto final características desejáveis, como a baixa densidade, biodegradabilidade e uma maior resistência mecânica (WEARN, 2020).

A escolha de uma matriz polimérica biodegradável garante condições adequadas para incorporação deste material em um ciclo de reaproveitamento por uma rota biológica após o seu descarte. Portanto, a aplicação de uma matriz de poli (butileno adipato co-tereftalato) (PBAT) vem sendo uma possibilidade, já que embora seja um polímero termoplástico de custo oneroso, este material detém um fácil processamento, baixa toxicidade e elevada aderência (ARRUDA, 2022). Em contrapartida, o descarte incorreto de embalagens poliméricas vem fomentando a necessidade da reciclagem destes resíduos, já que é um material que se acumula na natureza a ponto de representar cerca de 8 a 12% do fluxo de resíduos municipais, além de ser um rejeito que detém uma taxa de decomposição muito baixa na natureza (GRYEZAK, 2020). Embora esses resíduos poliméricos não sejam biodegradáveis, o seu aproveitamento como matrizes poliméricas pode ser uma alternativa para a redução destes rejeitos na natureza, bem como do desenvolvimento de um compósito polimérico leve, resistente e de baixo custo, induzindo a diminuição da dependência de produção de materiais provenientes de fontes não renováveis (FARIAS, 2024). Portanto, a formação de compósitos com a fibra de coco além de baratear e fornecer uma destinação alternativa para estes materiais, pode induzir a melhoria das propriedades destes polímeros

quando tratados individualmente, como é o caso de uma baixa massa específica, alta flexibilidade, elevada resistência à tração em função das propriedades nativas dos seus constituintes e uma menor taxa de absorção de água.

O projeto foi realizado no laboratório de materiais poliméricos e caracterizações (LMPC) e o seu objetivo geral é o de promover o desenvolvimento de um compósito polimérico através do reaproveitamento da casca e das fibras do coco verde por meio de um processo de laminação em uma matriz de resíduos de embalagens poliméricas e PBAT. Já em relação aos objetivos específicos, deseja-se promover a preparação das fibras; analisar a taxa de absorção de água das fibras e do material laminado proposto em relação ao tempo; promover um comparativo através de ensaios mecânicos do compósito laminado com as fibras orientadas e não orientadas; estimar e comparar a massa específica das fibras em relação ao material compósito laminado proposto e visualizar o efeito do aumento do número de camadas através dos ensaios propostos.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 COCO VERDE

O Coqueiro (*Cocos nucifera L*) é uma espécie de planta arbórea da família das *Arecaeae*, com caule, sem ramificações e se configura por ser uma espécie pertencente à subfamília *Coconídeae*, que abrange 27 gêneros e cerca de 600 espécies (OLIVEIRA, 2022). É conhecido como “Árvore da vida”, devido às múltiplas possibilidades de aproveitamento deste fruto e em função de sua elevada importância econômica em diversos países tais como Indonésia, Índia e Brasil (MEDEIROS, 2020). O tempo de maturação deste fruto varia de 11 a 12 meses se tratando do coco seco, embora o coco verde seja colhido ainda imaturo, entre o 5º e o 6º mês (CAMARA *et al*, 2019). O Coco verde (*Cocos nucifera L*) é originário da Índia, sendo trazido ao Brasil através da ilha de Cabo Verde em Portugal a partir do ano de 1953 no estado da Bahia (PANTOJA, 2024).

A sua elevada dispersão no litoral brasileiro, principalmente da região nordeste, se procedeu através das condições favoráveis, tanto de clima, que é predominantemente tropical, como do solo, por requisitar solos de elevada capacidade de aeração, drenagem e profundidade, conforme mostrado na Figura 1 (PINHO, 2023). Em função desses fatores somados ao incremento tecnológico e ao crescimento das áreas de cultivo, o Brasil ocupa a maior produção de coco na América do Sul, sendo responsável por 80% dessa produção (SOUZA, 2021). De acordo com a revista Campos e Negócios (2021), em um levantamento anual com base na Pesquisa Agrícola Municipal realizada pelo IBGE, foi estipulado os estados de maior produção de coco no Brasil, onde foi verificado que 75% desses estados se concentram na região nordeste, sendo o estado da Bahia o maior produtor, com cerca de 344,7 milhões de unidades (OLIVEIRA, 2022).

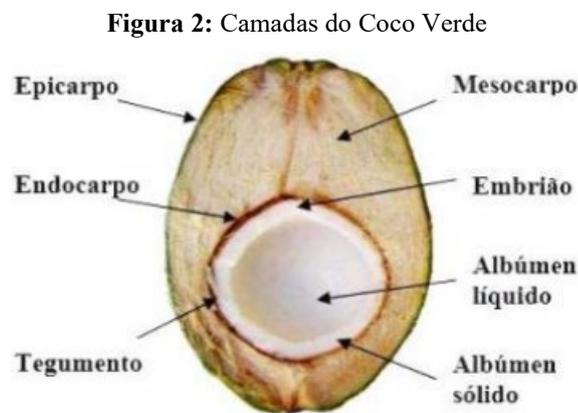
**Figura 1:** Planta de Coqueiro



**Fonte:** Pinho, 2023.

### 2.1.1 Características e Propriedades do Coco Verde

O coco se caracteriza por ser um fruto seco do tipo drupa fibrosa, sendo constituído pelo endocarpo, camada que detém a função de abrigar a semente constituída em seu interior. o coco verde é constituído por 5 elementos: o albumen líquido (água de coco), albúmen sólido, endocarpo e a casca (ABRANTES, 2024). O fruto se encontra envolto em um epicarpo, que é representado por uma casca de coloração esverdeada que se torna marrom com o passar do tempo. A camada inferior a casca é representada pelo mesocarpo, que é majoritariamente constituído por pó e por fibras curtas e longas. Por fim, tem-se uma camada mais interna e rígida que é responsável pelo revestimento do albúmen do fruto denominado endocarpo (BONAMONE 2019). De acordo com Marafon et al (2019), a casca do coco verde é constituída de 35 a 47% de celulose; 15 a 28% de hemicelulose; 16 a 45% de lignina e 2,7 a 10% de cinzas. Ressalta-se que a celulose é responsável por fornecer propriedades mecânicas e estruturais para a fibra, enquanto a lignina e a hemicelulose são responsáveis pela formação do material cimentante da casca e variam conforme a idade do fruto (MARAFON *et al*, 2019). Devido a esta configuração, a relação C/N (carbono e hidrogênio) da casca e do mesocarpo deste fruto é na faixa de 125 a 130, o que contribui para um tempo de decomposição dessas estruturas entre 10 a 12 anos. A Figura 2 ilustra a distribuição de camadas do coco verde.



Fonte: Régis, 2023.

### 2.1.2 Processo de comercialização do Coco Verde

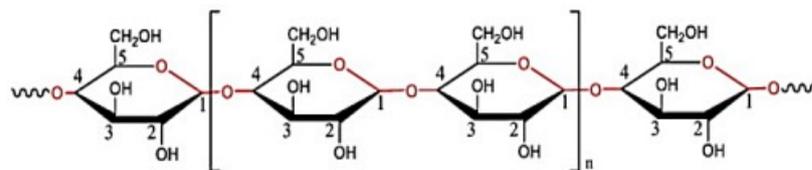
O processo de comercialização do coco é realizado na presença de muitos intermediários, que incluem comerciantes locais, atravessadores e distribuição. A cadeia produtiva pode ser entendida como um conjunto de elementos que interagem em um processo produtivo para oferta de produtos ou serviços ao mercado consumidor, onde cada elemento possui sua peculiaridade. O primeiro agente responsável pela cadeia produtiva do fruto são os



da produção mundial deste material. As atividades relacionadas ao beneficiamento das fibras de coco nestas regiões são responsáveis por empregar mais de 500.000 pessoas, principalmente as pessoas da zona rural. No Brasil existem empresas no mercado em até 30 anos de existência, embora a produção nacional se destine majoritariamente ao mercado interno. Contudo, o mercado de exportação dessas fibras vem crescendo devido a demanda de mantas geotêxteis. Essa demanda crescente em torno dessas fibras pode ser explicada em relação ao interesse do mercado em relação a uma matéria prima proveniente de uma fonte renovável, biodegradável e de baixo custo (EMBRAPA, 2019).

Essas fibras são formadas a partir de componentes químicos a base de carbono e hidrogênio, sendo estes a celulose, a hemicelulose, a lignina e as pectinas. A celulose é um constituinte formado por unidades de D-glicopirranose, como mostrado na Figura 4, e é o constituinte responsável diretamente pela estabilidade e resistência das fibras. A hemicelulose é um composto formado a partir da polimerização de açúcares, como a glicose, xilose e galactose. Este polissacarídeo atua como um ligante entre a celulose e a lignina, fornecendo plasticidade às fibras. Já a lignina é formada a partir de componentes aromáticos e alifáticos, tendo a principal função de unir as fibras celulósicas para a formação da parede celular do fruto, atuando diretamente na resistência ao tecido celular, as fibras e a parede celular do coco. Devido a esta composição, a fibra de coco é classificada como fibra duras multicelulares. Por ter uma menor concentração de celulose e uma maior concentração de lignina, as fibras do mesocarpo do coco verde possuem um comportamento diferenciado em relação a de outros frutos, o que habilita a mesma a ser utilizada como um compósito polimérico. É possível destacar outras características das fibras do coco verde, como é o caso da baixa condutividade; resistência ao impacto e resistência microbiana (SOUZA *et al*, 2021).

**Figura 4:** Estrutura molecular da celulose presente em fibras naturais

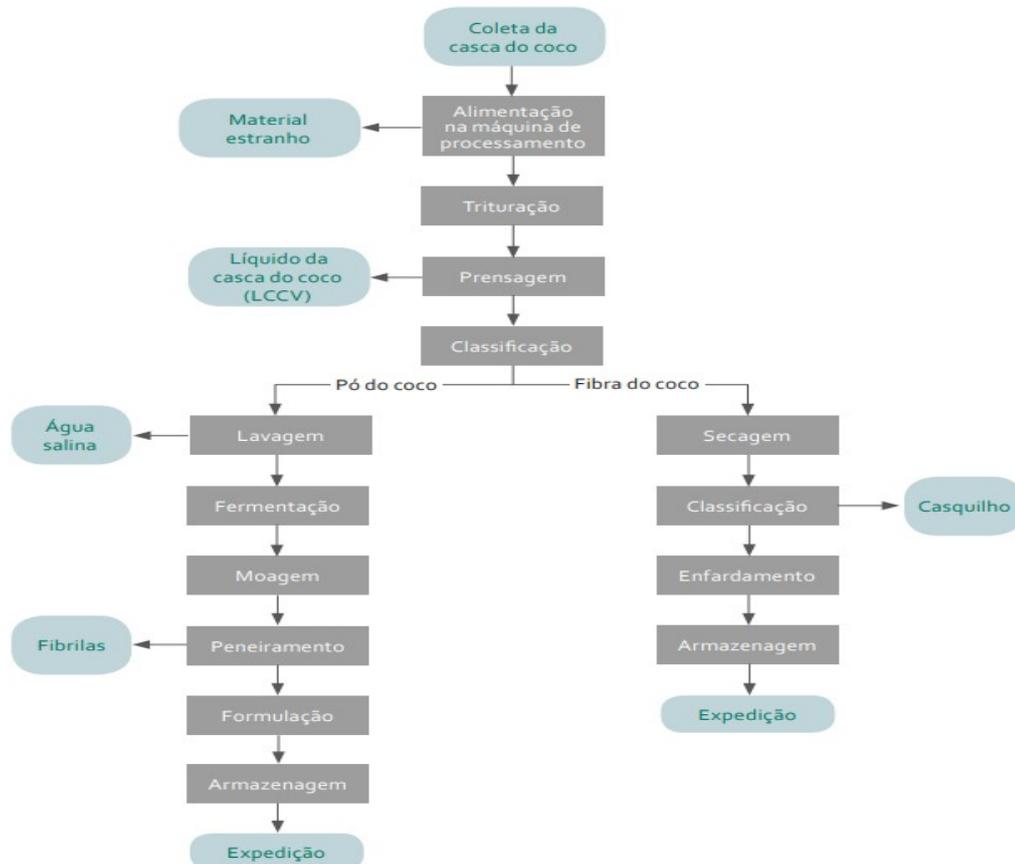


**Fonte:** Alves, 2024.

O processamento das fibras do coco verde é uma etapa fundamental para evitar o acúmulo do material, bem como dar uma destinação final para este. Inicialmente, os resíduos são coletados e transferidos para um caminhão, que despeja esses resíduos em uma rampa de

declividade leve para que os resíduos do coco sejam direcionados a esteira de alimentação, onde é feita a retirada dos corpos estranhos como canudos, pedras e plásticos. Posteriormente, as cascas são desintegradas através do processo de trituração, cujo objetivo é o de viabilizar a separação das fibras longas. Em seguida, ocorre a prensagem das cascas para a retirada da umidade e salinidade do coco. Esta etapa tem grande importância, já que a fibra de coco verde pode chegar a uma umidade de até 30% de seu peso bruto e uma salinidade próxima a 4,7 dS/m. Adiante, tem-se a etapa de classificação, em que é promovida a separação do pó e das fibras, podendo ser um processo manual ou automatizado. A frente, as fibras são secas ao sol no intuito de diminuir a umidade, e reclassificadas para separação do excedente do pó ou do endocarpo do fruto. Como as fibras de coco possuem baixa densidade, estas são compactadas e enfardadas. Estes fardos são armazenados em pellets, evitando o contato com umidade e com corpos estranhos. Por fim, o material é armazenado e expedido. O processo é ilustrado de forma resumida no fluxograma da Figura 5 (BONAMONE *et al*, 2019).

**Figura 5:** Processamento dos resíduos do Coco Verde.



**Fonte:** Bonamone et al, 2019.

Existem diversas aplicações para as fibras de coco já registradas. De acordo com Souza et al (2021), a fibra do coco verde por possuir uma porcentagem de celulose acima de 35% pode ser reaproveitada para a produção de papel. Já segundo Marafon et al (2019) foi feito o aproveitamento das fibras e cascas do coco verde para a geração de energia em função de sua composição lignocelulósica. No trabalho de Andrade (2019), tem-se a possibilidade da utilização das fibras de coco no tratamento de efluentes, já que as fibras são ótimos substratos de fixação para bactéria em sistemas de tratamento anaeróbio. Ainda segundo o autor, as fibras também podem ser utilizadas como reforço para materiais poliméricos, já que o comportamento dessas estruturas beneficia o melhoramento das propriedades mecânicas do polímero, como a resistência e a rigidez.

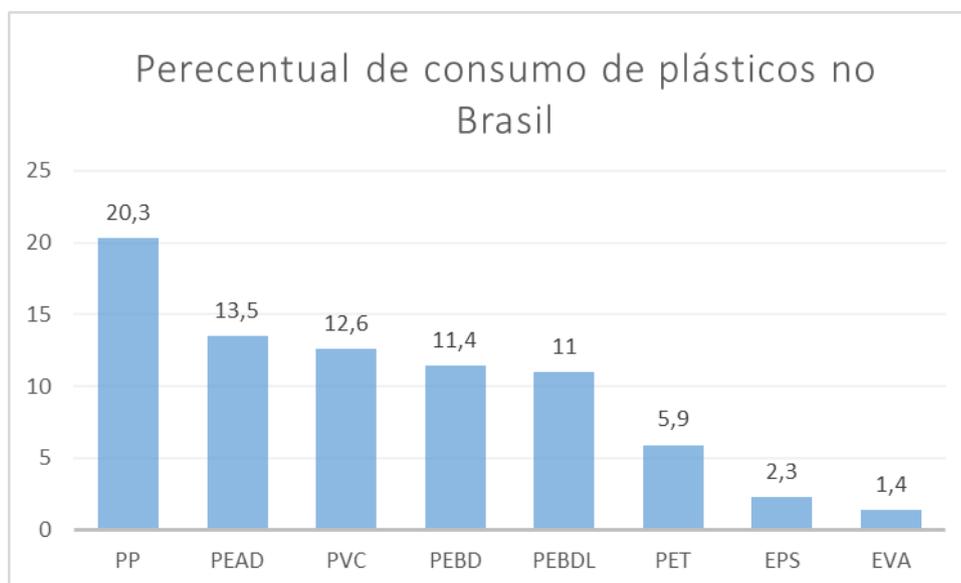
## 2.2 POLIMEROS

Desde o primórdio da vida humana, o plástico vem sendo amplamente utilizado e difundido pelo ser humano em função das suas propriedades intrínsecas como a flexibilidade, maleabilidade e elasticidade, que constantemente facilitam as atividades diárias dos seres humanos. É constatado que os primeiros polímeros empregados pela humanidade foram materiais de origem natural que detinham propriedades plásticas, como é o caso das gomas, como a goma-laca e a goma de mascar. A partir da manipulação e modificação química dos materiais existentes na natureza, surgiram os materiais sintéticos, que são os plásticos modernos que vem sendo desenvolvidos há mais de 100 anos. Desde 1970, vem havendo uma dominância global em relação a utilização dos plásticos sintéticos derivados do petróleo a partir das diversas aplicações, como é o caso das embalagens, alimentos, roupas, transporte, saúde, construção e indústrias de lazer. A ampla dominância mundial do petróleo pode ser explicada em relação a sua versatilidade, já que este composto é um precursor excepcional dos monômeros presentes nos diversos polímeros sintéticos. Estes monômeros são frações do próprio petróleo obtidas através de condições controladas de pressão e temperatura através de um processo de destilação fracionada. Os monômeros por si só são os blocos de construção dos polímeros, que através de uma reação de polimerização são ligados formando cadeias poliméricas grandes, repetidas com distintas propriedades e estruturas conforme o monômero empregado, resultando em materiais de elevada dureza, resistência a degradação e com uma baixa densidade (PIRES, 2023).

No entanto, o aumento indiscriminado da produção e do consumo dos plásticos vem trazendo efeitos negativos para o meio ambiente, uma vez que a maioria dos polímeros

empregados no cotidiano por serem a base de petróleo, apresentam uma baixa taxa de decomposição, se estendendo em até 500 anos na natureza (SOARES *et al*, 2023). Este acúmulo prolongado pode ser explicado em função da elevada resistência as intempéries naturais, como a temperatura, pressão, solventes químicos e a luz UV, sendo fatores que podem, inclusive, auxiliar na cisão desses plásticos em materiais menores, aumentando ainda mais o acúmulo deste material nos ecossistemas terrestres e marinhos (PIRES, 2023). Estes plásticos representam cerca de 13,5% dos resíduos sólidos coletados a partir da limpeza urbana, sendo a maior parte destes caracterizados por embalagens descartáveis, sacos, potes, filmes, frascos e garrafas. No Brasil, a lei responsável pela regulamentação dos resíduos sólidos é chamada Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010 e regulamentada pelo decreto nº 7.404 de 23 de dezembro de 2010, dispondo sobre a gestão integrada e o gerenciamento de resíduos sólidos. Esta lei tem uma importância ímpar na sociedade, uma vez que o consumo per capita no Brasil gira em torno de 35 kg/hab, necessitando de uma normatização para minimizar os impactos ambientais decorrentes desde a obtenção da matéria prima, até o seu processo produtivo, industrialização, desenvolvimento, consumo e sua disposição final ambientalmente adequada (SETTE *et al*, 2024). Embora haja uma regulamentação em vigência, ainda há uma elevada produção de plásticos no Brasil que vem agravando a situação dos resíduos sólidos a cada ano. De acordo com Morais (2022), houve um consumo de 6,6 milhões de toneladas de plástico no Brasil em 2018, que estão distribuídos conforme a Figura 6.

**Figura 6:** Percentual de consumo de plásticos no Brasil em 2018



**Fonte:** O Autor, 2024.

### 2.2.1 Reciclagem dos Polímeros

A reciclagem pode ser definida como um processo de reutilização de materiais descartados a fim de reintegrá-los à cadeia produtiva, promovendo sua valorização e reutilização. Portanto, é um processo que visa reduzir os impactos ambientais provenientes do acúmulo de resíduos atrelados ao fim da cadeia produtiva desses materiais. Sendo assim, é um processo que auxilia na diminuição do volume de resíduos destinados aos aterros sanitários, promovendo uma economia de água, energia e promovendo uma preservação através de uma menor poluição ambiental. A separação destes resíduos pode ser feita através de diversas metodologias, fundamentada nas características dos materiais a serem coletados. O método de coleta dependerá dos custos de mão de obra e da seleção de mercado, podendo, portanto, ser de forma manual ou automatizada. A partir de uma análise gravimétrica realizada pela Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente (ABREMA) (2022), foi feito um comparativo entre o quantitativo das classes de resíduos recuperados, sendo constatado uma recuperação de 39,3% para os materiais plásticos e papelão; 25,5% para os plásticos e 34% distribuídos igualmente para os metais e vidros (FARIA *et al*, 2024). No intuito de facilitar a recuperação dos resíduos plásticos, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) estabeleceu a norma NBR 13.230, que consiste em um sistema de rotulagem para produtos plásticos. Este símbolo é caracterizado por um símbolo envolvido por três setas sequenciais que indicam o tipo de plástico utilizado na fabricação do produto. A Figura 7 exemplifica os plásticos referenciados a partir desta norma.

**Figura 7:** Identificação e simbologia de Resinas



**Fonte:** ABNT NBR 13230, 2008.

A Sociedade Americana de Ensaios de Materiais (ASTM) realizou uma divisão de acordo com os tipos de reciclagem, sendo estas divididas em quatro grupos. A reciclagem primária consta os resíduos de fontes confiáveis e limpas, constando majoritariamente os resíduos provenientes da indústria de plásticos. Estes resíduos quando selecionados e floculados são direcionados para a lavagem, secagem para posteriormente serem reprocessados em extrusoras e injetoras. Já a reciclagem secundária compreende

majoritariamente os resíduos sólidos urbanos e os resíduos industriais com propriedades inferiores às resinas virgens, apresentando os mesmos tratamentos apontados na reciclagem primária. A reciclagem terciária compreende a decomposição química controlada de um material polimérico, podendo posteriormente ser submetido a novas reações de polimerização. Por fim, tem-se a reciclagem quaternária, que compreende a combustão dos resíduos plásticos com o propósito de gerar energia térmica, podendo ser convertida em energia elétrica. Ainda de acordo com a ASTM, há uma segunda classificação que divide a reciclagem dos plásticos em 3 categorias, a reciclagem mecânica, química e energética. A reciclagem mecânica compreende as etapas de seleção de tipo e cor, moagem, lavagem, secagem, aglutinação e reprocessamento. É o tipo de reciclagem responsável por gerar os grânulos que posteriormente poderão ser reprocessados na produção de novos materiais. Já a reciclagem química corresponde ao tipo de reciclagem que visa a despolimerização através da destruição da estrutura polimérica do material, resultando em estruturas que podem ser reaproveitadas em um novo processo de polimerização. É um processo que tem maior tolerância a impurezas, não requerendo uma triagem tão rigorosa. Por fim, tem-se a reciclagem energética, que aproveita o poder calorífico armazenado nos plásticos através da combustão com o objetivo de geração e transformação da energia térmica em elétrica respectivamente (FARIA *et al*, 2024).

### **2.2.2 Polietileno**

O polietileno é um polímero termoplástico, parcialmente cristalino e flexível da classe das poliolefinas. Diante do mercado das poliolefinas, o polietileno vem se destacando, uma vez que de acordo com a Precendence Research (2023), o montante obtido dos polietilenos atingiu 35% de um total de 240 bilhões do mercado global de poliolefinas, com expectativa de aumento de até 9,7% até o ano de 2030. Sua elevada expectativa de crescimento é proveniente de sua alta disponibilidade unido a um preço acessível de mercado associada a uma produção contínua e crescente do polietileno renovável, que visam a diminuição dos impactos ambientais trazidos pelo uso deste polímero. Suas principais aplicações se destinam às sacolas, embalagens plásticas, garrafas, tubos e próteses. A estrutura mais básica do polietileno é constituída por cadeias lineares de átomos de carbono conectadas a dois átomos de hidrogênio. Sua polimerização se deve através de reações de adição, que se procedem a partir da quebra de ligações duplas e formação de ligações covalentes entre os monômeros de etileno. Os tipos de polietileno são obtidos através dos diferentes arranjos macromoleculares envolvendo as cadeias de etileno, que resultam em uma variação de massa molecular e

densidade nas ramificações responsáveis por diferenciações no polímero base. (KELLER, 2024).

O polietileno de baixa densidade (PEBD) é produzido através de elevadas condições de pressão e temperatura, favorecendo a presença de ramificações curtas e longas ligadas a cadeia principal que não estão inseridas na rede cristalina. Essas ramificações impedem o ordenamento das cadeias, resultando em um baixo valor de cristalinidade, que se situa em uma faixa de 40 a 60%. Também é destacável uma baixa temperatura de fusão ( $T_m$ ), entre 110 e 115 °C e sua baixa densidade, que pode se enquadrar em um intervalo de 0,91 a 0,93 g/cm<sup>3</sup>. Já o polietileno de alta densidade (PEAD) é produzido a partir de baixas pressões e uma temperatura moderada, possibilitando o alinhamento da estrutura do polímero, cadenciando a um elevado valor de cristalinidade, que tende a ser superior a 90%. Possui uma temperatura de fusão ( $T_m$ ) entre 130 e 140 °C e uma densidade superior ao PEBD, entre 0,94 e 0,97 g/cm<sup>3</sup>. A produção do PEAD é favorecida através do uso de catalisadores, como os do tipo Ziegler-Natta ou de Phillips, que favorecem pressões e temperaturas mais amenas, essenciais na produção deste polímero (KELLER, 2024). O Polietileno linear de baixa densidade (PELBD) é produzido através de uma copolimerização entre o eteno e outras  $\alpha$ -olefinas, como o 1-hexeno ou 1-octeno em baixa pressão. Possui propriedades intermediárias entre o PEAD e PEBD como é o caso da sua densidade, que se situa entre 0,90 e 0,94 g/cm<sup>3</sup> e o seu ponto de fusão de 120 a 130 °C. Em comparação ao PEAD, este possui uma menor cristalinidade, mas detém uma melhor resistência ao fissuramento sob tensão e maior resistência ao impacto, além de possuir uma melhor resistência ao cisalhamento em comparação ao PEBD. Há também outros tipos de polietilenos menos convencionais, como é o caso do polietileno de ultra alta massa molar, que é um polímero semicristalino que possui uma densidade média de 0,93 g/cm<sup>3</sup>. É caracterizado por ter uma elevada massa molecular, que o impede de ser processado como os outros tipos de polietileno pelos métodos convencionais de processamento, como a injeção, extrusão e sopro, requerendo uma extrusão RAM ou moldagem por compressão. Por fim, tem-se o polietileno de ultrabaixa densidade, que possui a menor cristalinidade entre os outros tipos de polietileno e também a menor densidade, que é de aproximadamente 0,825 g/cm<sup>3</sup>, sendo utilizado para a produção de resinas modificadoras para polímeros com densidades distintas (GIMENES, 2024). Na Tabela 1 é ilustrado um comparativo das propriedades envolvendo os diferentes tipos de polietileno.

**Tabela 1:** Comparativo entre as propriedades dos PE's

Testes DIN; ASTM	Propriedades	Densidade dos PE'S			Peso molecular ultra elevado (PEUAPM)
		Baixa	Média	Alta	
<b>Físicas</b>					
D(53479)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	0,910-0,925	0,926-0,940	0,941-0,965	0,928-0,941
D(53473)	Absorção de água 24h, 3 mm de espessura (%)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
<b>Mecânicas</b>					
D(53455)	Resistência a tração (10 <sup>2</sup> Kgf/cm <sup>2</sup> )	0,4-1,4	0,8-2,4	2,1-3,8	2,8-4,2
D(53455)	Alongamento na Ruptura (%)	90/800	50/600	20/1000	200/500
D(53457)	Módulo de Flexão (10 <sup>4</sup> Kgf/cm <sup>2</sup> )	0,06-0,5	0,5-1,0	0,7-1,5	0,7-1,2
D256 (ASTM)	Resistência ao Impacto (Kg)	Não quebra	---	---	Não quebra
D786 (ASTM)	Dureza Rockwell R	10	15	65	67

Fonte: Gimenes, 2024.

### 2.2.3 Degradabilidade dos Polímeros

A degradação dos plásticos envolve tanto fatores abióticos, como é o caso da temperatura, pH, umidade, salinidade, luminosidade, distribuição das cargas elétricas e peso molecular como também de fatores bióticos a partir da ação de organismos vivos, da atividade enzimática ou ainda da liberação de ácidos. É através destes processos de degradação que ocorrem mudanças nas características dos plásticos, como é o caso das alterações de cor, superfície, cristalinidade, densidade e tamanho das partículas (MORAIS, 2022).

Os processos de degradação podem ser divididos em quatro grupos, a degradação mecânica, térmica, química ou biológica. A degradação mecânica pode ser vantajosa por levar uma diminuição no tamanho das partículas, resultando em um aumento da área superficial do mesmo, favorecendo a uma degradação mais rápida. No entanto, as cisões nas cadeias desses

polímeros, principalmente relacionadas às degradações fototérmica e química podem afetar as propriedades mecânicas do material, como o alongamento e o módulo de tração. Na degradação térmica ocorre a quebra das cadeias poliméricas em hidrocarbonetos menores a partir de uma atmosfera inerte ou sem ar. Este tipo de degradação é improvável de ocorrer naturalmente, já que a oxidação é um processo extremamente exotérmico, requerendo uma elevada temperatura para se perpetuar. A degradação química envolve uma série de mecanismos e produtos químicos responsáveis por gerar reações que promovem a cisão das cadeias poliméricas em frações menores. No entanto, é um processo inviável em grande escala, já que além de ser necessário ter o conhecimento específico dos mecanismos de reação envolvendo a entidade polimérica, pode gerar subprodutos tóxicos a partir da reação entre os agentes químicos e o polímero. Por fim, tem-se a degradação biológica, que é feita através de organismos vivos, que são responsáveis pela promoção de uma degradação parcial ou primária, favorecendo a formação de metabólitos estáveis. No entanto, é um processo que pode ser vagaroso, já que requer pré-tratamentos físicos e químicos ideais para uma melhoria da eficiência do processo (MORAIS, 2022). Na Figura 8 é ilustrado os processos de degradação polimérica a partir de um fluxograma.

**Figura 8:** Mecanismos para a degradação polimérica



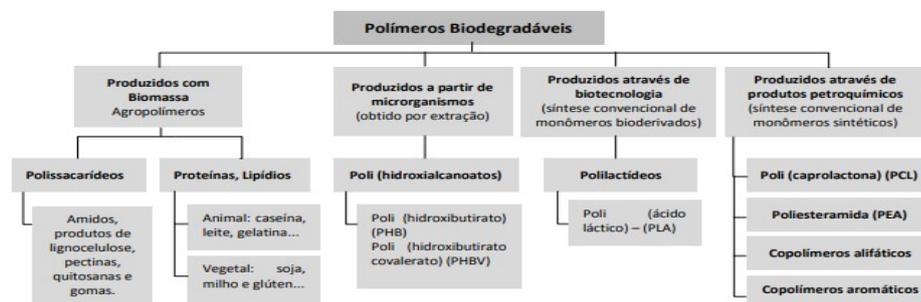
Fonte: Romeiro, 2023.

A produção de polímeros biodegradáveis vem sendo uma opção em relação aos plásticos convencionais, uma vez que não haverá o acúmulo deste material por um elevado período de tempo na natureza. Polímeros biodegradáveis são estruturas naturais ou sintéticas capazes de serem degradadas por organismos vivos. O processo degradativo destes plásticos possui três etapas, onde a primeira etapa se refere a biodeterioração, no qual os microrganismos presentes liberam enzimas como esterase, lipases e peróxidos de lignina que

atuam na superfície do plástico aumentando sua hidrofobicidade e conseqüentemente alterando suas propriedades físico-químicas. Após esta etapa, ocorre a biofragmentação, que consiste na clivagem dos polímeros em estruturas mais simples como oligômeros, dímeros e monômeros. Por fim, ocorre a etapa da assimilação, onde os grupos carbonil e hidroxil são metabolizados dentro da célula através das enzimas intracelulares, sendo transformados em estruturas simples como é o caso do  $\text{CO}_2$  e a  $\text{H}_2\text{O}$ , representando a mineralização completa do material (MORAIS, 2022).

Há uma classificação proposta por Averous e Boquilon (2004) que agrupa os polímeros biodegradáveis em 4 grupos conforme sua origem biológica e tecnológica. Há o grupo dos produtos de origem agrícola, que são derivados de polissacarídeos, como é o caso do amido, pectinas, celuloses, gomas e proteínas. O segundo grupo diz respeito aos polímeros obtidos através de processos fermentativos, sem que haja outras etapas de transformação, como é o caso do polihidroxibutirato e o poli(hidroxi-co-valerato). O terceiro grupo consta os polímeros obtidos por processos biotecnológicos, sendo, portanto, obtido através de um processo fermentativo para obtenção do monômero, exigindo um processo de síntese ou polimerização convencional para a concepção do polímero. Neste grupo se enquadra o poli(ácido láctico) e o poli(butileno adipato co-tereftalato). Por fim, tem-se os produtos da indústria petroquímica, que são derivados do petróleo que apresentam biodegradabilidade, como é o caso das famílias das policaprolactonas e as poliesteramidas (COFFERRI, 2020). Essa classificação pode ser detalhada conforme a Figura 9.

**Figura 9:** Classificação de polímeros biodegradáveis quanto a sua origem



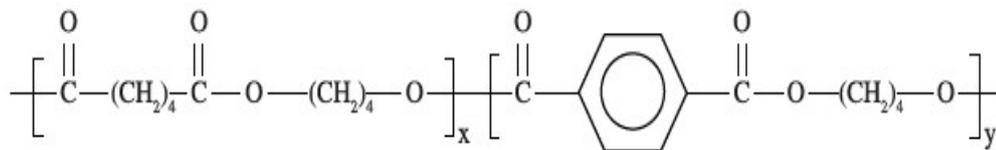
Fonte: Coffferri, 2020.

## 2.2.4 Poli(butileno adipato-co-tereftalato) (PBAT)

O PBAT é um copoliéster aromático-alifático termoplástico semicristalino sintético de origem petroquímica cujas propriedades mecânicas e térmicas se assemelham ao polietileno

(AVERSA *et al.*, 2022). Além de ser um material biodegradável e bastante estável, este polímero pode ser processado em equipamentos convencionais, como é o caso dos misturadores, extrusora, injetora e em outros equipamentos de moldagem. Embora tenha uma alta estabilidade, o PBAT é sensível nas temperaturas empregadas no seu processamento, que variam de 140 a 230°C. Esta termossensibilidade é um fator comum para muitos ésteres, já que a hidrólise das ligações ésteres pode ocorrer tanto pela presença de umidade quanto pela cisão da cadeia induzida termicamente, resultando na diminuição da massa molar média pós processamento (ARRUDA, 2022). A Figura 10 ilustra a estrutura química do PBAT.

**Figura 10:** Estrutura Química do PBAT



**Fonte:** Marcelo et al, 2012.

Também chamado de Ecoflex<sup>®</sup>, por ser caracteristicamente biodegradável na natureza, este polímero vem sendo empregado na produção de embalagens, sacos descartáveis e até mesmo na agricultura. Contudo, a sua utilização é limitada, uma vez que o custo de obtenção deste material é bastante oneroso. Desta forma, a aplicação do PBAT como matriz em compósitos poliméricos pode ser uma alternativa para tornar viável sua utilização, bem como de favorecer uma melhoria nas suas propriedades mecânicas e térmicas. Um dos candidatos promissores ao reforço de uma matriz de PBAT é a fibra de coco, dado que possuem um baixo valor agregado e são constituídas por estruturas lignocelulósicas, que são biodegradáveis na natureza e promovem uma melhoria nas propriedades físicas do polímero, como é o caso da resistência a tração, promovendo a formação de compósitos poliméricos com uma elevada rigidez e baixa densidade (ARRUDA, 2022).

### 2.3 COMPÓSITOS POLIMÉRICOS

Ao longo do tempo, a humanidade vem promovendo a descoberta e o desenvolvimento de materiais para diversos usos do cotidiano no intuito de torná-los utilitários e práticos em suas aplicações. Dentre estas aplicações, tem-se o desenvolvimento de mantas, embalagens, placas, artesanatos e vários outros exemplos. Nesse sentido, os materiais compósitos vêm sendo uma grande conquista na área dos materiais, tendo o reconhecimento como materiais de

maior potencial promissor disponíveis no mercado mundial. Os compósitos poliméricos são materiais multifásicos obtidos através de uma combinação artificial e heterogênea de dois constituintes em diferentes fases, que consistem respectivamente em uma fase contínua chamada matriz e outra fase descontínua denominada de reforço (ISLAM *et al*, 2022).

A matriz é responsável por definir o formato da peça, estabilizando e uniformizando a forma do material reforçado, de modo a distribuir igualmente os esforços mecânicos aplicados. As matrizes poliméricas vêm ganhando destaque por serem de fácil aplicação, além de dispor de propriedades mecânicas e químicas excepcionais, essas substâncias podem atuar na proteção do material reforço das intempéries externas, como a abrasão, absorção de água, impacto e ataques químicos, uma vez que recobrem a superfície da fase dispersa, limitando o contato do reforço com o ambiente externo. A matriz pode ainda ser distinguida como termoplástica ou termoendurecíveis. As matrizes termoplásticas têm sua geometria alterada a partir do aquecimento, enquanto as termoendurecíveis são formadas por estruturas tridimensionais rígidas a partir de ligações cruzadas, não permitindo alteração geométrica com o aquecimento. As resinas de base biológica vêm sendo muito estudadas, já que utilizam 65% menos energia na sua produção comparativamente às resinas derivadas do petróleo. Além disso, são constituintes biodegradáveis, não tóxicos, renováveis e recicláveis (GOMES, 2023)

Já o reforço, deve dispor de uma elevada resistência mecânica e rigidez, uma vez que é a fase responsável por suportar o esforço mecânico aplicado sob material, podendo ainda aumentar a condutividade e resistência térmica do compósito. A fase descontínua pode ser constituída por partículas ou fibras. Embora as partículas tenham um preço menos oneroso, a aplicação das fibras ao compósito fornece uma maior rigidez quando comparado ao compósito particulado, uma vez que a área superficial da fibra e a matriz é muito superior à de uma partícula. Atualmente as fibras de vidro, carbono e aramida dominam o mercado devido a sua fácil manipulação somado a propriedades excepcionais. Contudo, há uma tendência de crescimento em relação às fibras naturais, uma vez que possuem um baixo custo de produção, são biodegradáveis, renováveis, possuem uma baixa densidade, são excelentes isolantes termoacústicos e detêm um baixo gasto energético de produção. Porém, necessitam de um tratamento para melhorar a adesão das fibras na matriz, uma vez que grande parte dessas fibras possuem um comportamento majoritariamente hidrofílico, o que os torna suscetíveis à absorção de água. O desempenho dos materiais compósitos depende de alguns parâmetros,

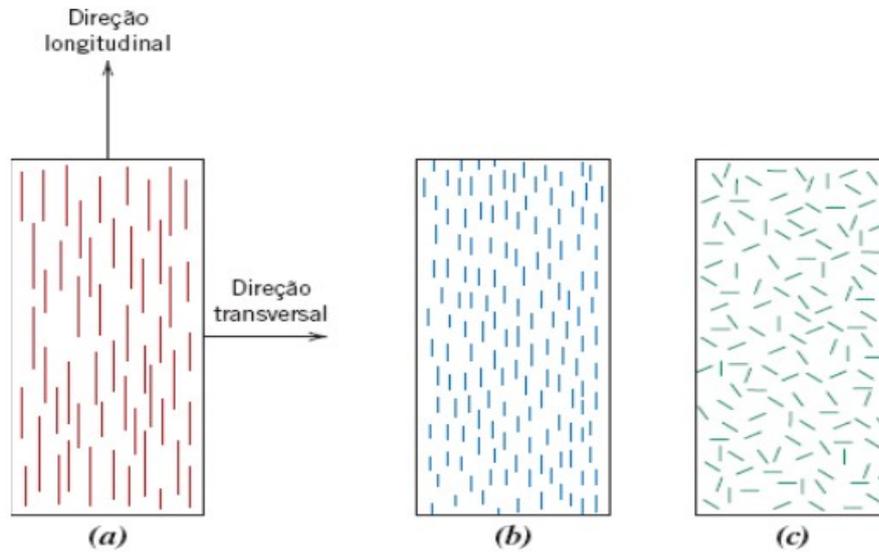
como o tipo, o comprimento, a orientação, a composição e fração volumétrica de fibras, bem como a forma como se dispõem na matriz. (GOMES, 2023).

### **2.3.1 Orientação das Fibras**

Um material anisotrópico é definido como aquele cujo qual suas propriedades variam de acordo com a orientação de algum eixo de referência, tendo dependência de alguma direção definida. Além de uma maior resistência aparente para este tipo de material, a orientação do material também influencia outras propriedades, tais como a sua flexibilidade e módulo de elasticidade. Além disso, fatores como arranjo, distribuição e a concentração das fibras também podem ser cruciais em relação às propriedades finais do compósito. No caso de materiais compósitos, quanto maior o alinhamento das fibras, maior será o seu grau de anisotropia (NASCIMENTO, 2023).

O alinhamento pode ser contínuo e alinhado, descontínuo e alinhado ou apenas descontínuo como mostrado nas Figuras 11 a, 11 b e 11 c. Os compósitos contínuos e unidirecionais são extremamente anisotrópicos, sendo de alta resistência e projetados para que o esforço ocorra na direção das fibras. Contudo, é possível que haja cargas na região transversal, que podem promover uma falha prematura, uma vez que a resistência na região transversal é muito baixa, a ponto de ser inferior ao limite de resistência à tração da matriz. Os fatores que favorecem a resistência longitudinal incluem as propriedades tanto da fibra como da matriz, da resistência da ligação fibra-matriz e a porosidade do compósito. Já em relação aos compósitos descontínuos e alinhados, têm-se um limite de resistência a tração próximo de 50 a 90% em relação aos seus análogos com fibras contínuas. Apesar desta redução, é uma conformação que vem sendo muito importante comercialmente, tendo ampla aplicação industrial através das fibras de vidro picadas, fibras de carbono e de aramida. Por fim, tem-se os compósitos formados a partir de fibras descontínuas e aleatórias. Neste caso, o reforço dessas fibras é proporcional com o aumento da fração volumétrica da fibra. Porém, verifica-se que a eficácia do reforço de fibras aleatórias e descontínuas é de apenas um quinto da eficiência de um compósito alinhado na direção longitudinal, com características predominantemente isotrópicas (CALLISTER; RETHWISCH, 2016).

**Figura 11:** Representações esquemática de compósitos reforçados com fibras (a) contínuas e alinhadas; (b) descontinuas e alinhadas; (c) descontinuas e orientadas aleatoriamente



Fonte: Callister et al, 2016.

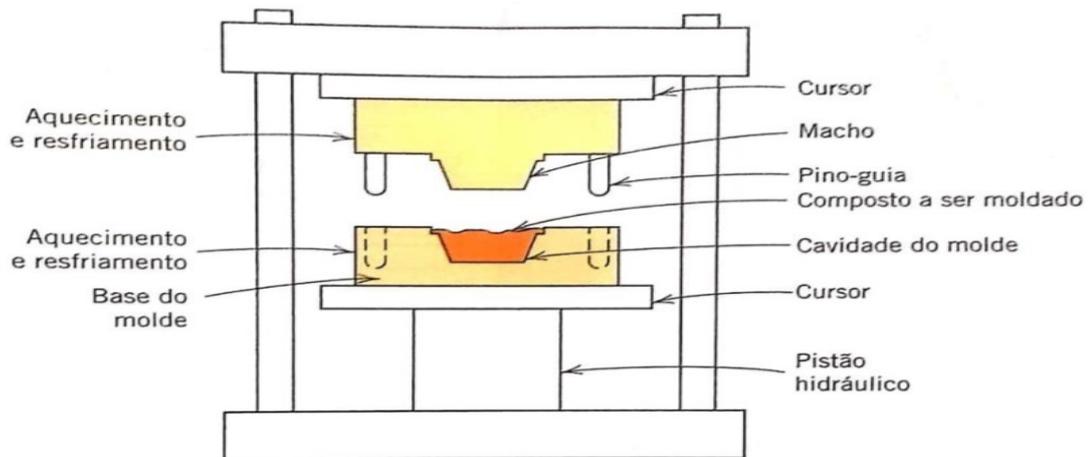
### 2.3.2 Compósitos Laminados

O processo de moldagem por compressão é uma derivação do processo de estampagem de chapas metálicas, podendo ser aplicado tanto em polímeros termoplásticos, como para termofixos. Esses compósitos são obtidos através do empilhamento de camadas intercaladas de reforço e da matriz na configuração de um filme ou pela introdução de híbridos reforço/polímero. Os polímeros termorrígidos são moldados pelo empilhamento de lâminas de pré-impregnados ou pela moldagem de pré-misturas de reforço e matriz (NETO; PARDINI, 2016).

O processo é iniciado através da disposição das camadas do material com a orientação desejada no molde, previamente tratado com produto desmoldante. O fechamento do molde se dá através da pelo abaixamento da punção superior, resultando na consolidação do material pela pressão aplicada. Por fim, o conjunto é submetido a ciclos programados de aquecimento sob pressão constante, para promover a cura do compósito, no caso de uma matriz termorrígida ou do amolecimento do material, no caso de uma matriz termoplástica. No caso das matrizes termorrígidas, tem-se ciclos mais longos em comparação com os compósitos obtidos de matrizes termoplásticas, devido a necessidade de uma maior exposição a elevadas temperaturas para a precedência do processo de cura. Em contrapartida, os ciclos envolvendo matrizes termoplásticas atuam em ciclos de processamento de 1 a 5 min, promovendo um alto

volume de produção. A espessura do material é definida através do número de camadas empilhadas (NETO; PARDINI, 2016). A Figura 12 ilustra os elementos da moldagem por compressão.

**Figura 12:** Estrutura de uma máquina de compressão térmica



**Fonte:** Callister et al, 2016.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 MATERIAIS

Dentre os materiais empregados para realização deste trabalho, destaca-se o coco verde, que foi no comércio local com a finalidade de promover a extração das fibras externas, que representam respectivamente as fibras contidas no epicarpo e no mesocarpo do fruto. Além disto, empregou-se o uso de dois polímeros distintos para o processamento do composto polimérico. Entre esses materiais, tem-se os plásticos proveniente de embalagens de limpeza, que foram obtidos através dos resíduos domésticos das embalagens e o PBAT (ecoflex), fornecido pela BASF.

#### 3.2 MÉTODOS

##### 3.2.1 Obtenção e preparo das fibras

Após obtidos, os cocos foram retalhados na intenção de propiciar a extração manual de suas fibras. Posteriormente, o material segregado foi transferido para uma solução de 100 mL de água sanitária:10 L de água. Por fim, o material fibroso foi disposto em bandejas, que

foram direcionadas para a secagem em estufa a uma temperatura de 40 °C em um período de 72 horas, conforme mostrado na Figura 13. Esta etapa é fundamental na prevenção de microrganismos, que eventualmente podem utilizar os resíduos das fibras do coco verde como fonte metabólica.

**Figura 13:** Secagem das fibras externas e internas.



**Fonte:** O Autor, 2024.

### **3.2.2 Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)**

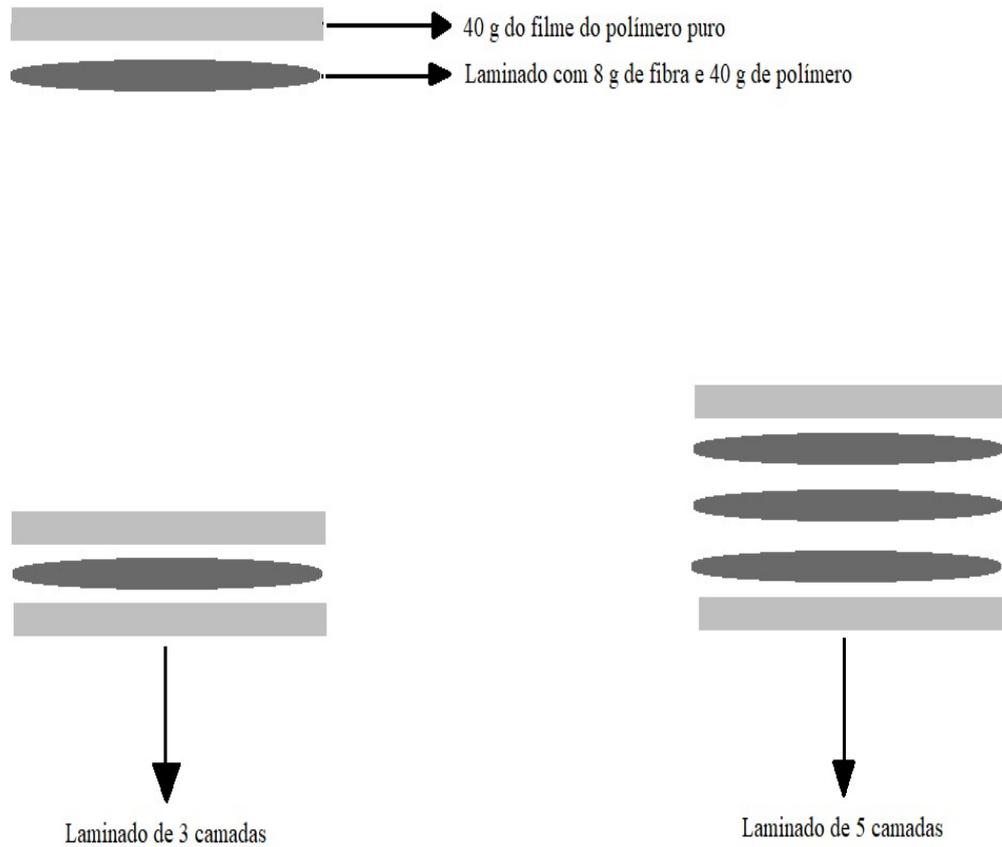
O FTIR foi realizado em um espectrômetro Spectrum 400 da Perkin Elmer, com o objetivo de contribuir com a identificação do polímero atribuído ao material plástico proveniente das embalagens recicladas. Para tal, foi empregado um filme de 40 g obtido através da laminação parcial dos pellets do polímero puro, que será discutida no tópico 3.2.3. Os espectros foram obtidos num intervalo de comprimento de onda de  $4000\text{ cm}^{-1}$  a  $650\text{ cm}^{-1}$ , com 16 varreduras por amostra e resolução de  $4\text{ cm}^{-1}$ .

### **3.2.3 Moldagem por compressão**

O processamento dos compósitos poliméricos procedeu-se através de um processo de laminação por duas etapas, conforme descrito por Callister et al (2016). A primeira etapa consistiu em um processo de laminação parcial, que se deu através da prensagem a quente dos pellets do polímero em conjunto com a fibra de coco, até a obtenção de um compósito laminado envolvendo os dois constituintes. Além disso, foi nesta etapa que ocorreu o processamento dos filmes dos polímeros puros, que foram obtidos através da prensagem a

quente dos pellets individualmente. Já a segunda etapa representou a laminação final dos compósitos, que correspondeu a sobreposição das camadas obtidas na etapa anterior através de uma nova prensagem a quente. Na Figura 14 é apresentado um esquema na qual é possível visualizar a configuração da sobreposição dos filmes e compósitos antes de serem submetidos a prensagem final.

**Figura 14:** Esquema da segunda etapa de laminação.



**Fonte:** O Autor, 2024.

As prensagens foram realizadas em um período de 3 a 5 minutos para cada etapa de laminação. Já a temperatura utilizada durante as prensagens variou conforme o polímero utilizado, sendo empregada uma temperatura de 135 °C durante o processamento dos compósitos com matriz de PBAT e 210 °C para os de PEAD. A Tabela 2 ilustra as formulações estudadas durante o projeto, que foram escolhidas com base nos tipos de fibra, polímero e camadas estudadas.

**Tabela 2:** Formulações empregadas para obtenção do compósito laminado

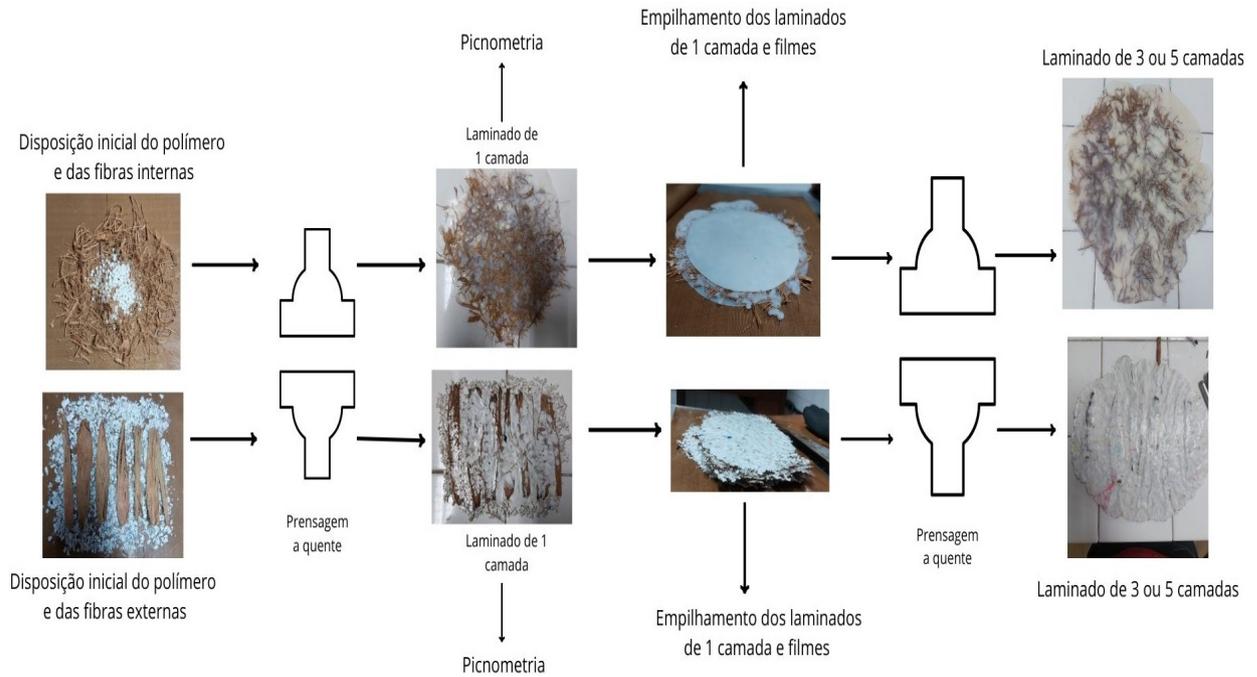
Formulação	Polímero	Número de Camadas	Tipo de Fibra	Proporção Polímero:Fibra
PBAT3C	PBAT	3	-----	120 g:0 g
PBAT5C	PBAT	5	-----	200 g:0 g
PBAT3C-A	PBAT	3	Interna	120 g:8 g
PBAT3C-O	PBAT	3	Externa	120 g:8 g
PBAT5C-A	PBAT	5	Interna	200 g:24 g
PBAT5C-O	PBAT	5	Externa	200 g:24 g
PEAD3C	PEAD	3	-----	120 g:0 g
PEAD5C	PEAD	5	-----	200 g:0 g
PEAD3C-A	PEAD	3	Interna	120 g:8 g
PEAD3C-O	PEAD	3	Externa	120g:8 g
PEAD5C-A	PEAD	5	Interna	200g:24 g
PEAD5C-O	PEAD	5	Externa	200g:24 g

**Fonte:** O Autor, 2024.

Na Figura 15, é apresentado um fluxograma de todo o processamento dos compósitos até a formação dos laminados de 3 ou 5 camadas, sendo possível observar as principais etapas do processamento das formulações dos compósitos laminados. Neste processamento, as primeiras etapas objetivaram a formação do laminado de 1 camada, sendo obtido através da prensagem primária do conjunto polímero/fibra. Após a formação do laminado de 1 camada,

parte do material seguiu para o ensaio de picnometria, e a outra parte foi empilhada sob camadas de laminados e de filmes do polímero puro. Por fim, o material empilhado foi direcionado a prensa, resultando na formação dos laminados de 3 ou 5 camadas.

**Figura 15:** Processamento dos compósitos laminados



**Fonte:** O Autor, 2024.

### 3.2.4 Densidade dos Laminados

A picnometria das amostras ocorreu com auxílio da norma ASTM D-854, que trata dos métodos para obtenção da densidade relativa de plásticos. Seguindo a metodologia estipulada nesta norma, as amostras foram previamente mantidas sob secagem em estufa a uma temperatura de 50 °C durante 24 horas. Além disso, a temperatura no momento do ensaio se manteve em 23 °C, conforme prescrito na norma.

O procedimento contou com 4 etapas, sendo a etapa inicial a determinação da massa do picnômetro vazio previamente limpo e seco. Posteriormente, as amostras foram segmentadas em pequenas unidades, direcionadas para o picnômetro vazio e pesadas. Em seguida, fez-se a adição de água até o transbordamento do conjunto, sendo feita uma nova pesagem do sistema preenchido. Por fim, a água e a amostra contidas no picnômetro foram descartadas e o picnômetro foi mantido sob agitação até o seu peso coincidir com seu peso inicial sem adição dos componentes. Após alcançar o seu peso seco, foi feita adição de água destilada até o

transbordamento na vidraria, onde a umidade externa excedente foi exaurida com o auxílio de um papel absorvente e o peso do sistema foi determinado.

As amostras analisadas incluem as fibras internas e externas do coco verde, os pellets do PBAT e do PEAD e os compósitos laminados entre os dois tipos de polímeros e de fibras obtidos através da laminação parcial discutida no tópico 3.2.3. Nas Figuras 16 e 17 é possível visualizar uma das etapas do procedimento de picnometria dos compósitos laminados.

**Figura 16:** Picnometria do compósito de PBAT

**Figura 17:** Picnometria do compósito de PEAD



**Fonte:** O Autor, 2024.

A densidade é uma propriedade intensiva obtida através da razão entre a massa e o volume do analito, conforme a Equação (1)

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

Adaptando-se a equação 1, conforme apontado por Sampaio et al (2007), tem-se o cálculo da densidade relativa a partir de um picnômetro, conforme a Equação (2)

$$\rho_s = \frac{A_2 - A_1}{(A_4 + A_2) - (A_1 + A_3)} \quad (2)$$

Sendo, A1 = Massa do Picnômetro, A2 = Massa do Picnômetro somado a massa da amostra, A3 = Massa do Picnômetro somado a massa da amostra e da água destilada, A4 = Massa do Picnômetro somado a massa da água destilada.

Nos compósitos, sabe-se que a densidade relativa pode ser calculada através da lei de misturas apontada por Neto e Pardini (2016) conforme a Equação (3)

$$\rho_c = \frac{Mc}{V_f + V_m + V_v} \quad (3)$$

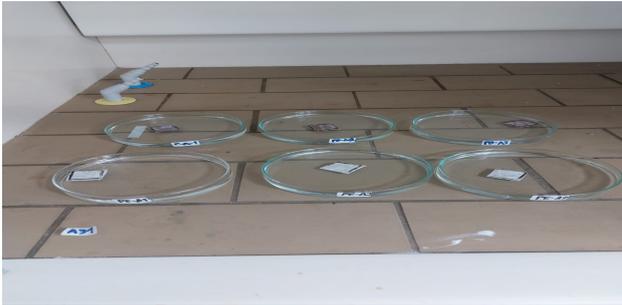
Esta equação pode ser reescrita considerando a massa e a densidade das fibras, conforme a Equação (4)

$$\rho_c = \frac{Mc}{\left[\left(\frac{M_f}{P_f}\right) + \left(\frac{M_m}{P_m}\right) + V_v\right]} \quad (4)$$

### 3.2.5 Ensaio de Absorção de Água

O ensaio foi promovido a partir de uma adaptação da norma ASTM D570, que aborda os métodos de teste padrão para o ensaio de absorção de água de plásticos. Sendo assim, os filmes e compósitos obtidos através da etapa de laminação final descrita no tópico 3.2.3 foram seccionados em triplicatas de dimensões 2,5 cm x 2,5 cm para cada formulação. O ensaio seguiu o método da imersão repetida, que consiste na realização de pesagens consecutivas do corpo de prova a partir de uma balança com precisão de 0,001 g por 120 minutos de imersão, havendo a realocação da água destilada seguida por pesagem após um período de 24 horas. Os respectivos tempos de pesagem foram de 0, 1, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 60, 120 e 1440 minutos. Os ensaios ocorreram em placas com 150 mL de água, havendo secagem da superfície dos corpos de prova após cada pesagem a partir de folhas de papel absorvente em um intervalo de tempo de 1 minuto.

A absorção de água das fibras foi determinada em béqueres, ocorrendo em 3 etapas. O primeiro passo consistiu na pesagem dos béqueres vazios e secos. Em seguida, foi feita a adição das fibras no interior dos béqueres, sendo feita uma nova pesagem do sistema, que posteriormente teve a adição de 150 mL de água destilada. Na terceira etapa, a medida em que o tempo de submersão supracitados prosseguem, é feita a retirada da água contida no béquer seguida por pesagem do sistema. Ao final, a quantidade de água destilada retirada é realocada para cada béquer até o tempo de submersão consecutivo. Nas Figuras 18 e 19 são apresentados os corpos de prova empregados durante as análises de absorção de água.

**Figura 18:** Absorção de água em compósitos**Figura 19:** Absorção de água em fibras

**Fonte:** O Autor, 2024.

### 3.2.6 Análise Termogravimétrica (TGA)

As análises de TGA foram realizadas através do equipamento TGA 1 Stare System da Mettler Toledo, conforme mostrado na Figura 20, com amostras de massa média de 12 mg empregando cadinhos de alumina como porta-amostra. A taxa de aquecimento foi de 10 °C/min e o fluxo de nitrogênio foi de 50 mL/min em um intervalo de aquecimento de 30 °C a 600 °C. Os dados foram tratados no software Origin Pro 8.5.

**Figura 20:** Equipamento para análises de TGA

**Fonte:** O Autor, 2024.

### 3.2.7 Ensaio de Resistência a Tração

Para avaliar o desempenho mecânico das formulações propostas, foram feitos os ensaios de tração, a partir de adaptações da norma ASTM D-638. O equipamento responsável pelas análises foi uma máquina universal de ensaios EMIC modelo DL2000, conforme

mostrado na Figura 21, com célula de carga 20 kN, acoplada ao software TESC EMIC ® versão 3.04.

Foram empregados 5 corpos de prova retangulares para cada formulação proposta cujas dimensões se mantiveram na faixa de 66 mm de comprimento ( $L_0$ ); 16 mm de largura (W) e espessura (T) variável conforme o número de camadas de laminados, variando de 2,5 a 5 mm. No entanto, considerando as variações decorrentes na seleção das amostras, essas medidas foram estipuladas individualmente para cada corpo de prova com o auxílio de um paquímetro digital da marca Zaas Precision. Ressalta-se que o ensaio foi promovido em condições de temperatura e umidade controladas.

**Figura 21:** Máquina universal de ensaios EMIC



**Fonte:** O Autor, 2024.

Na Figura 22 são exibidos os corpos de prova dimensionados e agrupados conforme a sua respectiva formulação

**Figura 22:** Corpos de prova ensaio de resistência a tração



**Fonte:** O Autor, 2024.

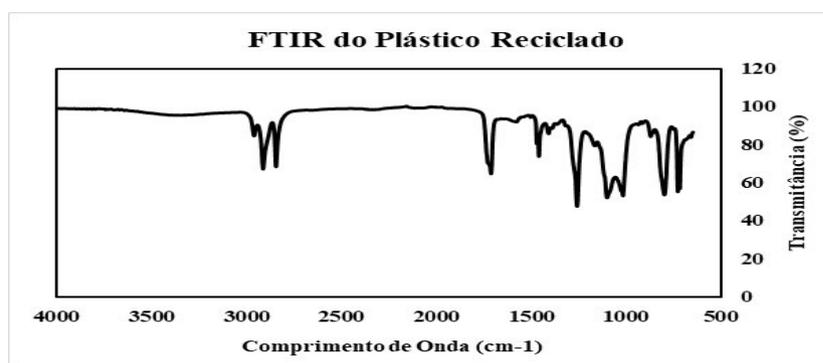
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 ANÁLISE FTIR DO PLÁSTICO RECICLADO

A Figura 23 apresenta os picos de transmitância com base na análise de espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier. É observada a existência de um pico na região de  $2916\text{ cm}^{-1}$ , que representa o estiramento assimétrico do CH<sub>2</sub> e um outro pico na faixa de  $2846\text{ cm}^{-1}$ , que aponta um estiramento simétrico do CH<sub>2</sub>. Ressalta-se que picos entre  $3000$  a  $2750\text{ cm}^{-1}$  são típicos do Polietileno de Alta Densidade (FARIAS, 2024). Adiante, é constatada a presença de vários outros picos, iniciando com um pico na faixa de  $1714\text{ cm}^{-1}$ , que indica uma ligação C = O, comum em cetonas, sendo um indicativo de oxidação e degradação do material, que está muito associada a polímeros reciclados (ARAÚJO *et al*, 2019). Já em  $1462\text{ cm}^{-1}$  é constatado um pequeno pico que indica a deformação angular do (CH<sub>2</sub>)<sub>n</sub>. Destaca-se também os picos de  $730$  e  $719\text{ cm}^{-1}$  ao final, que indicam respectivamente a presença de grupos etila e a deformação angular de cadeia.

Segundo Veerasingam et al (2020), os picos correspondentes ao polietileno são os de  $2915$ ,  $2845$ ,  $1472$ ,  $1462$ ,  $730$  e  $717\text{ cm}^{-1}$ , que estão de acordo com a Figura 23, sendo um bom indicativo da presença do polietileno de alta densidade na composição dos plásticos reciclados.

**Figura 23:** FTIR dos plásticos reciclados.



**Fonte:** O Autor, 2024.

### 4.2 ABSORÇÃO DE ÁGUA

No ensaio de absorção de água das fibras, tem-se uma tendência de um maior grau de absorção de água das fibras internas em relação as externas no coco verde, conforme mostrado na Tabela 3. Este evento pode estar relacionado com a maior concentração de

celulose presentes no epicarpo do coco verde, favorecendo a uma maior impermeabilidade da estrutura externa. Além disso, a fibra interna ocupa uma maior área superficial em relação a fibra externa, favorecendo uma maior transferência de massa entre a umidade contida no interior do béquer e os poros das fibras.

Já em relação ao compósito, verifica-se que os polímeros atuaram na diminuição expressiva dos valores de umidade absorvida, sendo excelentes impermeabilizantes. Este resultado é satisfatório, uma vez que a umidade afeta significativamente as fibras que por serem caracteristicamente hidrofílicas, tendem a sofrer reações de hidrólise e a inchar quando em contato com a umidade, provocando uma diminuição da interação interfacial com a matriz e conseqüentemente, diminuindo as propriedades mecânicas do compósito como o módulo de Young e a resistência a tração (DIAS *et al*, 2023). No entanto, foi observado que as formulações de PEAD obtiveram uma maior taxa de absorção de água em relação as de PBAT, uma vez que o PEAD trabalhado é oriundo de fontes distintas, desfavorecendo a uniformidade do polímero. Além disso, a partir da análise FTIR apresentada no tópico 4.1, é constatada a presença de picos de degradabilidade no PEAD trabalhado, e essa degradação favorece a uma maior taxa de absorção de água nessas formulações.

**Tabela 3:** Percentual de Umidade Absorvida das fibras e formulações de laminados.

Formulações	%Umidade Absorvida (1 min)	%Umidade Absorvida (30 min)	%Umidade Absorvida (60 min)	%Umidade Absorvida (120 min)	%Umidade Absorvida (1440 min)
Fibra Interna	285,00	309,03	293,52	338,44	334,55
Fibra Externa	78,35	145,66	156,71	170,57	213,37
PBAT3C	0,27	0,36	0,36	0,45	0,56
PBAT5C	0,53	0,59	0,57	0,66	0,83
PBAT3C-A	0,66	1,83	2,78	2,91	8,80
PBAT3C-O	1,04	1,89	1,81	2,39	5,24

PBAT5C-A	2,14	3,25	3,98	4,55	9,25
PBAT5C-O	3,15	5,08	6,41	6,71	11,00
PEAD3C	0,22	0,49	0,41	0,68	0,88
PEAD5C	0,70	0,88	1,17	0,96	1,13
PEAD3C-A	1,27	2,38	2,44	3,03	5,34
PEAD3C-O	4,94	9,33	10,11	11,34	16,99
PEAD5C-A	2,19	4,15	4,88	5,36	8,53
PEAD5C-O	3,97	8,17	9,03	9,87	13,61

**Fonte:** O Autor, 2024.

### 4.3 DENSIDADE RELATIVA

A determinação da densidade relativa das fibras internas e externas, foi feita conforme apontado na Tabela 4. Como a densidade relativa não é uma grandeza que leva em consideração o volume de vazios existente entre os grãos nem a porosidade do material, o resultado pode ser fortemente influenciado pela absorção de água das fibras. Como descrito no tópico 4.2, a absorção de água das fibras internas é superior às das fibras externas, resultando em uma densidade relativa superior por parte das fibras internas do coco verde.

**Tabela 4:** Densidade e desvio padrão médio das fibras do coco verde

Tipo de Fibra	Densidade Média	Desvio Padrão
Interna	0,6887	0,0714
Externa	0,5055	0,0312

**Fonte:** O Autor, 2024.

Na Tabela 5 é expressado o comparativo entre os valores teóricos obtidos através da Equação 4 e os valores experimentais obtidos através da picnometria. Para tal, ressalta-se que

o volume dos vazios é desprezado. Os resultados apontam a formação de compósitos de densidade intermediária entre a fibra e a matriz, sendo materiais de baixa densidade.

**Tabela 5:** Comparativo entre os valores experimentais e teóricos de densidade

Formulação	Densidade Teórica Média (g/cm <sup>3</sup> )	Densidade Experimental Média (g/cm <sup>3</sup> )	Desvio Padrão Amostral Experimental	Erro Percentual (%)
PBAT puro	1,260	1,231	0,005	2,320
PBAT 40g:8 g Fibra Interna	1,107	1,057	0,020	4,493
PBAT 40g:8 g Fibra Externa	1,009	1,007	0,058	0,190
PEAD puro	0,953	0,942	0,011	1,119
PEAD 40 g:8 g Fibra Interna	0,896	0,769	0,006	14,114
PEAD 40 g:8 g Fibra Externa	0,830	0,771	0,054	7,200

**Fonte:** O Autor, 2024

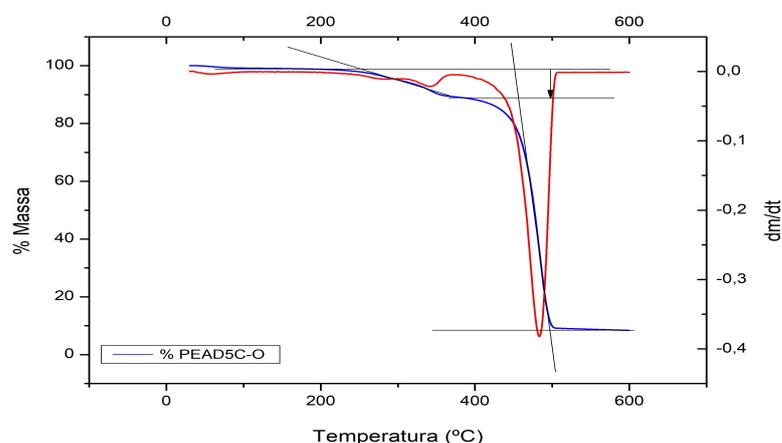
As formulações constituídas pela fibra interna apresentaram um erro percentual mais discrepante em relação as outras, que como já mencionado, pode ser uma influência de sua elevada porosidade, que influenciou a uma maior taxa de absorção de água, refletindo em uma discrepância entre os valores de densidade relativa. No entanto, comparando o efeito dos dois polímeros individualmente na formação do compósito, observou-se que houve um menor erro percentual por parte dos compósitos laminados de PBAT, o que pode significar uma maior impermeabilização em relação ao PEAD frente às fibras.

O resultado experimental de densidade da formulação de PEAD, corrobora ainda mais com a discussão do tópico 4.1, já que os valores de densidade se apresentaram muito próximos ao valor teórico do polietileno de alta densidade, além de contar com uma baixa variabilidade.

#### 4.4 TERMOGRAVIMETRIA (TGA)

Foi constatada a presença de três eventos térmicos nas formulações de compósito. O primeiro evento térmico ocorreu entre 30 a 100 °C e é proveniente da umidade residual presente nas fibras, em decorrência do seu elevado caráter hidrofílico. O segundo evento térmico ocorreu entre 220 e 350 °C e representa a decomposição das estruturas lignocelulósicas que constituem a fibra, como a hemicelulose, celulose e a lignina. A hemicelulose por possuir vários polissacarídeos como a glicose, manose e galactose possui uma temperatura de degradação mais baixa, se decompondo totalmente em até 260 °C. A celulose possui uma maior cristalinidade em relação a hemicelulose, tendo sua decomposição iniciada em 315 °C. Por fim, a lignina tem a maior resistência térmica entre as estruturas mencionadas, já que é constituída por muitos anéis aromáticos e ramificações, abrangendo uma faixa de 200 a 600 °C até sua decomposição total (SOARES, 2023). Por fim, tem-se o último evento térmico, a decomposição da matriz, que varia de acordo com o polímero empregado, conforme as temperaturas de T on set e de T end set. Nas formulações de PBAT, este evento térmico pode começar em até 351,59 °C e se estender até 455,97 °C. Já nas formulações de PEAD, tem-se uma maior estabilidade térmica, já que a sua decomposição só se inicia a partir de temperaturas de até 442,26 °C e prolongar até 496,44 °C, conforme apontado na Tabela 6. A Figura 24 apresenta as curvas de TGA e DTG da formulação PEAD5C-O, onde é possível ver claramente a ocorrência dos três eventos térmicos, bem como suas retas auxiliares para determinação do início e fim desses eventos. Ressalta-se que essas temperaturas foram obtidas conforme a ISO 11358 (2014).

**Figura 24:** Curvas de TGA e DTG da formulação PEAD5C-O



**Fonte:** O Autor, 2024.

**Tabela 6:** Temperaturas de decomposição das formulações

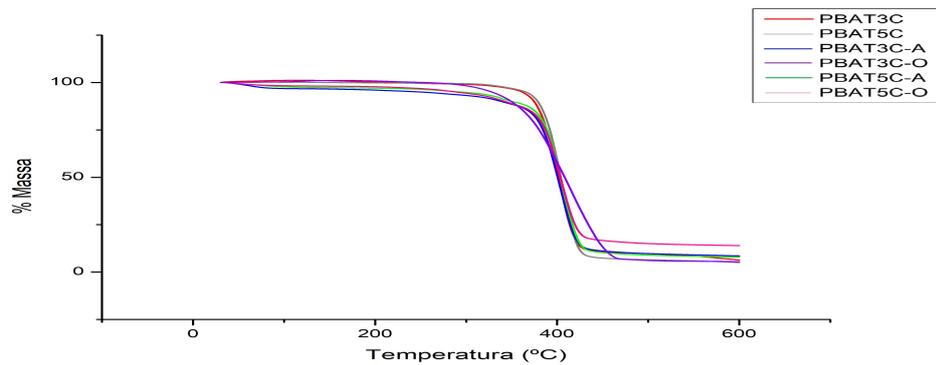
Formulação	Perda de Massa (%)	T on set (°C)	T end set (°C)	T de pico (°C)
PBAT3C	94,22	372,51	426,03	402,45
PBAT5C	94,60	381,54	423,35	408,97
PBAT3C-A	87,60	373,68	423,35	402,45
PBAT3C-O	94,93	351,60	455,97	416,83
PBAT5C-A	89,78	376,35	427,20	405,12
PBAT5C-O	84,07	372,51	424,69	405,12
PEAD3C	100	444,26	488,58	475,54
PEAD5C	61,44	442,92	491,26	475,54
PEAD3C-A	97,21	453,92	492,60	479,55
PEAD3C-O	93,92	442,92	491,26	474,20
PEAD5C-A	96,87	450,78	496,44	482,62
PEAD5C-O	80,39	455,97	496,44	483,40

**Fonte:** O Autor, 2024.

Em relação a influência das fibras na decomposição do material, não foi verificada alterações quanto à estabilidade térmica dos polímeros, uma vez que as temperaturas de início da degradação foram muito próximas.

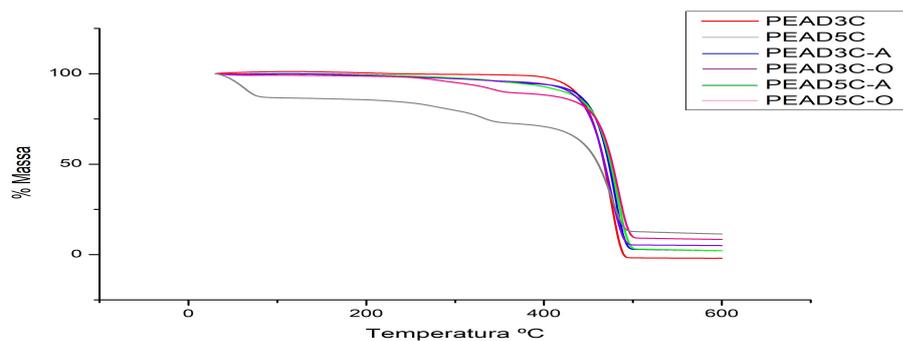
De acordo com Araujo et al (2019), a adição das fibras em materiais compósitos torna-os menos estáveis termicamente, já que a degradação da fibra acontece antes do polímero, sendo assim, há uma menor temperatura de degradação e maior a perda de massa no estágio de decomposição. No entanto, não foi possível estabelecer uma relação dentro das formulações propostas, uma vez que os compósitos foram obtidos a partir do processamento das fibras in natura. Portanto, os corpos de prova empregados no ensaio de TGA não eram representativos, uma vez que não detinham uma proporção de fibra e matriz fixa, induzindo a inexistência de uma tendência bem definida entre os resultados. As Figuras 25 e 26 apresentam a curva de TGA das formulações propostas.

**Figura 25:** Curva de TGA das formulações de PBAT



**Fonte:** O Autor, 2024

**Figura 26:** Curva de TGA das formulações de PEAD



**Fonte:** O Autor, 2024.

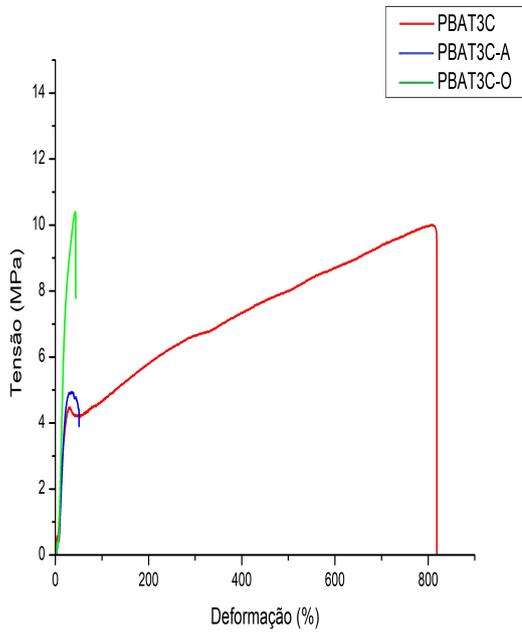
#### 4.5 RESISTÊNCIA A TRAÇÃO

A partir dos resultados obtidos através do ensaio de resistência a tração. É constatado que houve um menor alongamento de ruptura e maiores módulos de Young e Tensão máxima, das formulações de PEAD em relação aos de PBAT. Isso aponta que o PEAD é um polímero de elevada rigidez e cristalinidade, enquanto que o PBAT tem uma alta mobilidade e elasticidade em suas cadeias poliméricas.

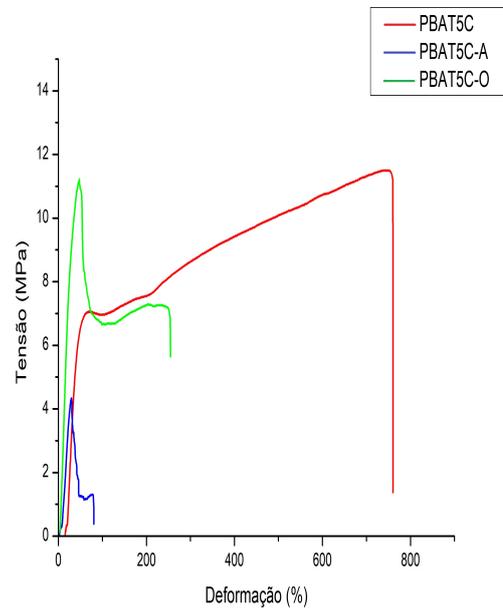
Em relação a variação das propriedades pela adição das fibras, foi observado uma queda no módulo de Young, Tensão máxima e alongação de ruptura nos compósitos formulados pelas fibras internas do coco quando comparados aos polímeros puros. Isso ocorre, pois a orientação dessas fibras é aleatória, estando mais suscetível ao rompimento quando aplicada uma tensão no seu campo amostral, criando pontos frágeis nos corpos de prova, rompendo antes da matriz e conseqüentemente reduzindo suas propriedades quando comparado aos polímeros puros. No entanto, a adição das fibras externas promoveu resultados satisfatórios, já que apresentou os maiores valores de módulo de Young, tensão máxima e uma redução esperada da alongação de ruptura do compósito. Essas melhores propriedades confirmam o elevado grau anisotrópico presente nas fibras externas em função de sua orientação, aumentando a rigidez do material. Neste caso, o polímero transfere a tensão para o reforço mais rígido, que por ancoramento mecânico restringe a mobilidade da cadeia polimérica (SOARES, 2023).

Quanto ao número de camadas, observou-se um aumento da alongação de ruptura e uma redução no módulo de Young e na tensão máxima das formulações de 5 camadas quando comparadas às amostras análogas de 3 camadas. Isso pode representar uma menor interação interfacial entre a fibra e a matriz devido a saturação induzida pelo aumento da concentração de fibras nos compósitos de 5 camadas. Nas Figuras 27 a 30 são explicitados os efeitos mencionados através das curvas de tensão x deformação das formulações.

**Figura 27:** Gráfico Tensão x Deformação PBAT3C

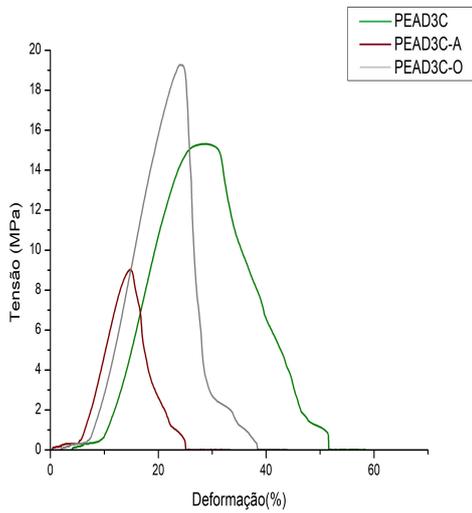


**Figura 28:** Gráfico Tensão x Deformação PBAT5C

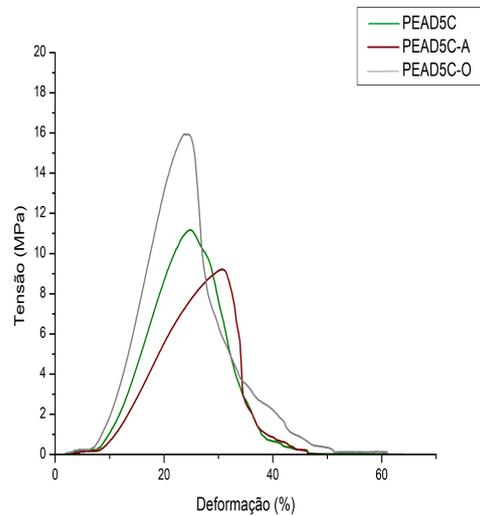


Fonte: O Autor

**Figura 29:** Gráfico Tensão x Deformação PEAD3C



**Figura 30:** Gráfico Tensão x Deformação PEAD5C



Fonte: O Autor, 2024.

Na Tabela 7, consta uma variabilidade significativa entre os desvios padrão amostrais, que podem se dar por inúmeros motivos, como pequenas diferenças nas dimensões dos corpos de prova, erros na leitura de ruptura e no posicionamento inadequado das amostras na garra de tensão. Entretanto, o desvio padrão apresentado principalmente nas formulações de PBAT

puro e do PBAT com a fibra externa é muito superior as outras formulações, já que os valores de alongação deste polímero são elevados, intensificando o desvio relativo as causas de variabilidade apresentadas.

**Tabela 7:** Propriedades mecânicas das formulações.

Formulações	Módulo de Young (MPa)	Tensão Máxima (MPa)	Elongação na Ruptura (%)
PBAT3C	29,87 ± 5,02	11,22 ± 3,28	810,53 ± 308,93
PBAT5C	27,57 ± 3,96	12,47 ± 3,15	827,38 ± 364,10
PBAT3C-A	31,41 ± 2,47	5,056 ± 0,71	58,74 ± 10,66
PBAT3C-O	56,82 ± 10,68	9,78 ± 1,97	186,87 ± 101,61
PBAT5C-A	16,72 ± 3,83	3,80 ± 0,64	83,27 ± 29,28
PBAT5C-O	54,11 ± 8,43	12,42 ± 1,02	322,02 ± 298,61
PEAD3C	88,99 ± 33,37	14,69 ± 2,77	57,91 ± 22,24
PEAD5C	66,79 ± 10,96	11,70 ± 2,19	53,82 ± 12,83
PEAD3C-A	93,09 ± 8,11	10,95 ± 3,61	53,61 ± 24,58
PEAD3C-O	111,75 ± 15,65	17,84 ± 2,65	50,07 ± 36,42
PEAD5C-A	43,28 ± 5,05	8,48 ± 1,45	58,10 ± 30,60
PEAD5C-O	79,61 ± 15,86	16,10 ± 1,25	72,68 ± 29,75

**Fonte:** O Autor, 2024.

## 5 CONCLUSÃO

Neste projeto foi possível realizar o processamento de várias formulações de compósitos poliméricos de características distintas a partir das fibras do coco verde. Para verificar a eficácia destas formulações, foram promovidos ensaios que objetivaram realizar uma estimativa da estabilidade mecânica, térmica e absorptiva desses materiais, bem como de realizar um comparativo entre as amostras propostas.

A partir das avaliações realizadas, foi perceptível que as formulações envolvendo as fibras externas obtiveram melhores resultados, uma vez que é um tipo de fibra mais leve e possui uma elevada anisotropia, já que são estruturas orientadas, tornando-as mais resistentes a tração quando comparadas as fibras internas, que são caracteristicamente aleatórias. Já em relação a matriz, verificou-se que ambos os polímeros promoveram a diminuição da taxa de absorção de água das fibras de 334,55% até 16,99% em 24 h, e apresentaram resultados satisfatórios quanto a densidade relativa nas formulações, que se apresentaram próximas de 1 g/cm<sup>3</sup>. No entanto, as formulações oriundas dos plásticos reciclados apresentaram uma maior estabilidade térmica, uma vez que a degradação das formulações com este polímero se iniciou em 475,54 °C em relação ao PBAT que se procedeu em torno de 405,12 °C. Além disso obtiveram maiores módulos de elasticidade e de tensão máxima. Por outro lado, apesar do PBAT ser um plástico de custo oneroso, é um material biodegradável que possui um elevado alongamento na ruptura, diferentemente do PEAD que é caracteristicamente cristalino. Portanto, a escolha da matriz dependerá da aplicação para o qual material será designado.

Comparando os efeitos do aumento do número de camadas no compósito laminado, é constatada uma redução nas propriedades estipuladas, uma vez que o aumento do número de camadas incrementa a área superficial da estrutura, amplificando a taxa de absorção de água do material em cerca de 4%. Além disso, o incremento do número de camadas favorece a um aumento da proporção da fibra em relação a matriz, induzindo a uma saturação do sistema, reduzindo a interação interfacial do reforço com a matriz e resultando respectivamente na diminuição do módulo de Young e da tensão máxima do material em até 79,61 MPa e 16,10 MPa em relação as formulações de 3 camadas. Sendo assim, tem-se um favorecimento das formulações de 3 camadas, que podem alcançar um módulo de Young de até 111,75 MPa e uma tensão máxima de até 17,84 MPa, uma vez que estas detêm melhores propriedades aliada a um menor gasto de material e de energia durante o processamento dos compósitos laminados.

Para a continuidade deste projeto, é essencial a promoção de outros ensaios no intuito de verificar outras propriedades das formulações empregadas, tais como tensão superficial, morfologia, cristalinidade e resistência ao impacto. Por fim, a partir da determinação dessas propriedades, será possível realizar o estudo de uma aplicação final para esses materiais.

## REFERÊNCIAS

ABDULLAH, N. A.; RANI, M. S. A.; KADIR, N. H. A.; SAINORUDIN, M. H.; MOHAMMAD, M.; ASIM, N. Structure and thermal properties of microcrystalline cellulose extracted from coconut husk fiber. **Polimery**, Malaysia, ano 2021, v. 66, n. 3, p. 187-192, 3 abr. 2021. DOI [dx.doi.org/10.14314/poli\\_mer\\_y.2021.3.4](https://doi.org/10.14314/poli_mer_y.2021.3.4). Disponível em: <https://ichp.vot.pl/index.php/p/article/view/469/466>. Acesso em: 20 maio 2024.

ABNT NBR 13230 – Embalagens e acondicionamentos plásticos recicláveis – identificação e simbologia; Disponível em: <https://www.target.com.br/produtos/normas-tecnicas/40184/nbr13230-embalagens-e-acondicionamento-plasticos-reciclaveis-identificacao-e-simbologia>. Acesso em: 09/08/2024.

ALVES, Lilian. **Estudos da microestrutura e caracterização de pastas cimentícias com adição de fibras de celulose oriundas do papel kraft**. 2023. 160 p. Tese (Doutorado em estruturas e construção cívil) - Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2023. Disponível em: [http://www.realp.unb.br/jspui/bitstream/10482/48862/1/LilianDeSousaAlves\\_TESE.pdf](http://www.realp.unb.br/jspui/bitstream/10482/48862/1/LilianDeSousaAlves_TESE.pdf). Acesso em: 9 ago. 2024.

ANDRADE, A. T. L. de.; FILHO, J. P. da. S.; MORAIS, E. F. de. **Alternativas de reuso e reciclagem de fibra de coco como estratégia de gestão ambiental dos resíduos sólidos da cocoicultura e agroindústria do coco**. **Anais I CONIMAS e III CONIDIS**. Campina Grande: Realize Editora, 2019. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/63116>. Acesso em: 20/05/2024

ARAÚJO, C; SAMPAIO, M. Obtenção e caracterização de compósitos de polietileno de alta densidade (PEAD) com fibra de coco. **The journal of Engineering and Exact Sciences**, Rio de Janeiro, ano 2020, v. 6, n. 5, p. 1-7, 12 dez. 2024. DOI 10.18540/jcecvl6iss5pp0688-0694. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/348426792\\_Obtencao\\_e\\_caracterizacao\\_de\\_compositos\\_de\\_polietileno\\_de\\_alta\\_densidade\\_PEAD\\_com\\_fibra\\_de\\_coco](https://www.researchgate.net/publication/348426792_Obtencao_e_caracterizacao_de_compositos_de_polietileno_de_alta_densidade_PEAD_com_fibra_de_coco). Acesso em: 9 ago. 2024.

ARRUDA, S. A. **Estudo do processo de cristalização do biocompósito Poli(Adipato de Butileno co-Tereftalato)(PBAT)/Fibra de Coco**. 2022. 109 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2022.

ASTM D570 - American Society for Testing and Materials. Standard Test Method for Water Absorption of Plastics; Disponível em: <https://www.astm.org/standards/d570>. Acesso em: 09/08/2024.

ASTM D638 - American Society for Testing and Materials. Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics; Disponível em: <https://www.astm.org/standards/d638>. Acesso em: 09/08/2024

ASTM D854 - American Society for Testing and Materials. Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by the Water Displacement Method; Disponível em: <https://www.astm.org/standards/d854>. Acesso em: 09/08/2024

BEZERRA, I. Q. M. **Utilização de fibra de coco babaçu (Orbignia, sp) como componente de biomanta na proteção de taludes de solo**. 2022. 99 p. Tese (Doutorado em Tecnologia Nuclear) - Instituto de Ciências Energéticas e Nucleares, IPEN-CNEN, São Paulo, 2022. Disponível em: <http://repositorio.ipen.br/>. Acesso em: 20 maio 2024.

BONAMONE, M. de B.; GONÇALVES, M. F. S.; LIMA, C. V. H; BARBOSA, F. B. M. H. Logística reversa do resíduo de Coco Verde - uma abordagem sobre possibilidades de reaproveitamento. **Logística e Operações Globais Sustentáveis**, São Paulo, ano 2019, v. 1, n. 1, p. 198-220, 19 mar. 2019. DOI: 10.5935/2674-7928/LOGS.v1n1p198-220. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/335434088\\_LOGISTICA\\_REVERSA\\_DO\\_RESIDUO\\_DE\\_COCO\\_VERDE\\_UMA\\_ABORDAGEM\\_SOBRE\\_POSSIBILIDADES\\_DE\\_REAPROVEITAMENTO](https://www.researchgate.net/publication/335434088_LOGISTICA_REVERSA_DO_RESIDUO_DE_COCO_VERDE_UMA_ABORDAGEM_SOBRE_POSSIBILIDADES_DE_REAPROVEITAMENTO). Acesso em: 20 maio 2024.

CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e tecnologia de materiais: uma introdução**. 9. ed.rev. Rio de Janeiro: GEN, 2016. 1014 p. v. 1. ISBN 978-85-216-3236-8.

CANDIDO, F. L. **Uso de Fibra de Coco na compostagem: Um estudo de revisão**. 2023. 47 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Química Industrial) - Instituto Federal do Espírito Santo, [S. l.], 2023. Disponível em: <https://repositorio.ifes.edu.br/bitstream/handle/123456789/4483/TCC%20-%20REPOSIT%3%93RIO%20%20FRANCIELY%20LOMBARDI%20CANDIDO.pdf?sequence=4&isAllowed=y>. Acesso em: 20 maio 2024.

CARDOSO, M. S.; GONÇALEZ, J. C. Aproveitamento da casca do Coco Verde (Cocos Nucifera L.) para produção de polpa celulósica. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, ano 2016, v. 26, n. 1, p. 321-330, mar. 2016. DOI 10.5902/1980509821126. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cflo/a/D3ZKqf8yW3YTpLyLbHdr9FP/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 20 maio 2024.

COFERRI, Patrícia. **Estratégias de modificação no desenvolvimento de filmes biodegradáveis a base de proteína isolada de soja**. 2020. 111 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia em Ciência e tecnologia dos materiais) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2020. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/210706>. Acesso em: 9 ago. 2024.

DIAS, B. Z.; ALVAREZ, C. E. de; MENEGHETTI, L. C.; LARA, A. H. Compósitos termorrígidos vegetais: absorção de água e retenção das propriedades mecânicas após intemperismo. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 24, e127325, jan./dez. 2024. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212024000100708>.

FAOSTAT. FAO statistical databases. Food and Agric. Organ. of the United Nations. Crops and livestock product – Coconut, and shells, 2020. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Acesso em: 28 set. 2022.

FARIA, Érica; SILVA, Gabriela; FANTONI, João. **Caracterização e reciclagem de carretéis plásticos de indústria de circuitos eletrônicos**. 2024. 56 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso técnico de tecnologia de polímeros) - Faculdade de Tecnologia de Mauá, Mauá, 2024. Disponível em: [https://ric.cps.sp.gov.br/bitstream/123456789/21082/3/polimeros\\_2024\\_1\\_ERICA\\_Aparecida\\_de\\_faria\\_caracterizacao\\_e\\_reciclagem\\_de\\_carreteis\\_plasticos\\_de\\_industria\\_de\\_circuitos\\_eletronicos.pdf](https://ric.cps.sp.gov.br/bitstream/123456789/21082/3/polimeros_2024_1_ERICA_Aparecida_de_faria_caracterizacao_e_reciclagem_de_carreteis_plasticos_de_industria_de_circuitos_eletronicos.pdf). Acesso em: 9 ago. 2024.

FARIAS, Thaís. **Estudo de reciclados plásticos e compósitos de matriz polimérica reciclada: Análise de propriedades e custos**. 2024. 95 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Materiais) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/56285/4/TCC%20Tha%C3%ADs%20Angelo%20de%20Farias.pdf>. Acesso em: 9 ago. 2024.

GADHAVE, R. V. I; DHAWALE, P. V. (2022) State of Research and Trends in the Development of Polyvinyl Acetate-Based Wood Adhesive. **Open Journal of Polymer Chemistry**, 12, 13-42. <https://doi.org/10.4236/ojchem.2022.121002>.

GIMENES, Bárbara. **Estudo do potencial de reuso de aparas oriundas do processamento de malhas de sombreamento baseadas em polietileno**. 2024. 75 p. Dissertação (Mestrado em ciência e engenharia de materiais) - Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, MG, 2024. Disponível em: [http://bdtd.unifal-mg.edu.br:8080/bitstream/tede/2422/2/Dissertacao\\_B%C3%A1rbaraLavouraD%C3%ADzeroGimenes\\_2024\\_PPGCEM.pdf](http://bdtd.unifal-mg.edu.br:8080/bitstream/tede/2422/2/Dissertacao_B%C3%A1rbaraLavouraD%C3%ADzeroGimenes_2024_PPGCEM.pdf). Acesso em: 9 ago. 2024.

GOMES, A. S. da. C. **Estudo da viabilidade do pêlo do cão Serra da Estrela para produção de compósitos verdes**. 2023. 99 p. Dissertação (Mestrado em Química Industrial) - Universidade da Beira Interior, Portugal, 2023. Disponível em: [https://ubibliorum.ubi.pt/bitstream/10400.6/14070/1/10018\\_23242.pdf](https://ubibliorum.ubi.pt/bitstream/10400.6/14070/1/10018_23242.pdf). Acesso em: 20 maio 2024.

GRYEZAK, Marcelo. **Estudo do uso de polietileno de baixa densidade reciclado na mitigação dos impactos ambientais gerados pela drenagem ácida provenientes da mineração de carvão do Sul de Santa Catarina**. 2020. 123 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/216165>. Acesso em: 9 ago. 2024.

ISLAM, M. Z., SARKER, M. E., RAHMAN, M. M., ISLAM, M. R., AHMED, A. T. M. F., MAHMUD, M. S., & SYDUZZAMAN, M. (2022). Green composites from natural fibers and biopolymers: A review on processing, properties, and applications. **Journal of Reinforced Plastics and Composites**, 41(13–14), 526–557. <https://doi.org/10.1177/07316844211058708>.

JESUS, A. R.; ALVES, D. F.; LIMA, R. A.; OLIVEIRA, A. T. **Procedimentos de manejo dos resíduos do coco verde: um estudo de caso na usina de triagem de resíduos sólidos do município de pinheiros - ES.** 2021. Trabalho de Conclusão de Curso Disponível em: [https://repositorio.ifes.edu.br/bitstream/handle/123456789/2408/TCC%20\\_%20PROCEDIMENTOS%20DE%20MANEJO%20DOS%20RES%20C3%84%20DUOS%20DO%20COCO%20VERDE%20\\_%20PINHEIROS%20\\_%20ES.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ifes.edu.br/bitstream/handle/123456789/2408/TCC%20_%20PROCEDIMENTOS%20DE%20MANEJO%20DOS%20RES%20C3%84%20DUOS%20DO%20COCO%20VERDE%20_%20PINHEIROS%20_%20ES.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acesso em 13 de julho de 2024

KELLER, Fernanda. **Estudo da funcionalização do polietileno de alta densidade com Ácido Itacônico.** 2024. 51 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Materiais) - Universidade Federal Do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2024. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/274506>. Acesso em: 9 ago. 2024.

L. Averous, N. Boquillon, Biocomposites based on plasticized starch: thermal and mechanical behaviours, Carbohydrate Polymers, Volume 56, Issue 2, 2004, Pages 111-122, ISSN 0144-8617, <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2003.11.015>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861704000517>).

LIMA, U. T. G. M. **Uso da fibra do resíduo de Coco Verde na produção de tijolos ecológicos.** 2020. 87 p. Dissertação (Mestrado em gestão ambiental) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, Recife, PE, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ifpe.edu.br/xmlui/handle/123456789/107?show=full>. Acesso em: 20 maio 2024.

MARAFON, A. C.; NUNES, M. U. C.; AMARAL, A. F. C.; SANTOS, J. P. dos. **Aproveitamento de cascas de coco para geração de energia térmica: potencialidades e desafios.** Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2019.

NOBREGA, M.; OLIVATO, J.; MULLER, C.; YAMASHITA, F. (2012). Biodegradable Starch-Based Films Containing Saturated Fatty Acids: Thermal, Infrared And Raman Spectroscopic Characterization. **Polimeros-Ciencia E Tecnologia.** 22. 475-480. 10.1590/s0104-14282012005000068.

MARTINEZ, R. A. **Processamento de placas à base de Policaprolactona para a aplicação em órteses.** 2023. 91 p. Dissertação (Mestrado em Bioengenharia) - Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2023. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/82/82131/tde-05102023-141636/publico/DissertRodrigoMartinezCorrigida.pdf>. Acesso em: 21 maio 2024.

MATTOS, A. L. A.; ROSA, M. de F.; CRISÓSTOMO, L. A.; BEZERRA, F. C.; CORREIA, D.; VERAS, L. de G. C. Beneficiamento da casca de Coco Verde. **Embrapa: Agropecuária Tropical**, [s.l.], ano 2019, p. 1-38, 2019. Disponível em: [https://www.academia.edu/22722775/BENEFICIAMENTO\\_DA\\_CASCA\\_DE\\_COCO\\_VERDE](https://www.academia.edu/22722775/BENEFICIAMENTO_DA_CASCA_DE_COCO_VERDE). Acesso em: 20 maio 2024.

MEDEIROS, M. S. de. **Determinação da difusividade térmica e descrição da transferência de calor durante o processo de pasteurização da polpa do coco verde.**

2020. 118 p. Tese (Doutorado em engenharia agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2020. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/bitstream/handle/riufcg/22757/MATHEUS%20SERRANO%20DE%20MEDEIROS%20%E2%80%93%20TESE%20%28PPGEA%29%202020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 20 maio 2024.

MELGES, F. C. **Avaliação da autorreparação e proteção contra corrosão de aço carbono por revestimento epóxi com plasticidade reversa aditivado com microesferas de Policaprolactona**. 2022. 156 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3137/tde-21092022-105405/publico/FernandoCozimMelgesCorr22.pdf>. Acesso em: 21 maio 2024.

NASCIMENTO, A. C. de. A. **Nanocompósitos na forma de fibras poliméricas à base de Policaprolactona com Hidrotalcita imobilizada para a adsorção de Ácido Clorogênico**. 2023. 91 p. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal de São Carlos, SP, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/18953/Disserta%C3%A7%C3%A3o-Andressa-Cristina-De-Almeida-Nascimento.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 21 maio 2024.

NASCIMENTO, M. J. R. do. **Avaliação em compósitos poliméricos reforçados com tecido híbrido vidro/carbono: influência da orientação +- 45º**. 2023. 65 p. Monografia (Bacharel em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal Rural do Semiárido, Caraúbas, RN, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/server/api/core/bitstreams/f2932351-4ed2-48f2-979c-ea2eb789fec3/content>. Acesso em: 21 maio 2024.

NETO, F. L.; PARDINI, L. C. **Compósitos estruturais: ciência e tecnologia**. 2. ed. rev. São Paulo: Blucher, 2016. 418 p. v. 1. ISBN 978-85-212-1079-5.

NETO, W. S. **Nanodispersões de Poli (Acetato de Vinila) com propriedades magnéticas visando aplicações biomédicas: síntese e avaliação in vitro de sua citotoxicidade em células cancerígenas**. 2019. 119 p. Tese (Doutorado em Química) - Universidade de Brasília, Brasília, 2019. Disponível em: [http://www.rlbea.unb.br/jspui/bitstream/10482/47404/1/2019\\_WeslanySilv%C3%A9rioNeto.pdf](http://www.rlbea.unb.br/jspui/bitstream/10482/47404/1/2019_WeslanySilv%C3%A9rioNeto.pdf). Acesso em: 20 maio 2024.

OLIVEIRA, M. C. de. **Concentração espacial da produção do coco verde no estado do Rio de Janeiro**. 2022. 30 p. Dissertação (Mestrado em Economia Regional e Desenvolvimento) - Universidade Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2022. Disponível em: <https://rima.ufrj.br/jspui/bitstream/20.500.14407/12101/3/2022%20-%20Mauro%20Cesar%20de%20Oliveira.Pdf>. Acesso em: 20 maio 2024.

PANTOJA, Mayane Andrade; RODRIGUES, Natalia de Paula. **Carbono do solo e indicadores microbiológicos após adubação com fibra de coco em plantio de coqueiro (cocos nucifera L.) na Amazônia Oriental**. 2024.

PEREIRA, I. M. de. S.; MORAES, Y. B. L. de. **Uso da Fibra de Coco verde na produção do tijolo de adobe na alvenaria de vedação em um conjunto habitacional de interesse social e sustentável.** 2023. 12 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Pernambuco, Recife, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ifpe.edu.br/xmlui/handle/123456789/1112?show=full>. Acesso em: 20 maio 2024.

PINHO, Raphael. **Distribuição espaço-temporal e avaliação da autocorrelação espacial pelo índice de Moran da Broca-da-Coroa-Foliar *Eupalamides cyparissias* (Cramer, 1775) (Lepidoptera:Castiniidae) em plantio de coqueiro (*Cocos nucifera* L.) na Amazônia Brasileira.** 2023. 68 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2023. Disponível em: [https://repositorio.ufra.edu.br/jspui/bitstream/123456789/1966/1/Distribui%20espa%20temporal%20e%20avalia%20da%20autocorrela%20espacial%20pelo%20%c3%adndice%20de%20moran%20da%20broca-da-coroa-foliar%20Eupalamides%20cyparissias%20\(Cramer,%201775\)%20\(Lepidoptera%20Castiniidae\)%20em%20plantio%20de%20coqueiro%20\(Cocos%20nucifera.pdf](https://repositorio.ufra.edu.br/jspui/bitstream/123456789/1966/1/Distribui%20espa%20temporal%20e%20avalia%20da%20autocorrela%20espacial%20pelo%20%c3%adndice%20de%20moran%20da%20broca-da-coroa-foliar%20Eupalamides%20cyparissias%20(Cramer,%201775)%20(Lepidoptera%20Castiniidae)%20em%20plantio%20de%20coqueiro%20(Cocos%20nucifera.pdf). Acesso em: 9 ago. 2024.

PIRES, Marília. **Estudo da produção de biopolímeros polihidroxialcanoatos por bactérias isoladas do inseto-praga *Diabrotica speciosa*.** 2023. 111 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade Federal de São Carlos, SP, 2023. Disponível em: [https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/18586/Tese\\_Marilia\\_Silva\\_Pires.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/18586/Tese_Marilia_Silva_Pires.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acesso em: 9 ago. 2024.

RÉGIS, Rayssa. **Produção de Enzimas Celulolíticas pelo fungo *Achaetomium lippiae* e sua aplicação na degradação da fibra de coco verde.** 2023. 67 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/52550/4/TCC%20Rayssa%20Falc%C3%A3o%20Lima%20R%C3%A9gis.pdf>. Acesso em: 9 ago. 2024.

RODRIGUES, T. Z. **Polpa de Coco Verde (*Cocos nucifera* Linn) no desenvolvimento de alimentos: uma revisão integrativa.** 2022. 36 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Gastronomia) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/25570/1/TZR15122022.pdf>. Acesso em: 20 maio 2024.

ROMEIRO, Thália. **Quantificação da degradação em fachadas com revestimento em argamassa e pintura - estudo de caso em Brasília-DF.** 2023. 127 p. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) - Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2023. Disponível em: [http://www.rlbea.unb.br/jspui/bitstream/10482/48884/1/ThaliaRaellyDeLimaMenesesRomeiro\\_DISSERT.pdf](http://www.rlbea.unb.br/jspui/bitstream/10482/48884/1/ThaliaRaellyDeLimaMenesesRomeiro_DISSERT.pdf). Acesso em: 9 ago. 2024.

SAMPAIO, I. S. **Desenvolvimento de um não tecido à base de Fibra Kapop e Poliacetato de Vinila**. 2023. 66 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Textil) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2023. Disponível em: [https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/57576/1/Desenvolvementonaotecidobase\\_Sampaio\\_2023.pdf](https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/57576/1/Desenvolvementonaotecidobase_Sampaio_2023.pdf). Acesso em: 20 maio 2024.

SANTOS, A. S. dos.; SANTOS, R. da. S. dos. **Aproveitamento total do coco babaçu**. 2022. 38 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Ciências Biológicas) - Universidade Federal do Tocantins, Araguatins, 2022. Disponível em: <https://umbu.uft.edu.br/bitstream/11612/6354/1/ADRIANA%20SIQUEIRA%20DOS%20SANTOS%20E%20RENATO%20DA%20SILVA%20DOS%20SANTOS-TCC-BIOLOGIA.pdf>. Acesso em: 20 maio 2024.

SETTE, Soleni; SILVA, Luciano; FIORI, Márcio; DALCANTON, Francieli; DE MELLO, Josiane; BAUERMAN, Natieli. Benefícios da produção e utilização de polímeros biodegradáveis em relação ao polímero convencionais: uma revisão de literatura. **Revista Dellos: Desarrollo Local Sostenible**, Curitiba, ano 2024, v. 17, n. 51, p. 325-342, 25 jan. 2024. DOI 10.55905/rdelosv17.n51-019. Disponível em: <https://ojs.revistadelos.com/ojs/index.php/delos/article/view/1235/1044>. Acesso em: 9 ago. 2024.

SILVEIRA, R. B. da. **Desenvolvimento de membrana eletrofiada antibacteriana de Policaprolactona (PCL) e nanopartículas de ZnO para aplicação em reparo tecidual**. 2024. 109 p. Dissertação (Mestrado em ciência e engenharia de materiais) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, SC, 2024. Disponível em: <http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/10829/1/Ronaldo%20Bianchini%20da%20Silveira.pdf>. Acesso em: 21 maio 2024.

SOARES, Carlos. **Processamento e caracterização de compósitos híbridos de Polipropileno reforçado com casca da Castanha-do-Brasil e Óxido de Grafeno**. 2023. 102 p. Tese (Doutorado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear) - Instituto de pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2023. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85134/tde-19072024-141740/pt-br.php>. Acesso em: 9 ago. 2024.

SOARES, Evany; FARIAS, Joyce; FIGUEIREDO, Alessandra. Atividade contextualizada: polímeros biodegradáveis e o descarte de resíduos plásticos em tempos de pandemia. **Inter Educa**, Paraíba, v. 5, n. 3, 1 set. 2023. DOI 0718-7416. Disponível em: <https://intereduca.org/index.php/journals/article/view/220/170>. Acesso em: 9 ago. 2024.

SOUZA, M. E. S. de.; SILVA, J. R. A. de.; SANTOS, C. C. L. dos.; LIMA, P. S. E. Obtenção de celulose a partir do aproveitamento de resíduos do coco verde (*Cocos nucifera* Linnaeus, 1753) para a produção de papel. **Revista principia**, Paraíba, ano 2023, v. 60, n. 1, ed. 1, p. 1-20, 30 mar. 2023. DOI <http://dx.doi.org/10.18265/1517-0306a2021id5876>. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/355790824\\_Obtencao\\_de\\_celulose\\_a\\_partir\\_do\\_apr](https://www.researchgate.net/publication/355790824_Obtencao_de_celulose_a_partir_do_apr)

[oveitamento de residuos de coco Cocos nucifera Linnaeus 1753 para a producao de papel](#). Acesso em: 20 maio 2024.

TEIXEIRA, B. A. **Aplicação do ensaio de Iosipescu em compósito de fibra de vidro e resina epóxi para obtenção do módulo de cisalhamento e estimativa de espessura para reparo em duto**. 2020. 46 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, 2020. Disponível em: <https://app.uff.br/riuff/bitstream/handle/1/16550/Br%C3%A1ulio%20Teixeira%20-%20TCC%20assinado.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 21 maio 2024.

Tratamento de Minérios: Práticas Laboratoriais/Ed. João Alves Sampaio, Silvia Cristina Alves França, Paulo Fernando Almeida Braga. – Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2007.

VEERASINGAM, S. et al. Contributions of Fourier transform infrared spectroscopy in microplastic pollution research: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, v. 51, n. 22, p. 2681–2743, 17 nov. 2021.

WEARN, Y. N.; MONTAGNA, L. S.; PASSADOR, F. R. Compósitos de fibra de coco/LDPE: efeito do tratamento superficial das fibras de coco em compósitos verdes. *Revista Materia*, São Paulo, ano 2020, v. 25, n. 1, p. 1-15, 17 jun. 2019. DOI 10.1590/S1517-707620200001.0873. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rmat/a/G8dbfwCzWCb97jRVdWw8GTq/?format=pdf&lang=pt>.

Acesso em: 20 maio 2024.