



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE ANANINDEUA  
FACULDADE DE ENGENHARIA DE MATERIAIS - FEMat

RODOLFO MOURA DE SOUZA LIMA

**DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS EM TRAÇÃO DE  
COMPÓSITOS DE MATRIZ POLIÉSTER REFORÇADOS COM FIBRAS LONGAS  
DE GUARUMÃ (*Ischnosiphon arouma*)**

Ananindeua – PA

2022

RODOLFO MOURA DE SOUZA LIMA

**DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS EM TRAÇÃO DE  
COMPÓSITOS DE MATRIZ POLIÉSTER REFORÇADOS COM FIBRAS LONGAS  
DE GUARUMÃ (*Ischnosiphon arouma*)**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado para obtenção de grau de  
Bacharel em Engenharia de Materiais,  
Faculdade de Engenharia de Materiais da  
Universidade Federal do Pará, Campus  
Universitário de Ananindeua.

Orientadora: Prof. Dr<sup>a</sup>. Verônica Scarpini  
Candido

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

---

- L732d Lima, Rodolfo Moura de Souza.  
Determinação das propriedades mecânicas em tração de  
compósitos de matriz poliéster reforçados com fibras longas  
de guarumã (*Ischnosiphon arouma*) / Rodolfo Moura de  
Souza Lima. — 2022.  
56 f. : il. color.
- Orientador(a): Prof<sup>a</sup>. Dra. Verônica Scarpini Candido  
Coorientador(a): Prof<sup>a</sup>. MSc. Miriane Alexandrino  
Pinheiro  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -  
Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de  
Ananindeua, Curso de Engenharia de Materiais,  
Ananindeua, 2022.
1. Materiais compósitos. 2. Fibras de Guarumã. 3.  
Caracterização mecânica. 4. Matriz poliéster. I. Título.

CDD 620.11

---

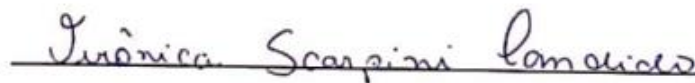
RODOLFO MOURA DE SOUZA LIMA

**DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE COMPÓSITOS DE  
MATRIZ POLIÉSTER REFORÇADOS COM FIBRAS LONGAS DE GUARUMÃ**

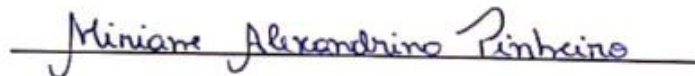
Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado para obtenção de grau de  
Bacharel em Engenharia de Materiais,  
Faculdade de Engenharia de Materiais da  
Universidade Federal do Pará, Campus  
Universitário de Ananindeua.

Aprovado em: 08 / 04 / 2022

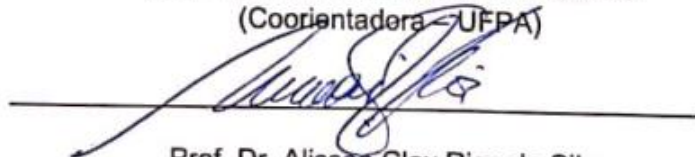
**Banca examinadora:**




Prof. Dr<sup>a</sup>. Verônica Scarpini Candido  
(Orientadora – UFPA)



Prof. M.a. Miriane Alexandrino Pinheiro  
(Coorientadora – UFPA)



Prof. Dr. Alisson Clay Rios da Silva  
(Membro – UFPA)



Prof. M.e. Maurício Maia Ribeiro  
(Membro – UFPA)

Este trabalho é dedicado à minha mãe Simone Lima e meu pai Eliano Lima (in memoriam), que por meio de incentivos e persistências me ajudaram a concretizar este sonho.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus (Olorum) que me concedeu esse momento, só Ele sabe o quanto foi difícil chegar até aqui e quantos momentos pensei em desistir de tudo. Deus agradeço por ser meu norte e por me ajudar nos momentos difíceis.

Agradeço em especial aos meus pais; Simone Lima e Eliano Lima (in memoriam), que sempre estiveram comigo no que foi preciso, sempre me ajudando e me repassando seus valores e ensinamentos. Sem eles não teria adquirido forças para vencer os obstáculos da vida. A minha irmã Raissa Lima por todo apoio e carinho.

A minha avó Maria Luiza por sempre estar ao meu lado e me incentiva na minha caminhada.

A minha amiga Juliane Sampaio que esteve ao meu lado ao longo dessa caminhada, sempre disposta a me ouvir e me ajudar nos momentos que mais precisei.

Aos meus amigos de curso, em especial a Nély Branco pelo companheirismo e amizade durante todo período de curso.

Agradeço a minha coorientadora e amiga Miriane Pinheiro, por ter me ajudado durante toda produção deste trabalho e conhecimento repassado.

A minha orientadora Prof. Dr<sup>a</sup>. Verônica Scarpini, por toda ajuda, paciência e conhecimento repassado.

A todos os professores do curso que muito contribuíram para a realização deste trabalho. Professores esses que com seus ensinamentos tornaram minha formação acadêmica possível.

Ao laboratório de Práticas Tecnológicas da Universidade Federal do Pará (UFPA) campus Ananindeua.

Ao laboratório de Caracterização de Materiais Metálicos (LCAM), da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Pará (UFPA).

E, por fim, agradeço todas as pessoas que, de alguma forma, foram essenciais para que alcançasse este objetivo com o qual sempre sonhei.

A todos agradeço com todo meu coração.

“Dê ao mundo o melhor de você. Mas isso pode não ser o bastante. Dê o melhor de você assim mesmo. Veja você que, no final das contas, é tudo entre você e Deus. Nunca foi entre você e os outros.”

Madre Teresa

## RESUMO

A preocupação ambiental tem se tornado cada vez mais frequente, impulsionando o desenvolvimento de materiais alternativos que utilizam recursos renováveis. Nesse sentido, destacam-se os materiais compósitos de matriz polimérica com a utilização de fibras vegetais como reforço. Fibras vegetais se destacam por sua abundância na natureza, baixo custo, além de apresentarem resultados satisfatórios quando comparadas às fibras sintéticas. Nesse contexto é possível destacar o Guarumã (*Ischnosiphon arouma*) uma espécie abundante da região amazônica e muito utilizada na confecção de artesanato de cestarias. Dessa forma, este trabalho tem como objetivo produzir compósitos de matriz poliéster, utilizando fibras de Guarumã como reforço. O processo de confecção dos compósitos teve início com a análise das fibras, os corpos de prova foram produzidos de forma individual em molde de silicone com a incorporação de 10, 20 e 30% em volume de fibras. As propriedades mecânicas em tração dos compósitos foram avaliadas segundo as diretrizes da norma ASTM D 638. Os resultados obtidos revelaram que a incorporação de fibras de Guarumã em matriz poliéster não alterou significativamente os valores obtidos em relação a resina pura, entretanto, a fibra de Guarumã revela grande potencial como reforço em materiais compósitos.

**Palavras – chave:** Materiais compósitos, Fibras de Guarumã, Caracterização mecânica, Matriz poliéster.

## ABSTRACT

Environmental concerns have become increasingly frequent, driving the development of alternative materials using renewable resources. In this sense, the polymer matrix composite materials with the use of vegetable fibers as reinforcement stand out. Vegetable fibers stand out for their abundance in nature, low cost, in addition to presenting satisfactory results when compared to synthetic fibers. In this context, it is possible to highlight the Guarumã (*Ischnosiphon arouma*) an abundant species from the Amazon region and widely used in the making of basketry crafts. Thus, this work aims to produce polyester matrix composites, using Guarumã fibers as reinforcement. The process of making the composites began with the analyze of the fibers, the specimens were produced individually in a silicone mold with the incorporation of 10, 20 and 30% by volume of fibers. The tensile mechanical properties of the composites were evaluated according to the guidelines of the ASTM D 638 standard. The results obtained revealed that the incorporation of Guarumã fibers in polyester matrix did not significantly alter the values obtained in relation to pure resin, however, the Guarumã fiber reveals great potential as a reinforcement in composite materials.

**Keywords:** Composite materials, Guarumã fibers, Mechanical characterization, Polyester matrix.

## Sumário

1.	INTRODUÇÃO.....	15
2.	OBJETIVOS.....	17
2.1.	Objetivo geral.....	17
2.2.	Objetivos específicos.....	17
3.	JUSTIFICATIVA.....	18
4.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
4.1.	Fibras vegetais.....	19
4.1.1.	Fibra de Guarumã.....	22
4.2.	Polímeros.....	23
4.2.1.	Resinas poliméricas.....	24
4.2.1.1.	Resina poliéster.....	25
4.3.	Materiais compósitos.....	26
4.3.1.	Materiais compósitos reforçados com fibras.....	28
4.3.1.1.	Materiais compósitos reforçados com fibras naturais.....	29
4.3.1.2.	Materiais compósitos reforçados com fibras de Guarumã.....	30
5.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	32
5.1.	Material utilizado.....	32
5.2.	Metodologia.....	32
5.2.1.	Fibras de Guarumã.....	32
5.2.1.1.	Caracterização dimensional.....	33
5.2.1.2.	Determinação da massa específica.....	34
5.2.1.3.	Caracterização microestrutural.....	35
5.2.2.	Compósitos.....	36
5.2.3.	Caracterização mecânica dos compósitos.....	38
5.2.4.	Análise estatística.....	38
6.	RESULTADOS.....	42
6.1.	Fibras de Guarumã.....	42
6.1.1.	Caracterização dimensional e determinação da massa específica das fibras.....	42
6.1.2.	Caracterização morfológica da fibra de Guarumã.....	43
6.2.	Compósitos.....	44

6.2.1. Ensaio de tração.....	44
7. CONCLUSÃO .....	51
8. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	52
REFERÊNCIAS .....	53

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Representação esquemática das fibras vegetais .....	20
<b>Figura 2</b> - Planta do Guarumã.....	23
<b>Figura 3</b> - Representação esquemática da classificação dos materiais compósitos.....	27
<b>Figura 4</b> – (a) haste caulinar do Guarumã; (b) resina e catalizador utilizados neste trabalho .....	32
<b>Figura 5</b> - Fibras do Guarumã após o beneficiamento. ....	33
<b>Figura 6</b> – Microscópio ótico .....	33
<b>Figura 7</b> – Balança analítica.....	34
<b>Figura 8</b> - (a) Metalizador de amostras e em (b) Microscópio eletrônico de varredura .....	35
<b>Figura 9</b> – Molde de silicone utilizado na fabricação dos corpos de prova .....	36
<b>Figura 10</b> – Corpos de prova após a etapa de lixamento.....	37
<b>Figura 11</b> - Máquina de ensaio: (a) Vista total frontal da máquina; (b) Vista frontal da máquina na área de engate do corpo de prova destacada num círculo vermelho .....	38
<b>Figura 12</b> – Padrão de distribuição diametral.....	42
<b>Figura 13</b> - Microscopia eletrônica de varredura (MEV) das fibras de Guarumã: (a) Fibra fina; (b) Fibra média; (c) Fibra grossa .....	44
<b>Figura 14</b> – Aspecto macroscópico da região da fratura dos corpos de prova após ensaio de tração.....	45
<b>Figura 15</b> – Gráfico de resistência à tração dos compósitos de matriz poliéster reforçados com fibras de Guarumã.....	46
<b>Figura 16</b> – Gráfico de módulo de elasticidade .....	47
<b>Figura 17</b> – Gráfico de deformação .....	49

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Composição química de algumas fibras vegetais em (%) .....	19
<b>Tabela 2</b> - Comparação das propriedades das fibras naturais com fibras de vidro .....	21
<b>Tabela 3</b> - Fibras vegetais brasileiras mais estudadas e utilizadas .....	22
<b>Tabela 4</b> - Tipos de resinas poliésteres e suas principais características .....	26
<b>Tabela 5</b> - Propriedades mecânicas em tração dos compósitos de matriz epóxi reforçados com fibras de Guarumã.....	30
<b>Tabela 6</b> - Parâmetros utilizados na análise de variância (ANOVA).....	39
<b>Tabela 7</b> - Relação da massa específica em função do intervalo de diâmetro.	43
<b>Tabela 8</b> – Resultados das propriedades mecânicas obtidas a partir do ensaio de tração.....	45
<b>Tabela 9</b> - Análise de variância da resistência à tração dos compósitos reforçados com fibras de Guarumã.....	47
<b>Tabela 10</b> - Análise de variância do módulo de elasticidade dos compósitos reforçados com fibras de Guarumã.....	48
<b>Tabela 11</b> - Análise de variância da deformação dos compósitos reforçados com fibras de Guarumã .....	50

## LISTA DE QUADROS

- Quadro 1** - Principais características e limitações das resinas termorrígidas ..25
- Quadro 2** – Composições formuladas. P – Poliéster, FG - Fibra de Guarumã 36
- Quadro 3** - Teste de Tukey do modulo de elasticidade dos compósitos .....49

## 1. INTRODUÇÃO

O avanço tecnológico levou a uma ampla investigação de materiais, buscando diminuir impactos ambientais que tem se tornado cada vez mais frequentes. Nesse sentido, destacam-se os materiais compósitos reforçados com fibras naturais ou compósitos verdes. Fibras vegetais se destacam por sua abundância na natureza, por serem de fonte renovável, possuir baixo custo além de apresentar resultados satisfatórios quando comparados às fibras sintéticas (MARDIN *et al.*, 2017).

Os materiais compósitos são classificados em: compósitos estruturais, compósitos reforçados por partículas e compósitos reforçados por fibras (CALLISTER, 2016). Em sua maioria, os materiais compósitos reforçados com fibras são constituídos por duas fases distintas; fase matriz, constituída de uma resina e uma fase reforço, que pode ser fibra natural ou sintética (CANDIDO, 2014).

Em virtude da combinação de propriedades das fases dos compósitos reforçados por fibras, o material gerado proporciona maiores limites de resistência, como: resistência à fadiga, módulo de Young e resistência específica. O material da matriz transmite as tensões para o reforço (fibras), que resistem à força aplicada. A matriz também tem função protetora para o reforço, evitando a ação de agentes externos, que podem causar o declínio de suas propriedades mecânicas (ASKELAND, 2014).

A substituição das fibras sintéticas por fibras naturais como reforço em matrizes poliméricas pode beneficiar aspectos ambientais e econômicos resultando em materiais com melhores propriedades, permitindo diferentes aplicações (PINTO, 2018). Algumas das propriedades que favorecem a utilização em diversos setores da indústria são: baixo custo, baixa densidade, módulo de elasticidade elevado e resistência específica (CANDIDO, 2014).

A Amazônia possui um grande potencial em fibras naturais ainda pouco conhecidas e exploradas como matéria-prima de reforço em compósitos poliméricos. Nesse sentido, pode-se destacar as fibras de Guarumã, planta abundante da região várzea do estado do Pará. Cientificamente conhecida como *Ischnosiphon arouma* é originária da família das *maranthaceae*, as fibras são extraídas do caule da planta do Guarumã, muito utilizada na fabricação de artesanato regional. (COSTA *et al.*, 2014).

A utilização de fibras de Guarumã para a fabricação de compósitos poliméricos apresenta vantagens semelhantes as demais fibras naturais. Além de colaborar para o surgimento de novos materiais com a utilização de matéria-prima pouco conhecida, podendo ser considerado um material com grande potencial. Dessa forma, esse trabalho tem como objetivo caracterizar morfológicamente as fibras de Guarumã, além de caracterizar mecanicamente em tração os compósitos poliméricos reforçados por elas.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

O presente trabalho tem como objetivo determinar as propriedades mecânicas em tração dos compósitos de matriz poliéster reforçados com fibras contínuas de Guarumã.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Analisar a morfologia das fibras de Guarumã;
- Avaliar a incorporação de fibras de Guarumã em matriz poliéster em proporções de 10, 20 e 30% em volume de fibras;
- Avaliar as propriedades mecânicas em tração dos compósitos;
- Investigar as características microestruturais da interface matriz/reforço e relacionar essas análises com o desempenho mecânico.

### 3. JUSTIFICATIVA

Questões ambientais tem sido alvo de inúmeras discussões na atualidade, visto que, o futuro depende das ações praticadas hoje de maneira a não prejudicar as gerações futuras. Tendo como base o desenvolvimento sustentável, o presente trabalho mostra-se relevante no âmbito ambiental, econômico, científico.

Considerando que a planta do Guarumã pode ser encontrada em grandes quantidades na região amazônica, justifica-se sua utilização como fibra natural, contribuindo para minimizar impactos ambientais causados por materiais convencionais de fontes não renováveis.

Do ponto de vista econômico, é possível destacar o seu baixo valor de produção, visto que não só a fibra, mas a resina também apresenta baixo valor aquisitivo quando comparados com materiais convencionais.

Apesar de sua vasta utilização no mercado de artesanato na região, o Guarumã, ainda é pouco explorado no meio científico, sobre tudo como agente de reforço em materiais compósitos. Dessa forma, este trabalho justifica-se cientificamente, pelo entendimento das propriedades mecânicas desse tipo de material natural e dos mecanismos de reforço entre fibras de Guarumã e a matriz poliéster, bem como a possibilidade de obter um material compósito com elevado desempenho mecânico.

## 4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1. Fibras vegetais

As fibras vegetais são materiais biodegradáveis e recicláveis. Possuem grande utilização na indústria têxtil e também quando associadas a outros tipos de materiais formam compósitos. Materiais compósitos com a utilização de fibras vegetais como reforço tem se tornado alternativa viável para a substituição de fibras artificiais como as fibras de vidro, aramida e carbono (MOHAMMED *et al.*, 2015; Costa *et al.* 2018).

Fibras naturais de origem vegetal possuem estrutura alongada quando comparadas com seu diâmetro, secção transversal vazadas e arredondada. Elas estão distribuídas por todo vegetal e de acordo com a origem anatômica, são classificadas em fibras de lenho, talo, de folha e de superfície. Assim, uma mesma planta pode fornecer diferentes tipos de fibras (FORNARI, 2017).

De acordo com SCHMIDT (2016) a região de cultivo, fatores climáticos e o tipo de solo podem influenciar na estrutura e na composição química das fibras vegetais. Fibras vegetais são constituídas basicamente por celulose, hemicelulose, lignina, além de fração de solúveis (pectina, sais inorgânicos, substâncias nitrogenadas, corantes naturais) (FORNARI, 2017). A Tabela 1 apresenta a composição química de algumas fibras vegetais em (%).

**Tabela 1** - Composição química de algumas fibras vegetais em (%)

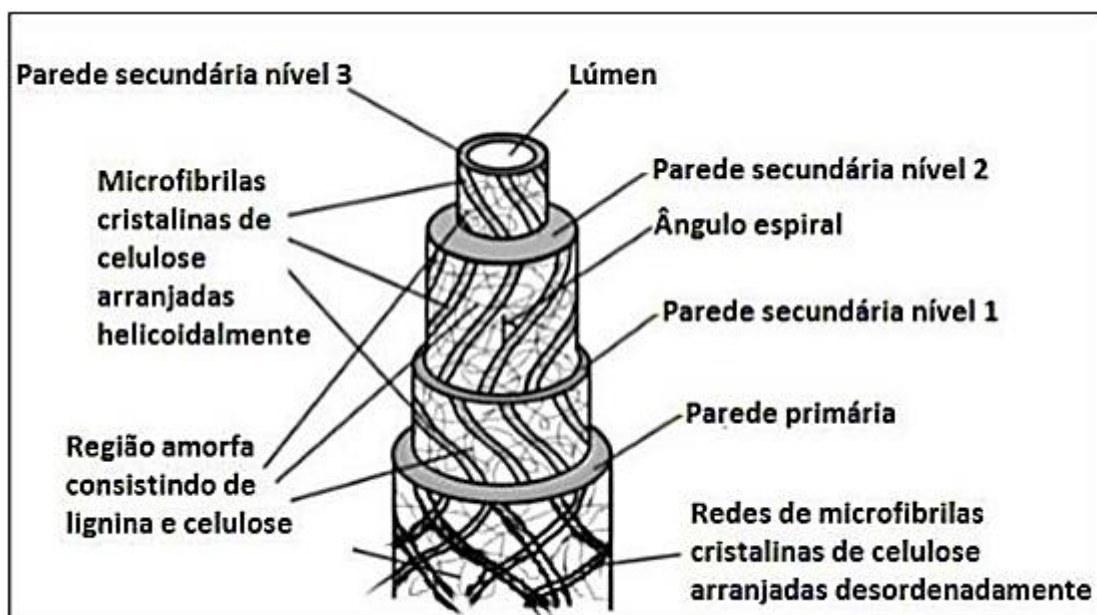
	<b>Rami</b> <i>Behmeria</i> <i>nivea</i>	<b>Juta</b> <i>Corchorus</i> <i>capsularis</i>	<b>Sisal</b> <i>Agave</i> <i>sisalana</i>	<b>Algodão</b> <i>Gossypium</i> <i>hirsutum</i>	<b>Linho</b> <i>Linum</i> <i>usitatissimum</i>
<b>Celulose</b>	68,6	64,4	65,8	82,7	64,1
<b>Hemicelulose</b>	13,1	12,0	12,0	5,7	16,7
<b>Pectina</b>	1,9	0,2	0,8	5,7	1,8
<b>Lignina</b>	0,6	11,8	9,9	-	2,0
<b>Cera</b>	0,3	0,5	0,3	0,6	1,5
<b>Água</b>	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
<b>Solúvel a água</b>	5,5	1,1	1,2	1,0	3,9

Fonte: adaptado de DE ALCÂNTARA, 2016.

A celulose é encontrada na forma de microfibrilas que exibem regiões cristalinas intercaladas com regiões amorfas (SILVA, 2019). A hemicelulose é responsável pela flexibilidade e elasticidade da planta, está organizada de forma intercalar nas microfibrilas (SILVA, 2019; FORNARI, 2017). A lignina envolve as microfibrilas de celulose fortalecendo e enrijecendo a parede celular, dessa forma, atribui maior resistência mecânica a planta, também é um ligante amorfo, hidrofóbico e possui alto grau de polimerização (FORNARI, 2017; CANDIDO, 2014; SILVA, 2019).

As fibras vegetais estão organizadas em uma complexa estrutura fibrilar formada por paredes celulares primária, secundária e terciária que envolvem o lúmen (FORNARI, 2017; FERREIRA et al., 2017). A parede secundária apresenta uma subdivisão em outras três camadas: a primeira camada exhibe estrutura reticulada; a segunda é onde as fibrilas estão orientadas de acordo com o ângulo  $\theta$ , em relação ao eixo longitudinal da célula em espiral e a terceira camada, mais interna, que possui fibrilas em espiral. A segunda camada é a de maior espessura, conseqüentemente a que apresenta o maior teor de celulose. Diante disso, as propriedades mecânicas das fibras podem ser determinadas através do parâmetro estrutural de cada tipo de fibra (FORNARI, 2017; CANDIDO, 2014; SCHMIDT, 2016). A Figura 1 apresenta a representação esquemática das fibras vegetais.

**Figura 1** - Representação esquemática das fibras vegetais



Fonte: SCHMIDT, 2016.

As propriedades das fibras naturais podem variar de acordo com o local de retirada, isto é, caule, folhas ou o local de plantação do vegetal, dependem também do teor de celulose, grau de polimerização e ainda do ângulo das fibrilas (SCHMIDT, 2016; SANJAY, 2016; FORNARI, 2017). Dessa forma, fibras que exibem maior taxa de celulose, alto grau de polimerização e baixo ângulo microfibrilar, possuem maior rigidez e alta resistência à tração (SANJAY, 2016).

Fibras lignocelulosicas, tem se tornado atrativas principalmente para o setor automotivo e de embalagens dado sua importância econômica e ecológica. Considerado como alternativa viável para a substituição de fibras convencionais, especialmente fibras de vidro que apresentam desvantagens, em relação a utilização de fibras naturais. A Tabela 2 apresenta uma comparação entre fibras naturais e fibras de vidro.

**Tabela 2** - Comparação das propriedades das fibras naturais com fibras de vidro

<b>Propriedades</b>	<b>Juta</b>	<b>Sisal</b>	<b>Curauá</b>	<b>Vidro</b>
<b>Densidade (g/cm<sup>3</sup>)</b>	1,30 - 1,45	1,26 – 1,50	0,57 – 0,92	2,50 – 2,58
<b>Tensão máxima <math>\sigma</math> (MPa)</b>	393 - 800	287 - 913	117 - 3000	2000- 3450
<b>Modulo de elasticidade (GPa)</b>	13 - 27	9 - 28	27 - 80	70 - 73

**Fonte:** adaptado de MONTEIRO *et al*, 2008.

As propriedades das fibras podem ser divididas em primarias e secundárias. Dessa forma, propriedades primarias relacionam comprimento – largura, uniformidade, coesão, tenacidade e flexibilidade. Propriedades secundárias envolvem a capacidade de absorção de água, densidade, alongamento, resiliência, elasticidade, resistência a microrganismos, comportamento térmico entre outros (MANO, 2004; FORNARI, 2017).

Atualmente existe uma gama de estudos sendo desenvolvidos com diferentes tipos de fibras vegetais, investigando fibras retiradas de diversas partes do vegetal (CANDIDO, 2014). No Brasil são inúmeros os tipos de fibras vegetais utilizadas e que são cultivadas em diferentes regiões, a Tabela 3, apresenta as fibras vegetais que estão sendo estudadas com maior frequência, seu local de retirada e a região brasileira produtora.

**Tabela 3** - Fibras vegetais brasileiras mais estudadas e utilizadas

<b>Fibra</b>	<b>Nome botânico</b>	<b>Parte da planta</b>	<b>Centros produtores</b>
Malva	<i>Urena lobata linn</i>	Caule	Amazônia e Pará
Rami	<i>Boehmeria nivea</i>	Caule	Norte paulista
Curauá	<i>Ananas erectifolius</i>	Folha	Amazônia paraense
Sisal	<i>Agave sisalana</i>	Folha	Bahia e Paraíba
Coco	<i>Cocos nucifera</i>	Fruto	Recife e Aracaju
Algodão	<i>Gossypium</i> <i>Hirsutum</i>	Semente	Campina Grande
Juta	<i>Corchorus</i> <i>capsularis</i>	Caule	Amazônia
Eucalipto	<i>Eucalyptus grandis</i>	Caule	Aracruz, ES
Piaçava	<i>Attalea funifera</i>	Bainha foliar	Valença, BA

**Fonte:** NETO E PARDINI, 2016.

É possível notar que estudar as propriedades das fibras é de fundamental importância para sua utilização como reforço em matriz polimérica. Seus conhecimentos tornam a aplicação das fibras mais viável na fabricação de materiais compósitos, elevando seu desempenho com baixo custo (FORNARI, 2017; CANDIDO, 2014).

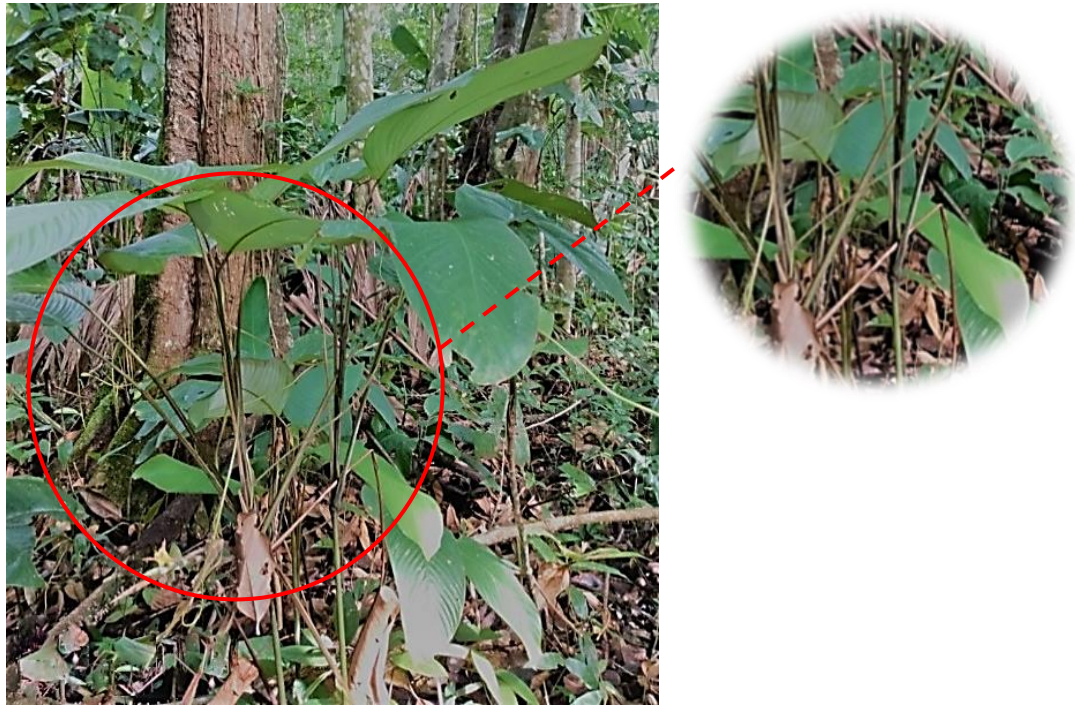
#### **4.1.1. Fibra de Guarumã**

O Guarumã é uma planta nativa da região conhecida como “salgado paraense” e é abundante na região de várzea do Estado do Pará (OLIVEIRA *et al.*, 2006). Pertence à família das *marantáceas*, espécie do gênero *Ischnosiphon arouma*, o Guarumã era utilizado por tribos indígenas e atualmente seu uso está relacionado a extração de fibras para a produção artesanal de cestaria (OLIVEIRA *et al.*, 2006; COSTA *et al.*, 2014; PINHEIRO *et al.*, 2019).

Em sua morfologia, a espécie pode alcançar até 4 metros de altura, possui haste caulinar verde, cilíndrica e lisa, além de possuir folhas em rosetas no ápice de sua haste, ovaladas, base arredondada, ápice agudo, inflorescência em espigas longas protegidas por brácteas esverdeadas, flores amarelas. Suas talas da região da haste caulinar são vastamente utilizadas para a confecção de paneiros e trançados

em geral (OLIVEIRA *et al.*, 2006). A Figura 2 apresenta a imagem da planta do Guarumã.

**Figura 2** - Planta do Guarumã



**Fonte:** autoria própria, 2022.

As fibras de Guarumã possuem aspectos semelhantes as demais fibras vegetais encontradas na literatura, isto é, lisas com alta flexibilidade, encontradas em grande quantidade na natureza, biodegradáveis e de baixo custo. As vantagens das fibras de Guarumã são inúmeras comparadas aos reforços de origem sintética, o que a torna interessante e justifica um aprofundamento nas pesquisas desse material como reforço em compósitos de matriz polimérica (PINHEIRO *et al.*, 2019).

#### **4.2. Polímeros**

Polímero é uma macromolécula composta por muitas unidades de repetição denominada mero. Suas unidades estão ligadas por meio de ligação covalente que atribui à macromolécula um alto peso molecular (CANEVAROLO, 2010; MANO, 2004).

Os polímeros podem ser classificados de acordo com sua estrutura química, características tecnológicas, métodos de preparação e seu comportamento mecânico. Em meio as classificações citadas, a melhor utilizada para descrever os polímeros

para a fabricação de materiais compósitos, é em termos de comportamento mecânico e térmico (CANEVAROLO, 2010; MANO, 2004).

Os polímeros podem ser divididos em três grandes áreas: termoplásticos, termorrígidos e elastômeros (MANO, 2004). Polímeros termoplásticos quando submetidos a efeitos de temperaturas e pressão tem a capacidade de serem moldados por inúmeras vezes. Essa propriedade está relacionada as forças de ligações secundárias que sofrem redução com o aumento da temperatura facilitando o movimento relativo das cadeias quando uma tensão é aplicada. São solúveis e recicláveis e podem ser fundidos novamente. Exemplos desse tipo de polímero são: polietileno (PE), poliestireno (PS), poliamida (náilon) (CANEVAROLO, 2010).

Polímeros termorrígidos ou termofixos fluem uma vez quando submetidos ao efeito da temperatura, sofre processo de cura, onde se tem uma transformação química irreversível, devido a formação de ligações cruzadas entre cadeias adjacentes, tornando-se rígidos. Aquecimentos posteriores não alteram seu estado físico, dessa forma, não amolecem mais, o que os torna insolúveis não permitindo uma nova fusão do material. Baquelite, resina epóxi e algumas resinas poliéster são exemplos de termofixo (CANEVAROLO, 2010).

Elastômeros são polímeros que, à temperatura ambiente, podem se deformar repetidas vezes a pelo menos duas vezes o seu tamanho original. Quando retirado o esforço mecânico, volta ao seu tamanho original (MANO, 2004; ASKELAND, 2014).

#### **4.2.1. Resinas poliméricas**

O termo resina e a expressão matriz polimérica, são por muitas vezes confundidos entre si, resinas podem ser identificadas como polímero ou ainda como uma matriz polimérica (PINHEIRO, 2018). Em meio as resinas poliméricas, resinas termorrígidas são as mais utilizadas na produção de compósitos poliméricos, isso se atribui a sua fácil utilização, promovendo uma boa molhabilidade do reforço e apresentarem bom balanço de propriedades, além de uma grande variedade e custo relativamente baixo (SILVA, 2017). O Quadro 1 apresenta algumas características e limitações das resinas termorrígidas.

A resina ou matriz polimérica, pode atribuir características importantes aos compósitos, bem como proteção contra agentes externos, resistência a produtos químicos, manter a orientação do reforço na estrutura, além de transferir as cargas

aplicadas ao compósito para as fibras que atuam como elementos de reforço (ASKELAND, 2014; MARINUCCI, 2011).

**Quadro 1** - Principais características e limitações das resinas termorrígidas

<b>Resina</b>	<b>Características</b>	<b>Limitações</b>
<b>Epóxi</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Excelente propriedade em compósitos;</li> <li>• Muito boa resistência química e propriedades elétricas;</li> <li>• Boas propriedades térmicas;</li> <li>• Baixa contração na cura.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Longos ciclos de cura;</li> <li>• Melhores propriedades obtidas em altas temperaturas de cura.</li> </ul>
<b>Fenólica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ótimas propriedades térmicas;</li> <li>• Boa resistência ao fogo;</li> <li>• Boas propriedades elétricas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cor.</li> </ul>
<b>Poliéster</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Amplamente utilizada;</li> <li>• Fácil uso;</li> <li>• Cura a temperatura ambiente;</li> <li>• Ótimas propriedades em compósitos;</li> <li>• Boa resistência química;</li> <li>• Boas propriedades elétricas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Emissão de estireno;</li> <li>• Contração durante a cura;</li> <li>• Inflamável.</li> </ul>
<b>Poliuretano</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Boas propriedades em compósitos;</li> <li>• Muito boa resistência química;</li> <li>• Alta dureza (resistência ao impacto);</li> <li>• Boa resistência a abrasão.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cor;</li> <li>• Isocianetos como agentes de cura.</li> </ul>
<b>Silicone</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ótimas propriedades térmicas;</li> <li>• Excelente resistência química;</li> <li>• Ótimas propriedades elétricas;</li> <li>• Resistente a hidrólise e oxidação;</li> <li>• Boa resistência ao fogo - Não tóxico.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adesão;</li> <li>• Longos ciclos de cura;</li> <li>• Cura somente a altas temperaturas.</li> </ul>

**Fonte:** adaptado de AQUINO, 2003.

#### **4.2.1.1. Resina poliéster**

Resina poliéster é largamente utilizada na confecção de materiais compósitos poliméricos, isso se atribui ao fato de aliar bom desempenho mecânico junto à boas condições de reatividade e baixo custo quando comparada a resinas como epóxi ou éster – vinílica, além da diversidade de formulações disponíveis para atender os requisitos exigidos para diferentes aplicações (MARINUCCI, 2011).

As resinas poliésteres constituem o grupo de polímeros termofixos. É um polímero de alto peso molecular e podem ser saturadas ou insaturadas. Reação entre

diálcool (glicol) e anidrido ou ácido dibásico (diácido) com liberação de uma molécula de água forma os poliésteres insaturados que por sua vez são ésteres complexos de longas cadeias. As insaturações são originárias das ligações duplas presentes na cadeia que comumente é fornecida pelo ácido fumárico, ácido maléico ou anidrido maléico (SILAEX, 2020).

O poliéster insaturado geralmente apresenta o monômero de estireno como mero que também possui duplas ligações que são desfeitas por ações de catalizadores originando um polímero termoestável (SILAEX, 2020). Atualmente existem diversos tipos de resina poliéster, a Tabela 4 apresenta alguns tipos e suas características principais.

**Tabela 4** - Tipos de resinas poliésteres e suas principais características

<b>Tipos de Resinas</b>	<b>Características</b>
Bisfenólica	Bom desempenho químico e térmico.
Isoftálica	Bom desempenho químico, mecânico e térmico.
Isoftálica com Neo Pentil Glicol (NPG)	Maior resistência à hidrólise devido à substituição do glicol por NPG.
Ortoftálica	Boa resistência física. Resina de menor custo e utilizada em fins menos nobres.
Tereftálicas	Boa resistência física e baixa resistência a UV.

Fonte: CANDIDO, 2014.

### **4.3. Materiais compósitos**

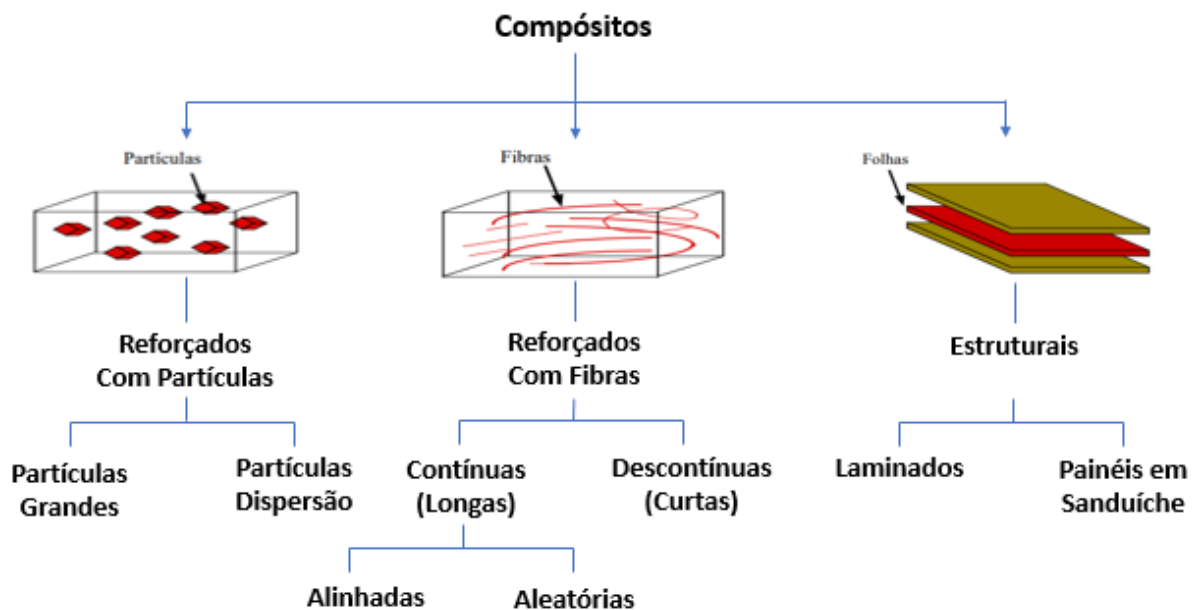
Segundo NETO E PARDINI (2016), compósitos são materiais multifásicos feitos artificialmente, com fases constituintes quimicamente diferentes e separados por uma interface distinta. Os materiais compósitos seguem o princípio de ação combinada, isto é, a combinação de propriedades de dois ou mais materiais distintos com o objetivo de produzir um único material com propriedades muitas vezes conflitantes, relacionadas às características exigidas pelo produto final.

A maior parte dos materiais são constituídos por apenas duas fases. Uma é denominada fase matriz, a qual é contínua e tem por finalidade envolver o material de reforço protegendo o reforço de ações externas e transmitindo os esforços para o

mesmo, o reforço geralmente se encontra sobre uma orientação preferencial (NETO E PARDINI, 2016).

Materiais compósitos podem ser classificados em três classes distintas referentes ao reforço: compósitos reforçados com partículas, com fibras e compósitos estruturais (CALLISTER, 2016; NETO E PARDINI, 2016). A Figura 3, mostra a representação esquemática da classificação dos materiais compósitos.

**Figura 3** - Representação esquemática da classificação dos materiais compósitos



**Fonte:** adaptado de CALLISTER, 2016.

Os compósitos reforçados com partículas possuem fase dispersa equiaxial, nesse sentido, as partículas possuem aproximadamente as mesmas dimensões em todas as direções, para compósitos que utilizam fibras como reforço, a fase dispersa tem geometria de uma fibra, isto é, uma grande razão entre comprimento e diâmetro. Os compósitos estruturais apresentam múltiplas camadas e são desenvolvidos para apresentar baixa massa específica e alto grau de integridade estrutural (MARINUCCI, 2011; CALLISTER, 2016).

A utilização dos compósitos como materiais de engenharia oferece versatilidade suficiente para atender exigências apresentadas por especificações pouco comuns, bem como resistência em ambientes agressivos, gerados por calor umidade, produtos químicos e entre outros. Além disso, materiais compósitos também apresentam técnicas de manutenção e preparo simples (FETTER, 2018).

### 4.3.1. Materiais compósitos reforçados com fibras

Do ponto de vista tecnológico, os materiais compósitos de maior importância são aqueles que possuem fibras como fase dispersa. Esse tipo de material frequentemente apresenta características como alta resistência e rigidez em relação ao peso, podendo ser expressas em termos dos parâmetros de resistência e módulo específico. Materiais compósitos que utilizam fibras como reforço ainda podem ser subclassificados, levando em consideração o comprimento e a orientação das fibras (CALLISTER, 2016).

Segundo CALLISTER (2016) Utilizando como base o comprimento e a orientação das fibras é possível estimar três tipos diferentes de compósitos reforçados com fibras, são eles:

- **Fibras contínuas e alinhadas:** possuem propriedades mecânicas altamente anisotrópicas. No sentido do alinhamento, o reforço e a resistência tornam-se máximo, no entanto, perpendicular ao alinhamento, são mínimos.
- **Fibras descontínuas e alinhadas:** na direção longitudinal é possível resistência e rigidez expressivas.
- **Fibras descontínuas e com orientação aleatória:** independentemente de apresenta algumas limitações no reforço, possuem propriedades isotrópicas.

Em relação ao comprimento da fibra, existe um comprimento crítico para cada combinação fibra-matriz, que colabora para elevar a resistência e a rigidez, o valor de comprimento é em função do diâmetro e da resistência da fibra, e pode ser obtido pela equação 1:

$$l_c = \frac{\sigma_f^* \cdot d}{2\tau_c} \quad (1)$$

Onde:  $l_c$  é o comprimento crítico;

$\sigma_f^*$  é o limite de resistência à tração;

$d$  é o diâmetro da fibra;

$\tau_c$  é a tensão de escoamento ou cisalhamento da matriz.

Fibras contínuas, exibem comprimento maior que o comprimento crítico, enquanto que, fibras descontínuas exibem comprimento inferior ao comprimento

crítico, dessa forma, geralmente não afetam a matriz um aumento de resistência eficaz quando são submetidas a solicitações mecânicas (CALLISTER, 2016).

#### **4.3.1.1. Materiais compósitos reforçados com fibras naturais**

A utilização de compósitos reforçados com fibras naturais, tem se tornado uma tendência mundial, devido as preocupações com questões ambientais, como a poluição por resíduos que não são biodegradáveis. Fibras naturais apresentam vantagens como reforço em materiais poliméricos pois são de natureza não abrasiva, de baixo custo e baixo consumo de energia (PEREIRA, 2017).

NASCIMENTO (2017) realizou a caracterização de compósito de matriz epóxi reforçado com fibras de malva para utilização em blindagem balística multicamada, notou que ao aumentar a fração volumétrica das fibras no compósito estava ligado ao ganho de resistência mecânica, módulo de elasticidade, além da elevação da estabilidade térmica do compósito.

SOARES (2019) ao avaliar a resistência à tração de compósitos matriz epóxi reforçados com fibras contínuas de curauá modificadas com solução de NaOH, observou que os resultados da adição de fibras na matriz epóxi influenciou positivamente na resistência a tração, assim como no módulo de elasticidade e alongamento.

MENDES (2019) investigou a influência da incorporação de resíduo de beneficiamento de caulim nas propriedades de compósitos poliméricos utilizando fibras de bambu como reforço, notou que a adição do resíduo não teve efeito significativo na resistência mecânica, entretanto, os compósitos reforçados com fibras de bambu obtiveram um ganho de resistência mecânica em comparação a resina pura.

Da SILVA (2019) ao analisar a absorção de água em compósitos de óleo de mamona reforçados com bagaço de cana de açúcar, observou que a adição de fibras na matriz elevou a absorção de água, entretanto o nível de absorção de água não apresenta diferença significativa comparado ao ganho de resistência mecânica dos compósitos.

#### 4.3.1.2. Materiais compósitos reforçados com fibras de Guarumã.

Compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais, apresentam-se como alternativa viável para substituir as fibras sintéticas, já que apresentam alto desempenho mecânico e são ambientalmente corretos, podendo ser aplicados diferentes setores industriais. Essas características justificam os motivos desse tipo de material ter se tornado alvo crescente de estudos nos últimos tempos (MARDIN *et al.*, 2016).

Nesse sentido, as fibras de Guarumã igualmente as demais fibras naturais, podem apresentar bom desempenho como reforço em materiais compósitos. Em seu estudo PINHEIRO *et al.* (2019), avaliou o potencial das fibras de Guarumã para a utilização como reforço em compósitos de matriz epóxi e a partir dos resultados obtidos foi observado que a adição de fibras de Guarumã em matriz epóxi aumenta os valores de resistência a tração. Na Tabela 5 é possível observar os resultados obtidos a partir do ensaio de tração dos compósitos de matriz epóxi reforçados com fibras de Guarumã.

**Tabela 5** - Propriedades mecânicas em tração dos compósitos de matriz epóxi reforçados com fibras de Guarumã

Propriedades mecânicas	Quantidade de fibra de Guarumã em compósitos epóxi			
	0%(controle)	10% vol	20% vol	30% vol
Resistência a tração (MPa)	57,4 ± 9,6	51,9 ± 4,0	57,1 ± 3,7	59,9 ± 7,1
Modulo de elasticidade (GPa)	0,47 ± 0,02	0,52 ± 0,01	0,59 ± 0,03	0,60 ± 0,02
Deformação (%)	0,094 ± 0,01	0,077 ± 0,01	0,080 ± 0,02	0,086 ± 0,02
Resiliência (MJ.m <sup>2</sup> )	2,0 ± 0,4	1,6 ± 0,1	1,9 ± 0,3	2,2 ± 0,2

Fonte: PINHEIRO *et al.*, 2019.

REIS *et al.*, (2020) caracterizou as fibras de Guarumã, com o intuito de sua utilização como reforço em materiais compósitos e notou que as fibras possuem baixa densidade, além de bons resultados de resistência a tração, índice de cristalinidade compatível com as demais fibras vegetais comumente utilizadas, possibilitando a sua utilização como reforço em matriz polimérica.

A utilização de fibras de Guarumã como reforço em materiais compósitos pode colaborar para o desenvolvimento de novos materiais, agregando características como, boas propriedades mecânicas, baixo custo, além de ser um material ambientalmente sustentável (PINHEIRO, 2020).

Portanto, a necessidade de produzir novos materiais com melhores propriedades e adequação ambiental é atualmente de grande interesse, pois a produção desses materiais facilita sua aplicação em diversos setores da indústria e a adição de fibras de Guarumã em matriz polimérica tem contribuído para o desenvolvimento de novos materiais com baixo custo e boas propriedades mecânicas.

## 5. MATERIAIS E MÉTODOS

### 5.1. Material utilizado

As fibras de Guarumã utilizadas neste trabalho foram coletadas na região metropolitana de Belém.

A resina polimérica utilizada como matriz foi o poliéster ortoftálico com proporção de catalizador MEK D-45 (1,5 %). A Figura 4 (a) apresenta a imagem da haste do Guarumã (b), resina e catalizador utilizados.

**Figura 4** – (a) haste caulinar do Guarumã; (b) resina e catalizador utilizados neste trabalho



Fonte: autoria própria, 2022.

### 5.2. Metodologia

#### 5.2.1. Fibras de Guarumã

Primeiramente, em laboratório, o caule do Guarumã foi higienizado, aberto e cortado em comprimento médio de 40 cm, colocado em estufa a 70°C por um período de 2 horas. Posteriormente, foram desfiadas manualmente com auxílio de pinça e estilete. A Figura 5 apresenta as fibras de Guarumã após o beneficiamento.

**Figura 5** - Fibras do Guarumã após o beneficiamento.



Fonte: autoria própria, 2022.

#### 5.2.1.1. Caracterização dimensional

A medição do comprimento das fibras foi feita utilizando régua graduada e as medidas foram realizadas em 100 fibras individuais e aleatórias. O diâmetro da fibra foi verificado utilizando microscópio ótico da marca EVEN afiliado ao software Future WinJoe®, apresentado na Figura 6, a análise foi realizada no laboratório de caracterização de materiais da Universidade Federal do Pará (UFPA) campus universitário de Ananindeua.

**Figura 6** – Microscópio ótico



Fonte: autoria própria, 2022.

Levando em consideração que as fibras não possuem geometria circular definida ao longo de seu comprimento, foram realizadas medidas em três posições no comprimento da fibra, em que para cada posição era obtido uma segunda medida girando a fibra em 180°. O diâmetro foi obtido considerando a média dos valores encontrados ao longo do comprimento da fibra. A mesma metodologia foi reproduzida por CANDIDO (2014) para fibras de bagaço de cana de açúcar.

#### 5.2.1.2. Determinação da massa específica

A massa específica da fibra foi determinada através da relação entre massa e o volume da fibra. A massa foi determinada em balança analítica da marca CHYO modelo JK 200 e o diâmetro da fibra foi verificado em microscópio ótico da marca EVEN. A Figura 7 apresenta a balança analítica utilizada para determinação da massa específica da fibra.

**Figura 7** – Balança analítica



**Fonte:** autoria própria, 2022.

O volume foi obtido levando em consideração que a fibra possui geometria cilíndrica perfeita. A Equação 2 mostra a fórmula utilizada para o cálculo do volume médio da fibra.

$$V_m = \frac{\pi * d^2 * L_m}{4} \quad (2)$$

Assim:

$V_m$  – Volume médio da fibra;

$d$  – Diâmetro médio da fibra;

$L_m$  – Comprimento médio.

De acordo com os valores obtidos de massa e volume médio, foi possível calcular a massa específica da fibra, de acordo com a Equação 3.

$$\rho = \frac{m}{V_m} \quad (3)$$

Assim:  $\rho$  – Massa específica;

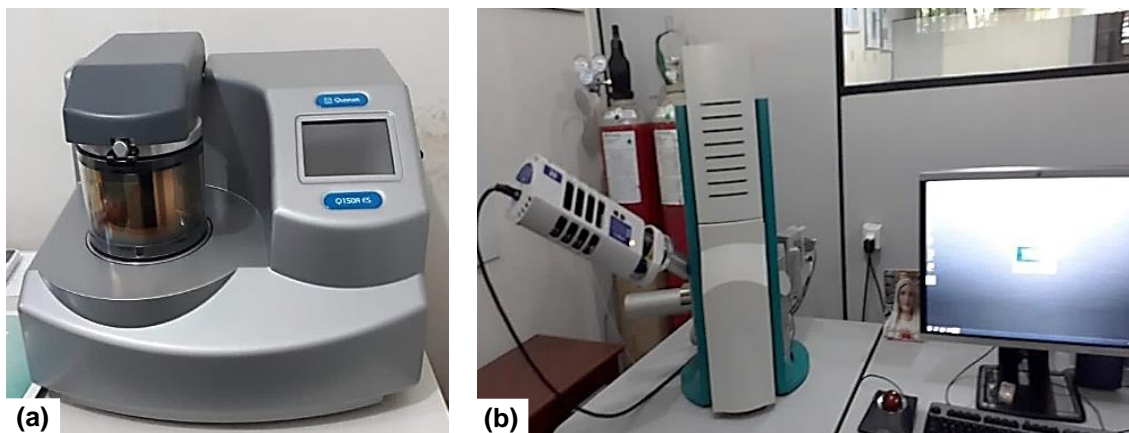
$m$  – Massa;

$V_m$  – Volume médio da fibra.

### 5.2.1.3. Caracterização microestrutural

Para a caracterização microestrutural, as fibras de Guarumã foram observadas por microscópio eletrônico de varredura (MEV) da marca Oxford instruments, modelo x-maxN, no laboratório de microscopia do laboratório de metalografia do Instituto Federal do Pará (IFPA). A Figura 8 apresenta em (a) o metalizador de amostras e em (b) o microscópio eletrônico de varredura utilizados.

**Figura 8** - (a) Metalizador de amostras e em (b) Microscópio eletrônico de varredura



Fonte: autoria própria, 2022.

### 5.2.2. Compósitos

Os compósitos foram fabricados utilizando resina poliéster e fibras de Guarumã com fração volumétrica variando de 10, 20 e 30 % em volume de fibras. Foram fabricados de forma individual em molde de silicone 8 (oito) corpos de prova para cada ensaio e variação volumétrica. A Figura 9 mostra o molde de silicone utilizado para confecção dos corpos de prova.

**Figura 9** – Molde de silicone utilizado na fabricação dos corpos de prova



**Fonte:** autoria própria, 2022.

O Quadro 2 apresenta a relação resina/fibra, utilizados para confecção dos corpos de prova deste trabalho.

**Quadro 2** – Composições formuladas. P – Poliéster, FG - Fibra de Guarumã

Matérias – prima	Composições (% em volume)			
	P0FG	P10FG	P20FG	P30FG
Fibra	0	10	20	30
Resina	100	90	80	70

**Fonte:** autoria própria, 2022.

A quantidade de massa de fibra utilizada para cada corpo de prova foi determinada utilizando a regra da mistura, calculada de acordo com a Equação 4:

$$\%f = \frac{\frac{m_f}{\rho_f}}{\frac{m_f}{\rho_f} + \frac{m_r}{\rho_r}} \quad (4)$$

Assim: %*f* é a porcentagem de fibra;

*m<sub>f</sub>* é a massa da fibra;

*ρ<sub>f</sub>* é a massa específica da fibra;

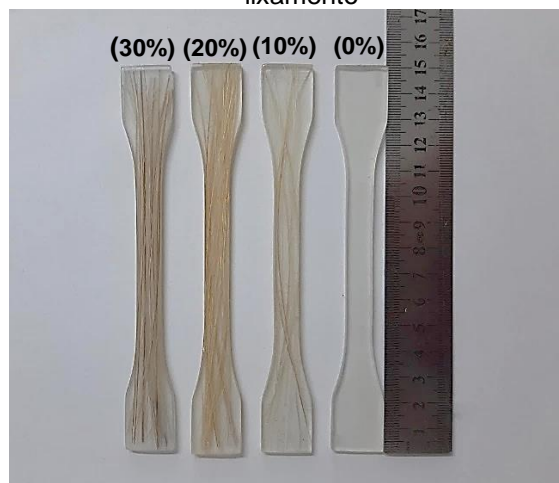
*m<sub>r</sub>* é a massa da resina;

*ρ<sub>r</sub>* é a densidade da resina.

Para o processo de confecção dos corpos de prova, inicialmente pesou-se a resina poliéster em busca da proporção adequada de catalisador a ser utilizado. Posteriormente, resina e catalisador foram misturados e a combinação foi vertida em quantidades predeterminadas de fibras de Guarumã, dispostas de forma alinhada em molde de silicone. A cura do material ocorreu em temperatura ambiente por um período de 24 horas.

Para adequação das dimensões dos corpos de prova e retirada de possíveis irregularidades superficiais oriundas do processo de fabricação manual, foi realizada a etapa de lixamento manual. Assim, para esse processo foram utilizadas lixas com granulometrias variando de P60 a P1500. A Figura 10 apresenta os copos de prova após a etapa de lixamento.

**Figura 10** – Corpos de prova após a etapa de lixamento

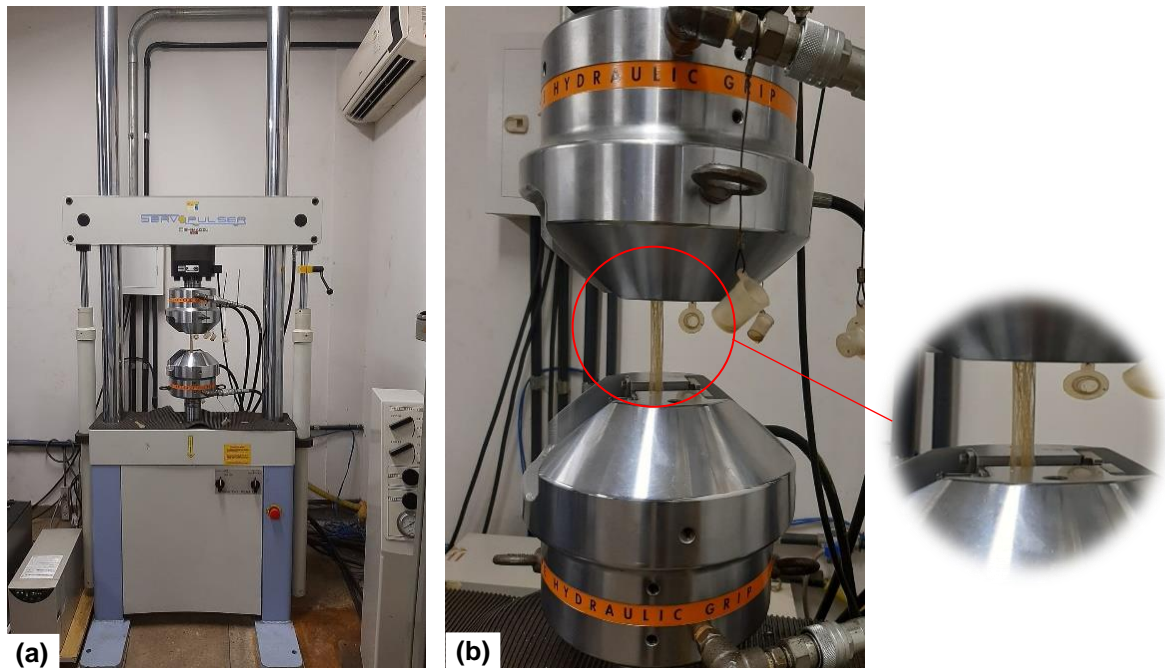


**Fonte:** autoria própria, 2022.

### 5.2.3. Caracterização mecânica dos compósitos

Para a caracterização mecânica em tração, os compósitos foram ensaiados em uma máquina de ensaios da marca Shimadzu, modelo Servopulse – tipo EHF-E, no laboratório de Caracterização de Materiais Metálicos (LCAM), da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Pará (UFPA). O ensaio foi realizado seguindo as recomendações da norma ASTM D 638. A célula de carga utilizada no ensaio foi de 100 KN, a uma velocidade de ensaio de 5 mm/min. A Figura 11 mostra a máquina de ensaio: (a) Vista total frontal da máquina; (b) Vista frontal da máquina na área de engate do corpo de prova destacada num círculo vermelho.

**Figura 11** - Máquina de ensaio: (a) Vista total frontal da máquina; (b) Vista frontal da máquina na área de engate do corpo de prova destacada num círculo vermelho



Fonte: autoria própria, 2022.

### 5.2.4. Análise estatística

Os resultados encontrados foram analisados por meio de análise de variância (ANOVA), por meio de teste F com nível de significância de 5% para os testes. A ANOVA é usada para verificar se não há diferença significativa entre as médias dos resultados obtidos nas propriedades medidas em ensaios mecânicos, alterando a fração volumétrica das fibras nas amostras (PINHEIRO, 2020). A Tabela 6 apresenta os parâmetros estatísticos utilizados para realização da análise de variância.

**Tabela 6** - Parâmetros utilizados na análise de variância (ANOVA)

Fonte da variação	SQ	GL	MQ	F	F crítico
Tratamentos	SQTr	k-1	QMT	QMT/QMR	Tabela F
Resíduos	SQR	k(r-1)	QMR		(5% de significância)
Total	SQT	n-1			

Fonte: PINHEIRO, 2020

Assim:

SQ – Soma dos quadrados;

GL – Número de graus de liberdade;

MQ – Quadrado médio;

F – Estatística F (Fisher);

SQTr – Soma dos quadrados dos tratamentos;

SQR – Soma dos quadrados do resíduo

SQT – Soma dos quadrados total;

k – Número de tratamentos (percentuais de reforço de fibras utilizados);

r – Número de repetições do tratamento;

n – Número total de observações;

n-1 – Número total de graus de liberdade;

QMT – Quadrado médio dos tratamentos;

QMR – Quadrado médio do resíduo.

De acordo com os estudos de VIEIRA (2006), os valores das somas dos quadrados (SQTr, SQT e SQR) e os quadrados médios (QMT e QMR) podem ser obtidos respectivamente através das equações demonstradas em 5, 6, 7, 8 e 9.

$$SQTr = \frac{\sum T^2}{r} - \frac{\sum y^2}{n} \quad (5)$$

$$SQT = \sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n} \quad (6)$$

$$SQR = SQT - SQTr \quad (7)$$

$$QMT = \frac{SQTr}{k-1} \quad (8)$$

$$QMR = \frac{SQR}{k(r-1)} \quad (9)$$

Assim:

T – Valor obtido para cada tratamento;

y – Valor obtido da propriedade.

Assim, quando F calculado for maior ao F crítico, é possível concluir que as médias dos resultados obtidos para cada tratamento são iguais. Se não houver igualdade entre as médias, é necessário verificar se existe diferença significativa entre as médias dos resultados, por tanto é utilizado o teste de Tukey, conhecido como teste da diferença honestamente significativa (HSD), com intuito de avaliar quantitativamente dois a dois cada tratamento, com base na diferença mínima significativa (D.M.S) (VIEIRA, 2006; NASCIMENTO, 2017). A Equação 10 apresenta cálculo da diferença mínima significativa.

$$d.m.s. = q \sqrt{\frac{QMR}{r}} \quad (10)$$

Assim:

q – Amplitude total estudentizada (valor tabelado), é obtida em função do grau de liberdade (GL) do resíduo e do número de tratamentos;

QMR – Quadrado médio do resíduo;

r – Número de repetições para cada tratamento.

Portanto, é possível comparar a influência da porcentagem de fibras de Guarumã incorporadas em matriz poliéster sobre a resistência mecânica das amostras

e concluir qualitativa e quantitativamente que esses resultados são mais expressivos para as propriedades mecânicas estudadas.

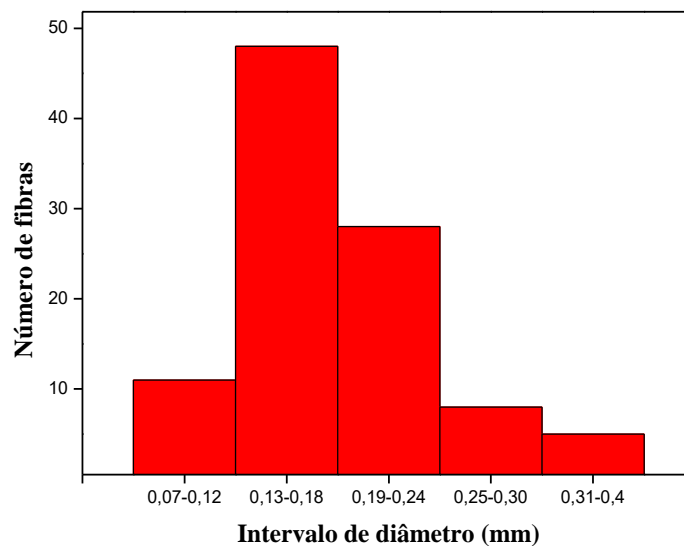
## 6. RESULTADOS

### 6.1. Fibras de Guarumã

#### 6.1.1. Caracterização dimensional e determinação da massa específica das fibras

A análise de distribuição da quantidade de fibras por intervalo de diâmetro foi realizada utilizando 100 fibras aleatórias. A Figura 12 apresenta o gráfico do padrão da distribuição diametral.

**Figura 12** – Padrão de distribuição diametral



**Fonte:** autoria própria, 2022.

É possível observar no gráfico que há uma maior quantidade de fibras no intervalo de 0,13 a 0,18 mm. Tal resultado pode estar associado à natureza das fibras, por se compactas e apresentarem menor diâmetro (CANDIDO, 2014).

A Tabela 6 apresenta a relação da massa específica em função do intervalo diametral da fibra de Guarumã.

**Tabela 7** - Relação da massa específica em função do intervalo de diâmetro

<b>Faixa de diâmetro (mm)</b>	<b>Densidade <math>\rho</math> (g/cm<sup>3</sup>)</b>
0,07-0,12	0,92 $\pm$ 0,36
0,13-0,18	0,54 $\pm$ 0,21
0,19-0,24	0,44 $\pm$ 0,22
0,25-0,30	0,30 $\pm$ 0,15
0,31-0,4	0,25 $\pm$ 0,07

**Fonte:** autoria própria, 2022.

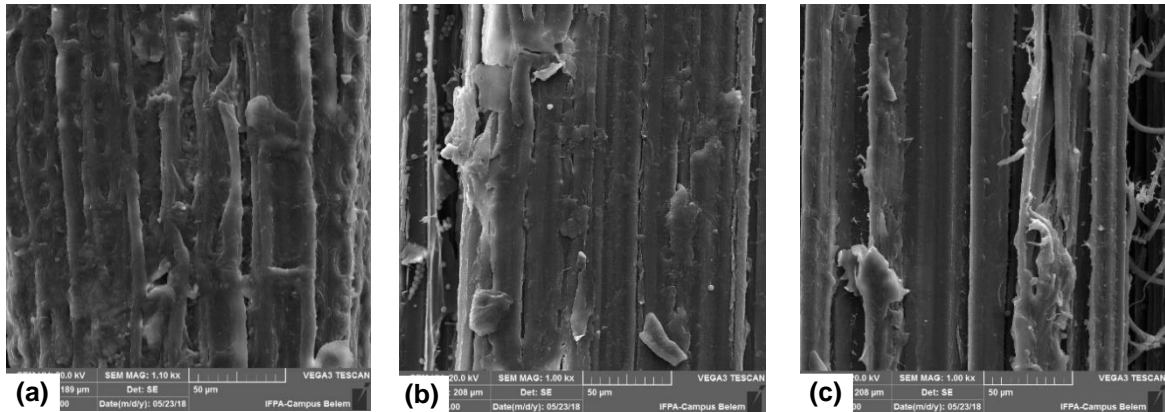
Na Tabela 6 é possível observar que de acordo com aumento do diâmetro, ocorre uma redução da massa específica. Isso sugere que fibras com diâmetros menores são mais compactas e possuem menos espaços vazios em sua microestrutura. O padrão identificado associa-se ao fato de fibras finas terem poros reduzidos para transferência de seiva bruta e elaborada quando comparadas a fibras grossas (PINHEIRO *et al*, 2018).

Em sua pesquisa MARCHI (2022) identificou o mesmo padrão ao realizar a caracterização de fibras de ubim, constatando que fibras que apresentam menor diâmetro possuem menor quantidade de defeitos em sua estrutura, enquanto fibras com maior diâmetro exibem maior quantidade de defeitos, espaços vazios e fibrilas.

### **6.1.2. Caracterização morfológica da fibra de Guarumã**

Foi realizada microscopia eletrônica de varredura (MEV) em fibras de diferentes espessuras, dessa forma, foram utilizadas fibras classificadas como finas, médias e grossas. A Figura 13 apresenta as micrografias obtidas por MEV das fibras de Guarumã em (a) fibras finas aumentada 1.100x; (b) fibras médias aumentada 1.000x; (c) fibras grossas aumentada 1.000x.

**Figura 13** - Microscopia eletrônica de varredura (MEV) das fibras de Guarumã: (a) Fibra fina; (b) Fibra média; (c) Fibra grossa



**Fonte:** autoria própria, 2022.

É possível observar através das micrografias das fibras que elas apresentam rugosidade ao longo de seu comprimento, porém, a fibra classificada como fina Fig. 13 (a) possui menor quantidade de espaços vazios em sua estrutura quando comparadas às fibras médias Fig. 13 (b) e fibras grossas Fig. 13 (c). É importante destacar que as fibras estudadas não passaram por nenhum tipo de tratamento químico.

Para REIS (2020), fibras mais finas possuem menos imperfeições em sua estrutura fibrilar. O mesmo padrão foi observado ao realizar a caracterização de fibras de Guarumã, onde notou que fibras mais grossas, comparadas a fibras mais finas, apresentam maior quantidade de poros e defeitos ao longo de seu comprimento.

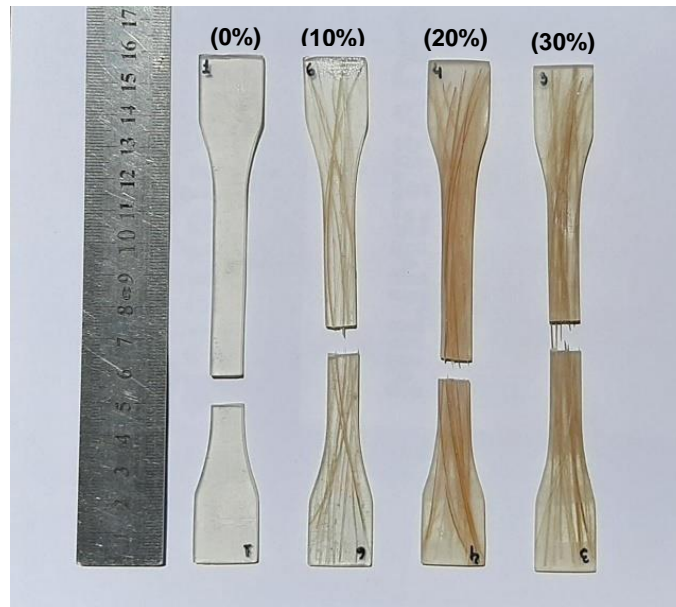
Em seu estudo, PINHEIRO (2019) investigou a relação diametral com a densidade de fibras de Guarumã, e notou que quanto mais grossa a fibra, menor sua densidade. Esse comportamento está diretamente relacionado a quantidade de vazios entre as microfibrilas e imperfeições ao longo da fibra. A análise também destaca que fibras mais grossas apresentam menor resistência e densidade em relação a fibras mais finas.

## 6.2. Compósitos

### 6.2.1. Ensaio de tração

A Figura 14 apresenta o aspecto macroscópico da região da fratura dos corpos de prova após ensaio de tração.

**Figura 14** – Aspecto macroscópico da região da fratura dos corpos de prova após ensaio de tração



Fonte: autoria própria, 2022.

Os corpos de prova exibiram fratura dentro do comprimento útil, sem que houvesse região preferencial, as fraturas foram transversais ao direcionamento do ensaio, esse fato indica que o mecanismo de fratura se associa à propagação das fissuras transversais, indicando características de material frágil (PINHEIRO, 2019). Na Tabela 7 é possível observar os valores referentes à resistência a tração, módulo de elasticidade e à deformação dos compósitos.

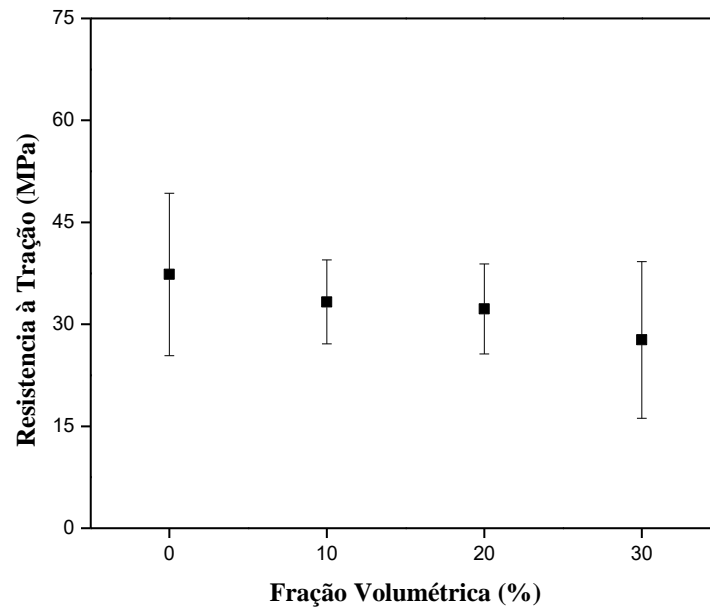
**Tabela 8** – Resultados das propriedades mecânicas obtidas a partir do ensaio de tração

Composição (%)	Resistencia à Tração (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Deformação (mm/mm)
<b>P0FG</b>	39,78 ± 7,56	1,07 ± 0,04	0,038 ± 0,013
<b>P10FG</b>	32,25 ± 3,56	0,93 ± 0,11	0,037 ± 0,007
<b>P20FG</b>	30,59 ± 4,19	0,86 ± 0,18	0,037 ± 0,006
<b>P30FG</b>	27,38 ± 3,98	0,49 ± 0,02	0,047 ± 0,014

Fonte: autoria própria, 2022.

A Figura 15 apresenta o gráfico de resistência a tração dos corpos de prova de matriz poliéster reforçados com fibras de Guarumã.

**Figura 15** – Gráfico de resistência à tração dos compósitos de matriz poliéster reforçados com fibras de Guarumã



**Fonte:** autoria própria, 2022.

Os resultados do ensaio mostram que a incorporação de fibras de Guarumã, ocasionou perda de resistência gradual nos valores médios para essa propriedade na medida em que as fibras são incorporadas a matriz. Entretanto, ao serem observadas as barras de erro, não é possível detectar diferença significativa, valores que podem ser confirmados pela análise de variância (ANOVA).

O valor máximo obtido para essa propriedade foi de 39,78 MPa, e esse é o valor médio de resistência referente a resina pura, o que indica uma perda persistência com a adição de fibras de Guarumã, este valor é inferior ao encontrado por PINHEIRO (2020) ao incorporar fibras de Guarumã em matriz epóxi.

SILVA (2017) ao estudar a resistência em tração de compósitos poliméricos reforçados com fibras de malva, destaca que, ao serem acrescentadas mais fibras a matriz poliéster, é possível observar um ganho de resistência significativo nas propriedades.

A Tabela 8 apresenta a análise de variância (ANOVA) dos compósitos reforçados com fibras de Guarumã.

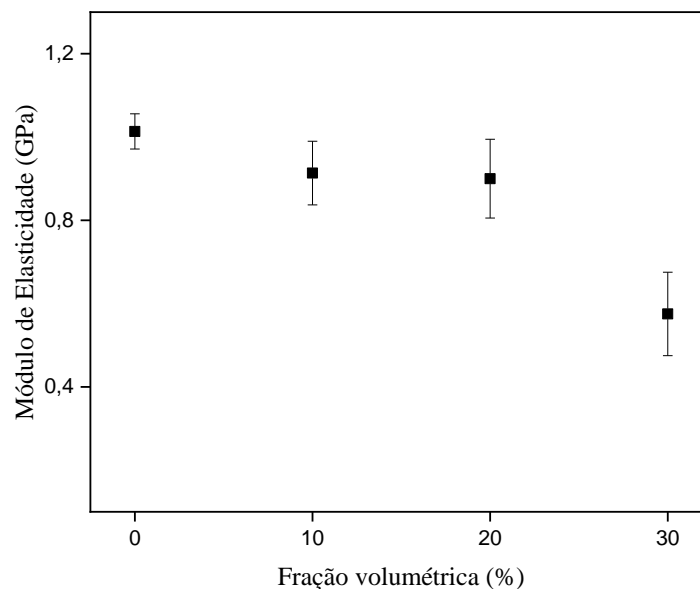
**Tabela 9** - Análise de variância da resistência à tração dos compósitos reforçados com fibras de Guarumã

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
<b>Entre grupos</b>	544,9401	3	181,6467	2,03385	0,131898	2,946685
<b>Dentro dos grupos</b>	2500,73	28	89,31177			
<b>Total</b>	3045,67	31				

**Fonte:** autoria própria, 2022.

Como o  $F_{\text{calculado}}$  (2,04) foi inferior ao  $F_{\text{crítico}}$  (2,95) ao nível de significância  $\alpha=5\%$  aceitando assim a hipótese  $H_0$ , podendo concluir que os tratamentos não possuem efeitos diferentes sobre a propriedade analisada (Resistência a tração) com grau de confiança superior a 95% de probabilidade. Pelo  $P\text{-valor} = 0,13 > \alpha$ , não se rejeita a hipótese nula e que não há diferença significativa para os tratamentos.

**Figura 16** – Gráfico de módulo de elasticidade



**Fonte:** autoria própria, 2022.

O resultado obtido para o módulo de elasticidade do material ensaiado mostrou que a resina poliéster apresenta maior valor para esta propriedade (1,07 GPa), visto que após a adição de fibras de Guarumã houve diminuição nos valores médios. Segundo CALLISTER (2016), o módulo de elasticidade está relacionado com a rigidez

do material, dessa forma, a incorporação de fibras de Guarumã ocasionou perda desta propriedade. Ao serem observadas as barras de erro apenas os compósitos com 30% de fibra de Guarumã apresentam diferença significativa nos resultados.

SANCHEZ (2010) ao investigar a influência do tratamento das fibras de bagaço de cana-de-açúcar em resina poliéster observou que, não houve melhora significativamente do módulo de elasticidade em tração dos compósitos em relação a resina. O mesmo foi observado por PEREIRA (2021) ao estudar as propriedades mecânicas em tração de compósitos de matriz poliéster isofitálica, ortofitálica e resina epóxi em fibras da folha de buriti, o autor percebeu que ao acrescentar as fibras da folha de buriti em matriz epóxi e poliéster isofitálico é possível observar um ganho de resistência nas propriedades do compósito, o mesmo não ocorre para o poliéster ortofitálica que não apresenta ganho significativo de resistência.

Foi realizada a análise de variância (ANOVA) para verificar se houve diferença significativa entre os valores médios do módulo de elasticidade dos compósitos. A Tabela 9 apresenta a análise de variância (ANOVA) referente ao módulo de elasticidade dos compósitos reforçados com fibras de Guarumã.

**Tabela 10** - Análise de variância do módulo de elasticidade dos compósitos reforçados com fibras de Guarumã

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
<b>Entre grupos</b>	0,870408	3	0,290136	5,444806	0,004456	2,946685
<b>Dentro dos grupos</b>	1,492028	28	0,053287			
<b>Total</b>	2,362436	31				

**Fonte:** autoria própria, 2022.

Como o  $F_{\text{calculado}}$  (5,44) foi superior ao  $F_{\text{crítico}}$  (2,95) ao nível de significância  $\alpha=5\%$ , mostrando, portanto, pelo menos uma diferença significativa para os tratamentos, rejeitando assim a hipótese  $H_0$ , podendo concluir que os tratamentos possuem efeitos diferentes sobre a propriedade analisada (módulo de elasticidade) com grau de confiança superior a 95% de probabilidade. Pelo  $P\text{-valor} = 0,004 < \alpha$ , deve-se rejeitar a hipótese nula também e que existe uma diferença significativa para os tratamentos. Como  $H_0$  (hipótese nula) foi rejeitada, pode-se verificar os tratamentos que diferem

entre si, utilizando o teste de Tukey que permite a comparação das médias, uma a uma, e assim identificar quais as diferenças entre os resultados

**Quadro 3** - Teste de Tukey do módulo de elasticidade dos compósitos

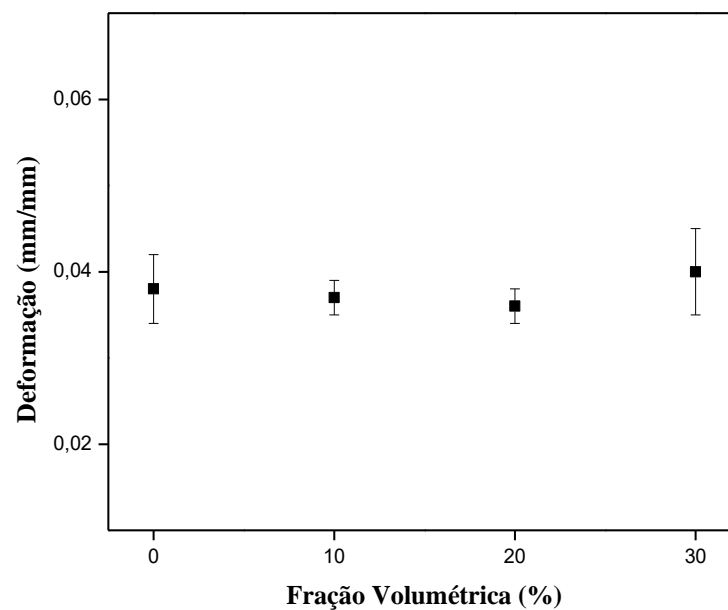
Compósitos	P0FG	P10FG	P20FG	P30FG
<b>P0FG</b>	0	0,099861	0,113431	<b>0,438297</b>
<b>P10FG</b>	0,099861	0	0,01357	<b>0,338436</b>
<b>P20FG</b>	0,113431	0,01357	0	<b>0,324866</b>
<b>P30FG</b>	<b>0,438297</b>	<b>0,338436</b>	<b>0,324866</b>	0

Fonte: autoria própria, 2022.

O teste de Tukey leva em consideração o valor do DMS (diferença mínima significativa). O valor de DMS calculado foi de 0,315, portanto, apenas os compósitos com volume de 30% de volume em fibras diferem das demais (0,10,20). As demais composições (não destacadas no quadro 3) não apresentaram diferença significativa.

Figura 17 apresenta o gráfico de deformação ocorrida no ensaio de tração.

Figura 17 – Gráfico de deformação



Fonte: autoria própria, 2022.

É possível observar um leve decréscimo na deformação nos compósitos de 10 e 20% de volume em fibra de Guarumã em relação a resina poliéster, no entanto, os compósitos com 30% de volume em fibra apresentaram um aumento em sua deformação. Ao serem observadas as barras de erros não foi possível observar diferenças significativas no resultado.

Realizou-se a análise de variância (ANOVA) para verificar a diferença significativa entre as médias de deformação dos compósitos. A Tabela 10 mostra a análise de variância (ANOVA) referente a deformação.

**Tabela 11** - Análise de variância da deformação dos compósitos reforçados com fibras de Guarumã

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
<b>Entre grupos</b>	0,000583	3	0,000194	1,760495	0,177583	2,946685
<b>Dentro dos grupos</b>	0,003092	28	0,00011			
<b>Total</b>	0,003676	31				

**Fonte:** autoria própria, 2022.

Como o  $F_{\text{calculado}}$  (1,76) foi inferior ao  $F_{\text{crítico}}$  (2,95) ao nível de significância  $\alpha=5\%$  não rejeitando assim a hipótese  $H_0$ , podendo concluir que os tratamentos não possuem efeitos diferentes sobre a propriedade analisada (deformação), com grau de confiança superior a 95% de probabilidade. Pelo  $P\text{-valor} = 0,18 > \alpha$ , não se rejeita a hipótese nula e que não há diferença significativa para os tratamentos.

Os resultados obtidos podem estar relacionados ao método de fabricação dos compósitos, visto que, o mesmo pode ter gerado concentradores de tensões internas no material, ocasionando perda de resistência. Outra possibilidade observada neste trabalho é a associação à uma baixa adesão entre Fibra/Matriz, dificultando a transferência de carga ao longo do comprimento da fibra colaborando para perda de resistência mecânica.

## 7. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos para determinação das propriedades mecânicas dos compósitos de matriz poliéster reforçados com fibras longas de Guarumã mostrou que: a maior quantidade de fibras de Guarumã está presente no intervalo 0,13 mm a 0,18 mm.

A massa específica das fibras reduziu com o aumento do diâmetro, isso porque fibras com menor diâmetro são mais compactas, dessa forma, apresentam menor quantidade de espaços vazios, isso é atribuído a menor quantidade de defeitos em sua microestrutura.

A microscopia eletrônica de varredura revelou que as fibras apresentam grandes áreas rugosas, entretanto, fibras mais finas possuem menor quantidade de defeitos em sua estrutura. Tal padrão pode indicar que fibras mais grossas podem apresentar menor resistência mecânica quando comparado a fibras mais finas.

A caracterização mecânica dos compósitos mostrou que, a adição de fibras de Guarumã em matriz poliéster não apresentou aumento de resistência à tração dos compósitos o maior valor médio encontrado foi de 39,78 MPa, e esse é o resultado médio de resistência comparada a resina pura. Além disso, observou-se uma diminuição do módulo de elasticidade e aumento da deformação.

Guarumã é uma planta amazônica ainda pouco conhecida e explorada. Atualmente existem poucas pesquisas direcionada à área de materiais compósitos reforçados com as fibras desta planta. Assim, esta pesquisa pode ser considerada uma precursora na utilização dessa fibra, possibilitando que a mesma seja estudada como possível reforço em outras matrizes. Uma vez que há avidez na busca da atualização de seu uso nos mais diversos seguimentos da indústria e comércio.

## 8. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Tendo como base o presente estudo, a seguir são apresentadas algumas sugestões para a continuação a esse trabalho:

- Estudar a relação entre a resistência mecânica e a distribuição diametral das fibras de Guarumã;
- Produzir compósitos de matriz poliéster reforçados com fibras de Guarumã finas, médias e grossas;
- Caracterizar mecanicamente através de ensaios de flexão e impacto, os compósitos de matriz poliéster reforçados com fibras de Guarumã;
- Estudar o efeito do tratamento químico das fibras de Guarumã no desempenho mecânico das fibras e dos compósitos;
- Avaliar a adesão fibra/matriz através da microscopia eletrônica de varredura das fraturas;
- Investigar o desempenho mecânico de outras matrizes poliméricas, quando reforçados com fibras de Guarumã.

É importante destacar a importância da continuidade de pesquisas associando as fibras de Guarumã à materiais compósitos, buscando a estabilidade entre matriz e reforço, com ênfase no uso e aplicação de matérias-primas de fontes renováveis.

## REFERÊNCIAS

- ASKELAND, Donald R. **Ciência e engenharia dos materiais**. 3. ed. São Paulo: Cengage learning, 2014.
- BORÉM, Aluizio; MIRANDA, Glauco V.; FRITSCHÉ-NETO, Roberto. **Melhoramento de plantas**. Oficina de Textos, 2021.
- CALLISTER, W. D. Jr. **Ciência e Tecnologia de Materiais: uma introdução**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.
- CANDIDO, V. S. **Caracterização e propriedades de compósitos poliméricos reforçados com fibras de bagaço de cana-de-açúcar**; orientado por Sergio Neves Monteiro – Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2014.
- Canevarolo Jr., Sebastião V. **Ciência dos polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. Sebastião V. Canevarolo Jr. -- São Paulo: Artliber Editora, 2010.
- Costa, M. O., Sousa, F. D., Sousa, F. D., & Andrade, S. M. C. (2014). **Ensaio de tração e de absorção de água em compósitos de resina poliéster e fibra de tala de guarumã**. In *21º CBECIMAT-Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais*.
- COSTA, P., Zohrer, R da et al. **Tecnologia de fabricação de Eco-compósitos aplicados a produtos artesanais e protótipos em plantas mínimas**. 2018.
- DA SILVA, V. B., FEITOSA, Y. M., MARADINI, G., DE ALMEIDA, S. M., & OLIVEIRA, M. P. (2019). **Análise De Absorção De Água Em Compósitos De Óleo De Mamona Reforçado Com Bagaço De Cana De Açúcar**. 2019
- DE ALCÂNTARA, J. A. C. **Remoção de lignina e hemiceluloses do sisal utilizando pré-tratamentos ácidos e alcalinos**. 2016.
- FERREIRA, S. R. et al. **Effect of hornification on the structure, tensile behavior and fiber matrix bond of sisal, jute and curauá fiber cement based composite systems**. *Construction and Building Materials*, Elsevier, v. 139, p. 551–561, 2017.
- FETTER, P. A. G. **Projeto e fabricação do aerofólio traseiro de um carro de competição em material compósito**. 2018.
- FORNARI J., CELSO C. M. **Fibras vegetais para compósitos poliméricos** / Celso Carlino Maria Fornari Junior. – Ilhéus, BA: Editus, 2017.

GIACOMINI, N. P. **Compósitos reforçados com fibras naturais para a indústria automobilística**. 2003. p.21. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade de São Paulo. 2003.

MANO, E. B. **Introdução a polímeros**. São Paulo: Edgard Blücher, 2004.

MARCHI, B. Z., OLIVEIRA, M. S., BEZERRA, W. B. A., DE SOUSA, T. G., CANDIDO, V. S., DA SILVA, A. C. R., & MONTEIRO, S. N. (2022). **Ubim Fiber (Geonoma baculífera): A Less Known Brazilian Amazon Natural Fiber for Engineering Applications**. *Sustainability*. v. 14, n. 1, p. 421, 2022.

MARDIN H, WARDANA I.N.G, SUPRAPTO W, KAMIL K. Effect of sugar palm fiber surface on interfacial bonding with natural sago matrix. Advances in Materials Margem, Jean Igor; Margem, Marina Rangel; Moraes, Ygor Macabu de; Margem, Frederico Muylaert; Monteiro, Sergio Neves. **Avaliação Do Comportamento Das Trações Tratativas Em Compósitos De Matriz Poliéster Reforçados Com Fibras De Sisal, Bambu E Malva** , p. 2987-2994. In: *72nd ABM Annual Congress*, São Paulo, 2017.

MARINUCCI, G. **Materiais compósitos poliéricos**. São Paulo: Artiliber, 2011.

MENDES, B. H. A. **Estudo da influência da incorporação de resíduos do beneficiamento de caulim nas propriedades de compósitos de matriz polimérica reforçada com fibra de Bambu (*Bambusa vulgaris*)**. 2019. 83f. Dissertação (Mestrado em Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal do Pará, 2019.

MOHAMMED, L.; ANSARI, M. N.; PUA, G.; JAWAID, M.; ISLAM, M. S. **A review on natural fiber reinforced polymer composite and its applications**. *International Journal of Polymer Science*, v. 2015, pp.1-15, 2015.

Monteiro, S. N., Lopes, F. P. D., Barbosa, A. P., Bevitori, A. B., Silva, I. L. A. D., & Costa, L. L. D. (2011). **Natural lignocellulosic fibers as engineering materials—An overview**. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 42(10), 2963-2974.

MONTEIRO, S.N. et al. **Natural Lignocellulosic Fibers as Engineering Materials - An Overview**. *Metallurgical And Materials Transactions A*, v. 42A, p.2963-2974, 2011.

NASCIMENTO, L. F. C. **Caracterização do compósito epóxi-fibra de malva para emprego em blindagem balística multicamada**. 2017. 179f. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais) – Instituto Militar de Engenharia, 2017.

NASCIMENTO, L. F. C. **Caracterização do compósito epóxi-fibra de malva para emprego em blindagem balística multicamada**. 2017. 179f. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais) – Instituto Militar de Engenharia, 2017.

Neto, F. L., & Pardini, L. C. (2016). **Compósitos estruturais: ciência e tecnologia**. Editora Blucher.

Oliveira, J., Potiguara, R. C. D. V., & Lobato, L. C. B. (2006). **Fibras vegetais utilizadas na pesca artesanal na microrregião do Salgado, Pará**. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas, 1(2), 113-127.

OLIVEIRA, J.; POTIGUARA. R.C.; LOBATO, L.C.B.; **Fibras vegetais utilizadas na pesca artesanal na microrregião do Salgado, Pará. Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Ciências Humanas**, Belém, v. 1, n. 2, 113-127 p., maio-ago, 2006.

PEREIRA, A. C. **Propriedades e estrutura de compósitos poliméricos reforçados com fibras e tecido de fique** / Artur Camposo Pereira; orientado por Sergio Neves Monteiro – Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2017.

PEREIRA, W. A., CERON, I., SILVA, M. S., FREITAS, M. P. C. D., SILVA, E. R. D., & COSTA, F. M. D. (2021). **Desenvolvimento de compósitos poliméricos reforçados com fibra da folha do buriti**. *Matéria (Rio de Janeiro)*, 26. 2021.

PINHEIRO, M. A. **Determinação das propriedades de tração de compósitos de matriz epóxi reforçados com fibra de Guarumã**. Miriane Pinheiro Alexandrino. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Ciência e Tecnologia, Campus Universitário de Ananindeua, Universidade Federal do Pará, Ananindeua, 2018.

PINHEIRO, M. A. **OBTENÇÃO DE MATERIAIS COMPÓSITOS DE MATRIZ EPÓXI REFORÇADOS COM FIBRA DE GUARUMÃ (Ischnosiphon arouma)**. Miriane Pinheiro Alexandrino. 2018. Dissertação de mestrado (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, 2020.

PINHEIRO, M. A., GOMES, L. G., SILVA, A. C. R. D., CANDIDO, V. S., REIS, R. H. M., & MONTEIRO, S. N. (2019). **Guaruman: a Natural Amazonian Fiber with Potential for Polymer Composite Reinforcement**. *Materials Research*, 22.

PINHEIRO, M. A., MONTEIRO, S. N., GOME, L. G., DA SILVA, A. C. R., & CANDIDO, V. S. **ANÁLISE MECÂNICA E MICROESTRUTURAL DE COMPÓSITOS DE MATRIZ EPÓXI REFORÇADOS COM FIBRAS DE GUARUMÃ**. 73º Congresso Anual da ABM – Internacional, parte integrante da ABM Week, 2018, São Paulo, SP, Brasil.

PINHEIRO, M.A, MONTEIRO S.N, GOMES L.G, SILVA A.C.R da, CANDIDO V.S. **Análise mecânica e microestrutural de compósitos de matriz epóxi reforçados com fibras de guarumã**. 73º Congresso Anual da ABM, 2018. 688-697.

PINTO, M. V. S et al. **Estudo higrotérmico de compósitos poliméricos reforçados por fibras vegetais juta/algodão manufaturado por RTM: caracterização mecânica e sorção de água.** 2018.

REIS, R. H. M; NUNES, L. F; OLIVEIRA, M. S; JUNIOR, V. F. DE V; FILHO, F. DA C. G; PINHEIRO, M. A; CANDIDO, V. S; MONTEIRO, S. N. **Guaruman fiber: another possible reinforcement in composites.** Journal of Materials Research and Technology-JMR&T, v. 9, p. 622-628, 2020.

SANCHEZ, E., Cavani, C. S., Leal, C. V., & Sanchez, C. G. (2010). **Compósito de resina de poliéster insaturado com bagaço de cana-de-açúcar: influência do tratamento das fibras nas propriedades.** *Polímeros*, 20(3), 194-200. 2010.

SANJAY, M. R.; ARPITHA, G. R.; NAIK, L. L.; GOPALAKRISHNA, K.; YOGESHA, B. Applications of natural fibers and its composites: An overview. **Natural Resources**, v. 7, n. 03, pp. 108, 2016.

SCHMIDT, T. M. **Investigação de fibras vegetais como promotores de fluxo na moldagem por transferência de resina.**

016. 106 f. Tese (Doutor em engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016. Science and Engineering, 2016.

SILAEX. **Poliéster insaturado.** SILAEX, 2020. Disponível em <http://www.silaex.com.br>, Acessado 17 de outubro de 2020.

SILVA, Cleonice Gonçalves et al. **Estudo de pré-tratamento e hidrólise com ácidos orgânicos no isolamento de fibras de celulose.** 2019.

SILVA, L. C da; MORAES, Y. M De; RIBEIRO, C; SOUZA, D; LOPES, F. P. D; MARGEM, J. I; MARGEM, F. M. M; MONTEIRO, S. N. **Avaliação Da Resistência À Tração Em Compositos De Matriz De Poliester Reforçados Com Fibras De Malva** , p. 1869-1874. In: *72nd ABM Annual Congress*, São Paulo, 2017.

SOARES, Rogério de Souza et al. **Avaliação da resistência à tração de materiais compósitos reforçados com fibras contínuas de Curauá.** 2019.

VIEIRA, S. *Análise de variância (Anova)*. São Paulo: Atlas, 2006.