



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE BOM JESUS DA LAPA
ENGENHARIA MECÂNICA**

JOANNE PEREIRA PORTO

**ANÁLISE FÍSICO-MECÂNICA DE COMPÓSITO POLIMÉRICO COM REFORÇO
BIDIRECIONAL DA FIBRA DE BANANEIRA (*Musa*)**

**BOM JESUS DA LAPA
2023**

JOANNE PEREIRA PORTO

**ANÁLISE FÍSICO-MECÂNICA DE COMPÓSITO POLIMÉRICO COM REFORÇO
BIDIRECIONAL DA FIBRA DE BANANEIRA (*Musa*)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica, do Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa, da Universidade Federal do Oeste da Bahia, para aprovação na Disciplina Trabalho de Conclusão de Curso.

ORIENTADOR: PROF. ME. FILIPI MARQUES DE SOUZA

**BOM JESUS DA LAPA
2023**

JOANNE PEREIRA PORTO

**ANÁLISE FÍSICO-MECÂNICA DE COMPÓSITO POLIMÉRICO COM REFORÇO
BIDIRECIONAL DA FIBRA DE BANANEIRA (*Musa*)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica, do Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa, da Universidade Federal do Oeste da Bahia, para aprovação na Disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso.

Bom Jesus da Lapa, 11, julho de 2023.

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou este Projeto:

Filipi Marques de Souza

Prof. Me.

Universidade Federal do Oeste da Bahia

Lucas Aninger de Barros Rocha

Prof. Me.

Universidade Federal do Oeste da Bahia

Edgley Alves de Oliveira Paula

Me.

Universidade Federal Rural do Semi-Árido

FICHA CATALOGRÁFICA

P447

Porto, Joanne Pereira

Análise físico-mecânica de compósito polimérico com reforço bidirecional da fibra da bananeira (*Musa*). / Joanne Pereira Porto. – 2023.

46f.:

Orientador: Prof. Me. Filipi Marques de Souza

TCC - Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Oeste da Bahia. Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa - BA, 2023.

1. Engenharia Mecânica. I. Souza, Filipi Marques de. II. Universidade Federal do Oeste da Bahia – Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa - BA. III. Título.

CDD 620.1

Biblioteca Universitária de Bom Jesus da Lapa – UFOB

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha mãe Irenilce e ao meu pai Joaquim por todo suporte dado e por serem minha fonte de inspiração para lutar pelos meus objetivos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador e amigo professor Me. Filipi Marques de Souza, por todo apoio e conhecimento passado, além de todo incentivo durante minha vida acadêmica.

A minha mãe Irenilce, por todo apoio dado, por ser meu alicerce durante toda minha jornada acadêmica e me incentivar todos os dias a buscar pelo meu sonho. Espero um dia retribuir toda dedicação.

Ao meu pai Joaquim, pela paciência e dedicação a nossa família, agradeço também por todo apoio durante toda minha vida.

Ao meu irmão Henrique pelo incentivo e por apoiar meu sonho desde o princípio, agradeço todo carinho.

Ao meu primo Caio, por todo suporte dado desde o início da minha vida acadêmica, por estar sempre disponível e empenhado para que meu sonho fosse adiante.

A minha avó Irene, por todas orações diárias atribuídas também ao meu crescimento profissional e a toda minha família que pôde contribuir de alguma maneira em meu desenvolvimento pessoal e profissional.

A Humberto Loranne, por toda assistência dada principalmente nessa reta final do meu curso e por todo incentivo.

Ao Matheus Laranjeira, morador do Projeto Formoso, por todo conhecimento passado a partir das suas experiências diárias.

A artesã Rita Teixeira, por ter contribuído com seus conhecimentos e incrementado este trabalho.

A todos meus amigos que participaram de alguma forma em meu crescimento, em especial, Isabel e Fernanda que estiveram comigo desde o início da minha vida acadêmica, com todo o suporte necessário.

A todos os colaboradores da UFOB, em especial, a todos os professores do curso de engenharia mecânica pelos ensinamentos entregues.

EPÍGRAFE

*Só uma coisa morta segue a correnteza.
Tem que estar vivo para contrariá-la.*
(G. K. Chesterton, 1925)

RESUMO

A cidade de Bom Jesus da Lapa localizada no estado da Bahia é conhecida por ser a maior produtora de banana do Brasil. O cultivo desta fruta gera rejeitos que podem ser prejudiciais à produção, uma vez que servem de viveiro para a proliferação de pragas, além de dificultar o acesso para extração do produto final da produção. O pseudocaule da bananeira é um o principal responsável por essa geração de rejeito por ser totalmente descartado, para solucionar este problema o estudo verificará a possibilidade de utilização desse material em aplicações de engenharia. Desta forma, este trabalho tem como objetivo a fabricação de um compósito polimérico de fibra do pseudocaule da bananeira utilizando um tecido bidirecional, ao qual foi desenvolvido através de um tear manual. A fibra foi extraída do pseudocaule da bananeira de banana da prata no Projeto Formoso, localizado a 20 km do município de Bom Jesus da Lapa na Bahia, situado no setor 8, solo rico em argila. Os corpos de prova foram produzidos na Oficina Mecânica pertencente a Universidade Federal do Oeste da Bahia e foi submetido a ensaios de resistência à tração e percentual mássico de fibra para análise das suas propriedades, onde verificou-se um aumento de resistência a tração significativo quanto ao elevado teor de fibras, em especial, para as fibras longas no sentido 45° / -45° que obteve resultados importantes para a propagação da trinca no sentido da seção transversal.

Palavras-chave: Pseudocaule da bananeira. Resíduos. Tear manual. Propriedades mecânicas.

ABSTRACT

The city of Bom Jesus da Lapa located in the state of Bahia is known for being the largest banana producer in Brazil. The cultivation of this fruit generates waste that can be harmful to production, since it serves as a breeding ground for the proliferation of pests, in addition to making access difficult for the extraction of the final product of production. The pseudostem of the banana tree is the main responsible for this generation of waste because it is completely discarded, to solve this problem the study will verify the possibility of using this material in engineering applications. In this way, this work aims to manufacture a polymeric composite of banana pseudostem fiber using a bidirectional fabric, which was developed through a manual loom. The fiber was extracted from the pseudostem of the Banana da Prata banana tree in Projeto Formoso, located 20 km from the municipality of Bom Jesus da Lapa in Bahia, located in sector 8, soil rich in clay. The specimens were produced in the Mechanical Workshop belonging to the Federal University of West Bahia and were subjected to tests of tensile strength and fiber mass percentage for analysis of their properties, where there was a significant increase in tensile strength in terms of the high fiber content, especially for long fibers in the 45°/-45° direction, which obtained important results for crack propagation in the cross-sectional direction.

Keywords: Banana pseudostem. Waste. Manual loom. Mechanical properties.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Reforços Fibrosos: a) Tecido unidirecional; b) Tecido bidirecional; c) Manta de fios contínuos; d) Manta de fibra picada.	21
Figura 2 – Classificação das matrizes poliméricas.	23
Figura 3 – Falhas durante o processo de ensaio de resistência a tração.	25
Figura 4 – Fluxograma etapas de fabricação e testes do compósito.	27
Figura 5 – Localização do Setor 8 no Projeto Formoso.	27
Figura 6 – Fibra extraída da bananeira.	28
Figura 7 – Corte das fibras da bananeira (Musa).	29
Figura 8 – Fibras da bananeira: a) Submersa em água; b) Extração das fibras; c) Fibras secas.	30
Figura 9 – Fabricação do tear e produção do tecido: a) Corte madeira Pinus; b) Furo lateral com distância de 1 mm; c) Tear confeccionado; d) Mechas na urdidura; e) Tecido confeccionado.	30
Figura 10 – Desmoldante/ Massa de calafetar/ Aplicação de ambos.	32
Figura 11 – Compósito.	33
Figura 12 – Corpo de prova para ensaio de tração: a) CP conforme norma ASTM D 3039; b) Placa para confecção dos CPs; c) CPs fibras com ângulo 0°/90°; d) CPs fibras com ângulo 45°/-45°.	33
Figura 13 – Ensaio de tração: a) CP (0°/90°); b) CP (45°/-45°).	35
Figura 14: Gráfico análise de Tensão x Deformação (0°/90°).	37
Figura 15: Análise de fratura após o ensaio de tração fibras no sentido (0°/90°).	37
Figura 16: Gráfico análise de Tensão x Deformação (45°/-45°).	39
Figura 17: Análise de fratura após o ensaio de tração fibras no sentido (45°/-45°).	39
Figura 18: Gráfico da tensão máxima dos CPs 0°/90° e 45°/-45°.	40
Figura 19: Gráfico do módulo de elasticidade dos CPs 0°/90° e 45°/-45°.	41

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1	35
Equação 2	35
Equação 3	35
Equação 4	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Propriedades mecânicas dos corpos de prova estruturado a ($0^{\circ}/90^{\circ}$).	38
Tabela 2: Propriedades mecânicas dos corpos de prova estruturado a ($45^{\circ}/-45^{\circ}$).	40
Tabela 3: Propriedades mecânicas do ensaio de tração para CPs de fibras longas e curtas.	42

LISTA DE ABREVIACES E SIGLAS

Abreviaturas

CP	Corpo de prova
km	Quilmetro
mm	Milímetro
mm/min	Milímetro por minuto
MPa	Mega Pascal
N	Newton
g	Grama
%	Porcentagem

Siglas

ABNT	Associa Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	American Society for Testing and Materials
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolos

σ	Tensão
σ_f	Tensão final
σ_i	Tensão inicial
F	Força
A_0	Área da seção transversal
ε	Deformação
δ	Variação do comprimento
L_0	Comprimento inicial
E	Módulo de elasticidade
FM_f	Fração mássica da fibra
m_f	Massa do tecido antes da laminação
m_c	Massa do tecido depois de confeccionado

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	OBJETIVOS	18
2.1	Objetivo geral	18
2.2	Objetivo específico	18
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
3.1	Materiais compósitos	19
3.1.1	Compósitos fibrosos	19
3.1.2	Constituintes	20
3.1.2.1	Reforços fibrosos	20
3.1.2.1.1	Fibra natural	21
3.1.2.2	Matrizes poliméricas	22
3.1.2.2.1	Matrizes termofixas	22
3.2	Processos de fabricação	23
3.2.1	Fabricação de compósitos	23
3.2.1.1	Processo de fabricação por laminação manual	24
3.3	Caracterização dos compósitos de fibra natural	24
3.3.1	Ensaio de tração	25
3.4	Aplicações de compósitos reforçados com fibras vegetais	25
4	METODOLOGIA	27
4.1	Obtenção e preparo da matéria prima	27
4.2	Fabricação tear e produção do tecido de bananeira	30
4.3	Confecção do compósito e obtenção dos corpos de prova	32
4.4	Ensaio de resistência à tração	34
4.5	Ensaio de percentual mássico de fibra	36
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
5.1	Determinação do ensaio de percentual mássico de fibra	36

5.2	Resultado do ensaio de tração uniaxial para os corpos de prova no ângulo de 0°/90°	37
5.3	Resultado do ensaio de tração uniaxial para os corpos de prova no ângulo de 45°/-45°	38
5.4	Resultado entre corpos de prova com diferentes angulações	40
6	CONCLUSÃO	43
7	SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	43
	REFERÊNCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

O Levantamento Sistemático de Produção Agrícola mostra que o Brasil se encontra na quarta posição como maior produtor mundial de banana, totalizando 7,1 milhões de toneladas em 467 mil hectares. As condições climáticas são favoráveis para o cultivo da banana de Norte a Sul do país ao decorrer do ano, estando presente em 202 mil unidades rurais (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2022). Um dos motivos que causaram a elevação no grau de tecnologia empregues na bananicultura nacional, consiste na construção de projetos públicos de irrigação situados no Norte de Minas Gerais, em Bom Jesus da Lapa – Bahia, Vale do São Francisco, Vale do Jaguaripe – Ceará e Vale do Açu – Rio Grande do Norte (LUCENA et al., 2013).

Nos últimos anos, os materiais compósitos têm sido extensivamente utilizados em uma variedade de aplicações nos diferentes setores industriais. Contudo, a falta de adesão da superfície ao componente fibroso/matriz dos materiais compósitos é o principal obstáculo para o uso efetivo desses materiais. As características dos materiais fibrosos que ocorrem naturalmente são semelhantes aos hidrofóbicos que são propriedades dos materiais poliméricos. Diversos tratamentos físicos e químicos são sugeridos na literatura para melhorar as propriedades de materiais compostos por fibras naturais. A fase de tratamento das fibras encontra-se a modificação química, permitindo que os grupos apolares promovam maior conformidade entre fibra e matriz (LEÃO, 2012).

Cada vez mais há a necessidade da disseminação de soluções sustentáveis com o objetivo de gerar impacto global positivo e, conseqüentemente, provocar mudanças no comportamento do consumidor e das indústrias. O desenvolvimento de novos materiais foi estimulado pela pesquisa preocupada com a educação ambiental em uma sociedade acostumada ao uso de materiais como o plástico, que vem de recursos não renováveis (NIAOUNAKIS, 2015).

Melhorias em relação a custo benefício e o ciclo de vida dos produtos são temas de interesse da ciência, porém, sem abrir mão da qualidade e durabilidade do material. Como resultado, vários estudos usando vários materiais foram conduzidos para fortalecer muitos tipos de materiais. A utilização de fibras naturais como reforço visa aumentar o reaproveitamento do produto, reduzir sua densidade ou até mesmo reduzir os custos de fabricação, além de favorecer o emprego de materiais não poluentes (CARVALHO, 2015). As fibras vegetais de sisal, coco, juta e banana, assim como as da madeira, bagaço e bambu, são os materiais de reforço mais

utilizados em compósitos reforçados (LOPES, 2020).

A cultura da banana (*Musa*) é responsável pela produção de quantidades significativas de resíduos vegetais, incluindo folha, pseudocaule, engaço, coração e descarte do fruto. A finalidade inadequada desses subprodutos pode contribuir para a ocorrência de problemas ambientais e fitossanitários. Todavia, os produtos residuais produzidos pela bananicultura têm grande potencial de aproveitamento como biomassa para diversas finalidades, incluindo adubação, alimentação animal, produção de material celular e geração de energia, como demonstram as culturas de cana-de-açúcar, café e arroz. Estudos que valorizam e usam os resíduos da indústria agrícola contribuem para o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis, bem como para o avanço regional e social (ATHAYDE, 2014).

A tecelagem é conhecida como uma das artes mais antigas do mundo, historiadores certificam que ela se destacou inicialmente em vários instantes do período Paleolítico em cavernas na Criméia, onde “foram identificados teares feitos com placas de ossos crivadas com orifícios reduzidos” como modo de proteção, possuindo também outras manifestações dessa chegada no fim do período Mesolítico, 500 A.C. (BOUCHER, 2010, p.23).

O Brasil é reconhecido internacionalmente através dos trabalhos manuais, estando as tipologias têxteis evidenciadas, como o tricô, crochê e a tecelagem manual, na qual têm-se um valor cultural muito grande. No campo do design têxtil, é possível analisar o avanço tecnológico através da Revolução Industrial, com o sucesso da industrialização e a redução da atividade do artesanato. Dessa forma, entendendo o método produtivo das tecelagens manuais, o design tem habilidade de associar a matérias primas tecnológicas, sendo capaz de adquirir tecidos gradativamente inovadores (SILVEIRA, 2013).

A fibra de bananeira é um material que está introduzido nas tipologias artesanais, sendo encontrada em excesso nas proximidades do município de Bom Jesus da Lapa – BA, devido ao projeto de irrigação do formoso. Constata-se que existe diversas maneiras de aplicação, inclusive na tecelagem manual, que terá como enfoque o estudo da análise do material, devido à falta de pesquisas dessa matéria prima, surge algumas dificuldades relacionadas as limitações desse material. Diante do problema com a destinação dos resíduos, se faz necessário a busca por novas soluções tecnológicas para a aplicação desse material. Logo, a confecção de materiais compósitos a partir dos resíduos provenientes da bananeira, pode ser uma alternativa interessante para a redução dos impactos gerados ao meio ambiente, bem como, para do desenvolvimento de produtos sustentáveis com baixo custo de produção.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo fabricar um compósito polimérico com reforço bidirecional extraído das fibras de bananeira (*Musa*), e analisar suas propriedades físicas e mecânicas a partir de ensaios.

2.2 Objetivo específico

- Desenvolver uma metodologia para confecção do tecido bidirecional de fibra extraídas da bananeira;
- Fabricar compósitos através do processo de laminação manual;
- Realizar ensaio físico de percentual mássico no compósito;
- Realizar ensaio mecânico de resistência à tração;
- Avaliar o comportamento mecânico sob tração e comparar com resultados em outras orientações e comprimentos de fibra.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Materiais compósitos

De acordo com os padrões da *American Society For Testing And Materials* ASTM D 3878 (1995), um material compósito é aquele criado pela mistura física de dois ou mais materiais não relacionados entre si, que são combinados para criar um novo material de engenharia com algumas propriedades que não são identificadas nos materiais separadamente.

Uma variedade de aplicações de alta tecnologia, como as encontradas nas indústrias aeroespacial, submarina, biotecnológica e de transporte, requerem materiais com propriedades únicas e incomuns. O desenvolvimento de compósitos de materiais expandiu as possíveis combinações e faixas de propriedades dos materiais. Um composto pode ser pensado como qualquer material multifacetado que exibe uma proporção relevante das propriedades de ambas as fases que compõem o compósito, resultando na melhor combinação possível de propriedades (CALLISTER, 2020).

3.1.1 Compósitos fibrosos

Os compostos mais significativos em termos de tecnologia são aqueles em que a fase de dispersão assume a forma de uma fibra. Os objetivos dos compósitos reforçados com fibras frequentemente incluem alta resistência e/ou rigidez em relação ao peso. Estas características são apresentadas em termos de parâmetros de resistência específica e módulo específico. Esses fatores dizem respeito às razões entre a resistência máxima admissível à tração, peso específico e o módulo de elasticidade (CALLISTER JR, 2020).

Compósitos reforçados com fibras de resistências e módulos específicos altos estão sendo fabricados utilizando materiais de baixa massa específica para as fibras e matrizes. Os compósitos reforçados com fibras são subdivididos conforme o comprimento das fibras (CALLISTER JR, 2020).

Três classificações distintas de fibras são feitas com base no tamanho e na natureza: *whiskers* (filamentos), *fibras* e *arames*. Os *Whiskers* são monocristais muito finos com proporções de diâmetro de circunferência muito extenso. Devido às suas pequenas dimensões, eles têm um nível de cristalinidade extremamente alto e são praticamente sem falhas, o que lhes proporciona uma resistência excepcionalmente alta. Os materiais classificados como *fibras* dispõem de diâmetros muito pequenos e podem ser policristalinos e amorfos, geralmente

consistem em polímeros ou cerâmicas (por exemplo, aramidas poliméricas, vidro, carbono, boro, óxido de alumínio e carboneto de silício). Para as dimensões dos *arames* finitos são relativamente grandes e seus materiais típicos são alumínio, molibdênio e tungstênio (CALLISTER JR, 2020).

3.1.2 Constituintes

A matriz é o componente mais proeminente e visível no compósito, sendo responsável por transmitir as tensões requeridas ao reforço que tem um papel estrutural, que é protege o material contra abrasões mecânicas e reações químicas do ambiente externo. O objetivo do reforço é fortalecer as propriedades do tecido e resistir aos esforços mecânicos, e ambas as partes têm uma relação mútua. Quando necessário, deve-se adicionar certos aditivos para garantir uma conexão forte o suficiente entre o reforço e a matriz (VIRINO, 2018).

A utilização de fibras naturais como reforço em materiais compósitos exige uma aprovação entre as fibras e a matriz polimérica, seja a matriz termofixa, termoplástica ou biodegradável. O sistema de transformação da estrutura das fibras naturais por meio de tratamentos químicos viabiliza uma evolução na adesão da fibra-matriz, mudando o caráter hidrofílico das fibras naturais da forma em que os impactos da umidade no compósito sejam reduzidos (NERY; JOSÉ, 2018).

As bananeiras são plantas do gênero *Musa*, um dos três gêneros que compõem a família *Musaceae*, que inclui plantas vivas herbáceas como as utilizadas para a produção de fibra de abacá e de frutas. Apenas 20 das cerca de 50 espécies de *Musa* são utilizadas pelos humanos para consumo. As fibras de bananeira podem ser extraídas das folhas da planta ou do pseudocaule. O pseudocaule é removido assim que o cacho de banana é colhido, pois é inútil para a produção de novos cachos. Essa substância orgânica rica em nutrientes estimula o crescimento de fungos após sua decomposição, alguns dos quais são prejudiciais ao crescimento das plantas. O potencial de utilização da fibra pseudocaule eleva este material da categoria de resíduos para a categoria de matéria prima (NERY; JOSÉ, 2018).

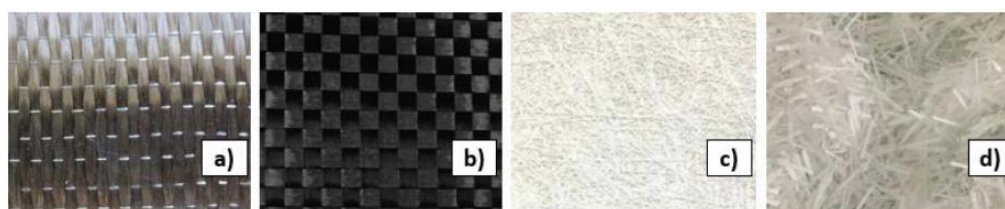
3.1.2.1 Reforços fibrosos

As fibras naturais empregues como reforço em materiais poliméricos aprimora as propriedades mecânicas dos polímeros sendo capaz de permutar reforços inorgânicos proveniente de fontes não renováveis como a fibra de vidro apresentando benefícios adicionais

de serem mais leves, menos abrasivos aos equipamentos de processamento e biodegradáveis (BANNA et al., 2011).

A distribuição dos reforços fibrosos em compósitos pode ser ordenada ou assimétrica, e o comprimento pode ser longo ou curto. É possível obter tecidos no âmbito de uma distribuição ordenada, que pode ser uniaxial ou biaxial. Porém, em casos de distribuição assimétrica, existem as mantas, que podem ser feitas de fibras contínuas ou curtas que podem ser analisadas na Figura 1 (CESTARO, 2019).

Figura 1 – Reforços Fibrosos: a) Tecido unidirecional; b) Tecido bidirecional; c) Manta de fios contínuos; d) Manta de fibra picada.



Fonte: Cestaro, 2019.

3.1.2.1.1 Fibra natural

As fibras naturais conseguem adequar-se como alternativas viáveis e abundantes às fibras sintéticas que possui alto custo e não são renováveis. As fibras naturais são encontradas com facilidade na natureza, as quais, apresentam baixa densidade, baixo custo, reaproveitamento e o nível de toxicidade é nulo (CATANNI et al., 2014).

O principal componente das fibras vegetais naturais é a celulose, um polímero natural à base de glicose. Ao adicionar moléculas de celulose a uma estrutura, as microfibrilas resultantes destroem as fibrilas que compõem as fibras celulares. Os componentes químicos primários das fibras vegetais incluem substâncias polares como celulose, lignina e hemicelulose (MOSTAFA et al., 2015).

Na Índia, a fibra de banana foi combinada com a fibra de algodão para criar têxteis, representando cerca de 15,8% de todos os tecidos produzidos na Índia no ano de 2015. A província de Gujarat na Índia, que inclui as cidades de Anand, Surat, Vadodara, Bharuch, Narmada e Kheda, apresentou um plano para estabelecer o Ecoparque Têxtil de Gujarat para o processamento de fibras naturais e de bananeira na 8ª Conferência Global em janeiro de 2017 em Gujarat, Índia. Compreende todos os aspectos do processo de produção, incluindo um centro de excelência e treinamento, laboratórios de testes e uma etapa de projeto que unirá a extração,

beneficiamento, criação de fibras e têxteis de alta qualidade e produzidos de forma sustentável (PINHEIRO et al., 2019).

3.1.2.2 Matrizes poliméricas

Uma fase de matriz tem uma variedade de funções em materiais compósitos reforçados com fibras. A princípio, ela une as fibras e funciona como um condutor através do qual uma tensão aplicada externamente é conduzida e distribuída às fibras. Ainda, o material da matriz deve ser dúctil, sendo o módulo de elasticidade da fibra bastante superior ao da matriz. Outro objetivo da matriz é defender as fibras individuais em combate a danos superficiais provocados através da abrasão mecânica ou reações químicas com o meio ambiente. Essas interações podem provocar falhas superficiais aptos a produzir trincas, o que pode resultar em falhas em pequenos graus na tensão de tração (CALLISTER JR, 2020).

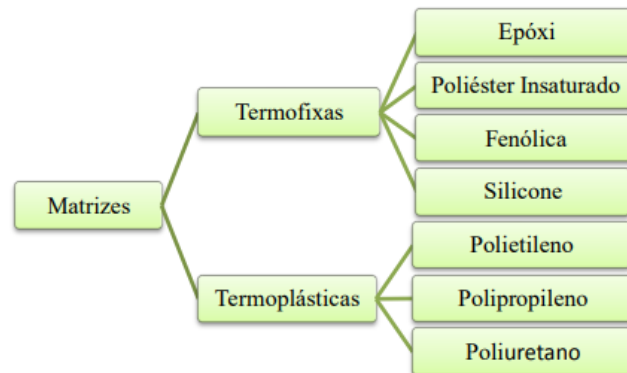
Dessa forma, a matriz faz a separação das fibras entre elas, isso ocorre devido a sua maciez e plasticidade, impedindo a propagação de trincas frágeis de uma fibra para outra, o que pode levar a uma falha catastrófica. Mesmo que algumas fibras individuais se quebrem, a composição não irá fraturar completamente até que um número significativo de fibras próximas se junte para criar um aglomerado com dimensões distorcidas (CALLISTER JR, 2020).

3.1.2.2.1 Matrizes termofixas

As forças de ligação de alta intensidade entre as macromoléculas que caracterizam as termofixas são tão fortes que são comparáveis às forças utilizadas na construção das mesmas. Elas “se desintegram” na presença de alta temperatura, o que os impede de serem recuperadas, pois não podem ser fundidas (BATISTA, 2013).

As características primordiais dos materiais termofixos são o baixo custo, pois possui certo nível de resistência à exposição ambiental, como à umidade, aos raios ultravioleta, desempenho quebradiço, sendo sensível à radiação e oxigenação no ambiente. As quatro principais resinas termofixáveis são epóxi, poliéster saturado, fenólico e silicone. Na Figura 2 pode ser visto um quadro onde têm-se uma simplificação das matrizes poliméricas mais empregues em materiais compósitos (BATISTA, 2013).

Figura 2 – Classificação das matrizes poliméricas.



Fonte: BATISTA, 2013.

3.2 Processos de fabricação

Pelo fato de os processos de fabricação representarem entre 50 – 60% do custo total de um compósito, esta questão merece grande atenção da comunidade industrial e científica para reduzir a proporção no custo do produto final (NETO; PARDINI, 2016).

As transformações físico-químicas a que os materiais são submetidos durante a fase de moldagem são a causa das diferenças nos processos utilizados para a criação de compostos poliméricos. Por exemplo, enquanto os materiais termoplásticos passam por etapas em que são inicialmente submetidos a amolecimento e fusão para conformação na cavidade do molde e posteriormente solidificação, as matrizes poliméricas termorrígidas são submetidas a um procedimento físico-química de cura (NETO; PARDINI, 2016).

A duração dos ciclos de processamento pode variar de alguns minutos a muitas horas, dependendo do tipo de material utilizado. Como regra, os tempos de processamento para matrizes termoplásticas são mais curtos do que os usados para matrizes termorrígidas. A automação de processos é a principal responsável pela redução do tempo de processamento (NETO; PARDINI, 2016).

3.2.1 Fabricação de compósitos

No momento, existem vários métodos de fabricação para geração de materiais compósitos, com benefícios e malefícios específicos e com aplicações diferentes. Entre os de maior uso comercial estão: Moldagem Manual (*HL, Hand Lay up*), moldagem por transferência de resina (*RTM, Resin transfer molding*), moldagem por mistura e injeção (*RRIM, Reinforced reaction injection Molding*), moldagem por pulverização (*Spray up*), injeção (*Injection*),

compressão (*Compression*), centrifugação (*Centrifugation*), laminação (*Lamination*) enrolamento Filamentar (*FW, Filament Winding*) (GARCIA, 2016).

3.2.1.1 Processo de fabricação por laminação manual

Um agente desmoldante é colocado sobre o molde com o intuito de realizar a degradação no início do processo de laminação manual, este produto auxilia na separação da peça durante o processo de desmoldagem, além de fornecer um bom acabamento da superfície laminada. O primeiro passo na preparação dos componentes é pesar as partes de resina e catalisador e talhar o tecido de fibras de reforço no tamanho ideal para o processo (SPETHMANN, 2022).

A princípio, é colocado no molde uma de resina, em seguida, uma camada de tecido fibroso com baixa densidade, demonstrando assim excelente molhabilidade, como também um bom acabamento. Quando uma camada de tecido é inserida, a resina é despejada com a ajuda de uma espátula, assim, são feitas diversas camadas, alternando entre matriz polimérica e fibras de reforço obtendo a laminação completa de acordo o que é recomendado no projeto (SPETHMANN, 2022).

Esse procedimento tem fácil operação, porém pode deixar alguns defeitos como uma provável não junção completa por meio da matriz, como também as cargas em função do mal preenchimento da resina na fibra ao longo da laminação (SPETHMANN, 2022).

3.3 Caracterização dos compósitos de fibra natural

Conforme Picanço (2005), as fibras são subdivididas em artificiais ou naturais, na qual, as fibras artificiais são constituídas por materiais poliméricos, cerâmicos ou metálicos e as fibras naturais que são compostas por animais, minerais e vegetais. As fibras naturais são vistas como uma boa escolha em vista das artificiais, considerando que possuem pouco peso, custo inferior, como também são renováveis (CHATTOPADHY AY et al., 2011).

As fibras vegetais são compostas por células específicas, onde há microfibrilas ordenadas em camadas com diferentes espessuras. Essas microfibrilas dispõem de celulosas, que é um polímero vegetal de grandes cadeias, onde estão ligados junto pela hemicelulose amorfa. Há uma cavidade central do lúmen de seção elíptica dentro das camadas. A hemicelulose, a pectina e principalmente a lignina compõem a lamela intercelular que agregam as células que compõem a fibra. Pode encontrar lacunas no centro da macrofibra. As lacunas e o lúmen são os culpados pela alta prevalência de poros permeáveis nas fibras, o que resulta em alta absorção

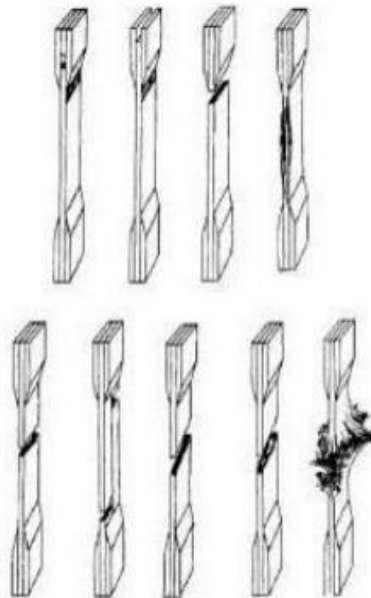
de água (SAVASTANO JÚNIOR, 2000).

3.3.1 Ensaio de tração

Um dos ensaios mecânicos mais empregues para descrever os materiais é o ensaio de resistência à tração, pois, mesmo que o material seja ensaiado em condições ocasionalmente diferentes daquelas a que será submetido, existe uma relação muito favorável entre os resultados obtidos e os custos em relação à complexidade do teste. A finalidade do ensaio mecânico de tração é estabelecer os limites de escoamento, resistência à tração, ruptura, alongamento percentual e coeficiente de estricção (SPETHMANN, 2022).

A *American Society For Testing And Materials* – ASTM D 3039 (2008), especificamente projetada para avaliar as propriedades de compósitos de matrizes poliméricas reforçados com fibras, é a base para a maioria dos exercícios de teste. Tal padronização se estende desde as dimensões dos corpos de prova até a avaliação dos resultados alcançados. As características que precisam ser definidas nos experimentos de resistência à tração são as dos reforços. Na Figura 3, é possível analisar os modelos habituais de falhas durante um ensaio de resistência a tração (SPETHMANN, 2022).

Figura 3 – Falhas durante o processo de ensaio de resistência a tração.



Fonte: ASTM D 3039, 2008.

3.4 Aplicações de compósitos reforçados com fibras vegetais

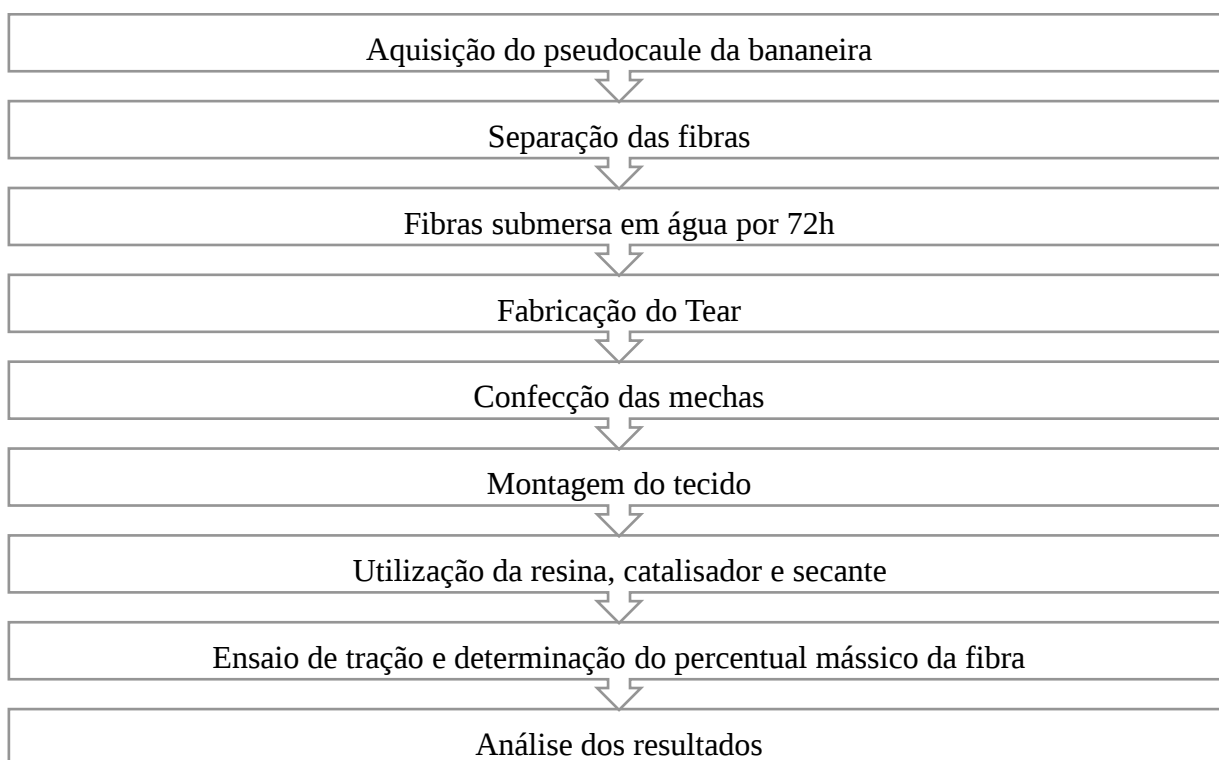
As primeiras patentes sobre o uso de materiais à base de polímeros reforçados com fibras vegetais datam da década de 1960. Nas décadas de 1970 e 1980, as fibras sintéticas substituíram as fibras naturais devido ao seu desempenho superior e vantagens econômicas. No final da década de 1990, uma visão mais realista ou “ecológica” dos processos industriais provocou um interesse nos materiais renováveis, especialmente na indústria automotiva. Junto com os aspectos ecológicos, existem aspectos tecnológicos e vantagens econômicas na utilização desses materiais. Dado que estes materiais são normalmente produzidos em regiões economicamente subdesenvolvidas, a questão social é outra poderosa justificativa para incentivar a produção desses componentes (SILVA, 2003).

Os blocos básicos de construção das fibras vegetais incluem celulose, hemicelulose, lignina, pectina e minerais. O principal componente estrutural, a celulose, um polissacarídeo linear de alto peso molecular, é responsável por manter a estabilidade e a resistência das fibras. Seria econômica e tecnicamente viável o uso de fibras contendo quantidades significativas de celulose na produção de têxteis, papel e como reforço em compósitos. Porém, é importante considerar não só apenas a quantidade de celulose presente nas fibras, mas também sua qualidade e uso pretendido. Dessa forma, a resistência a tração e o módulo de elasticidade das fibras estão diretamente relacionados ao teor de celulose e inversamente relacionados ao ângulo das microfibrilas. Enquanto o alongamento máximo de ruptura aumenta com o ângulo, devido ao emprego elevado necessário para o alongamento das microfibrilas (NETO, 2010).

4 METODOLOGIA

Para compreender todos os processos de fabricação, pode-se analisar um fluxograma apresentado na Figura 4, identificando cada etapa desde a confecção aos testes realizados.

Figura 4 – Fluxograma etapas de fabricação e testes do compósito.



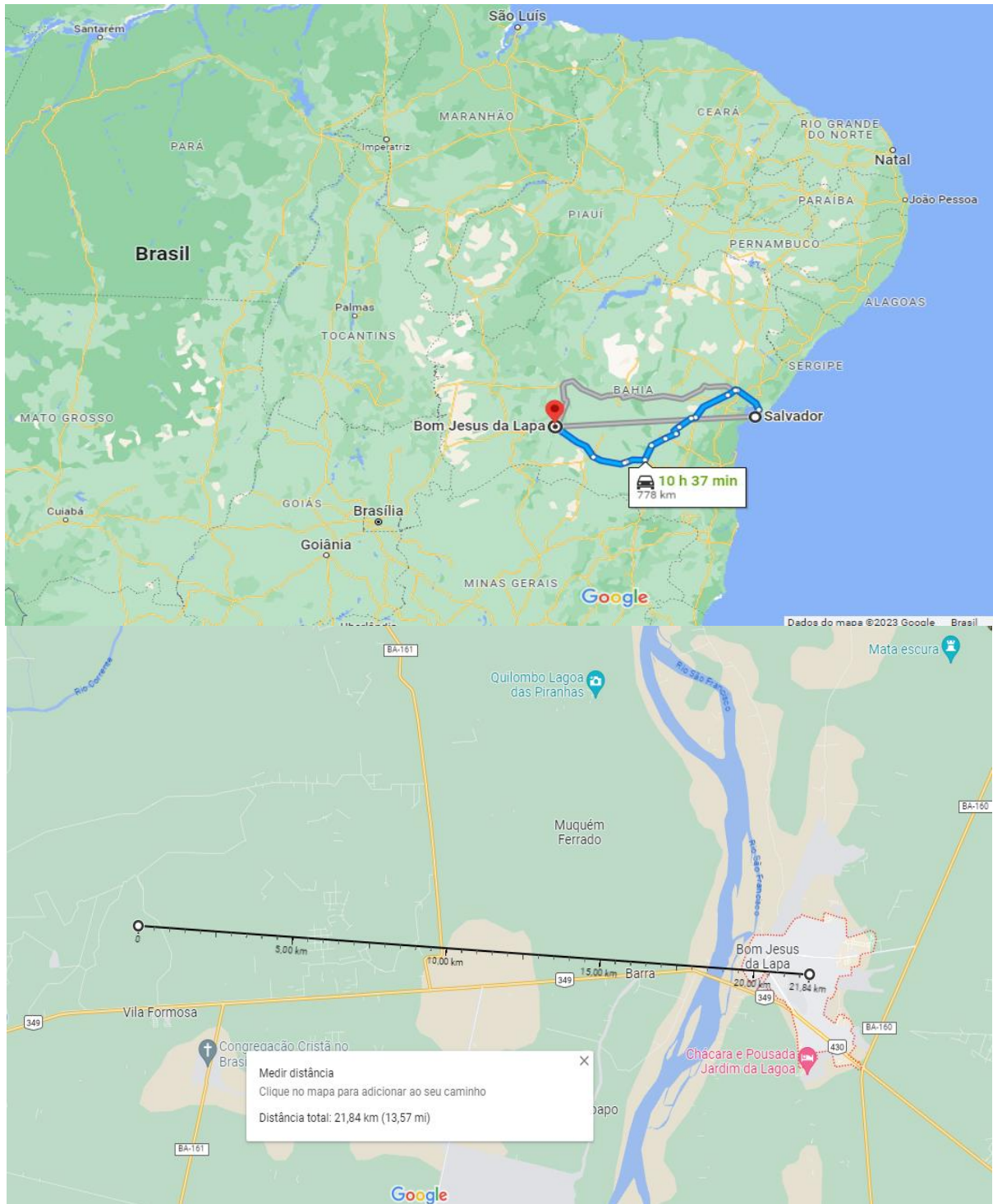
Fonte: Autoria própria, 2023.

4.1 Obtenção e preparo da matéria prima

A fibra de bananeira foi extraída no Projeto Formoso, localizado a 20 km do município de Bom Jesus da Lapa, estado da Bahia (Figura 5). O local da extração está situado no setor 8 do Projeto e possui solo bastante argiloso, característica importante para a produção de uma fibra de banana prata com boa qualidade, pois de acordo com Menezes (2004) a bananeira tem preferência por solos areno-argilosos, que devem ser repletos em matéria orgânica, planos ou pouco inclinados, não submetido a alagamentos e com variação de pH entre 4,5 a 7,0. Uma bananeira não cresce bem em solo seco, excessivamente seco ou mal drenado.

A fibra foi doada por moradores locais e seguindo as indicações de artesãos do Projeto Formoso, as mesmas foram extraídas ainda verdes (Figura 6).

Figura 5 – Localização do Setor 8 no Projeto Formoso.



Fonte: Google Maps, 2023.

Figura 6 – Fibra extraída da bananeira.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Após a extração, iniciou-se os cortes da fibra, sendo utilizado somente a parte externa (bainha), onde se encontra a parte mais fibrosa do pseudocaule da bananeira (Figura 7). Para o corte foi necessário fazer várias repartições com um auxílio de um objeto cortante como uma faca.

Figura 7 – Corte das fibras da bananeira (*Musa*).

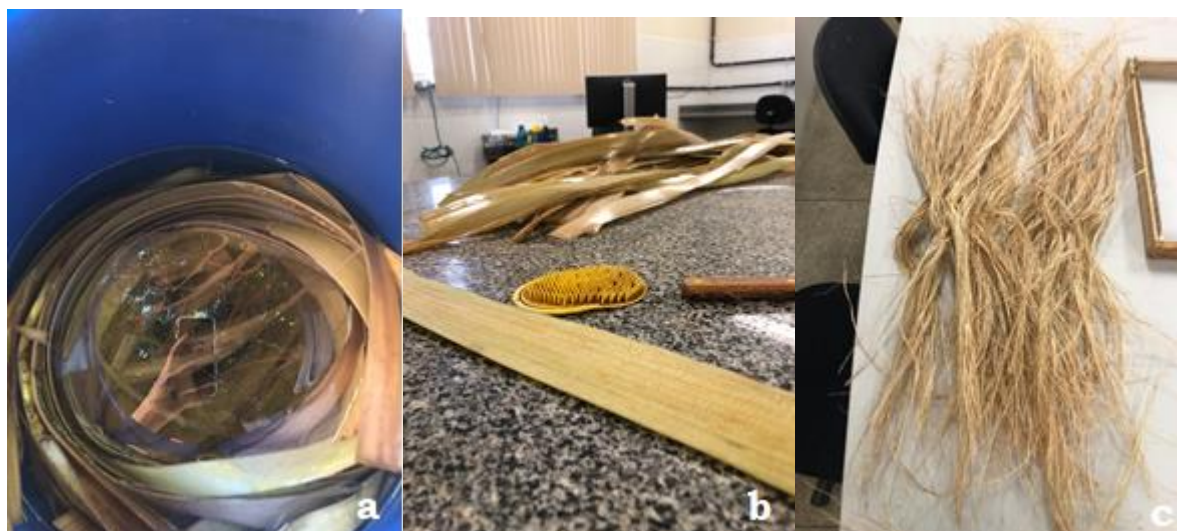


Fonte: Autoria própria, 2023.

Foi necessário deixá-la submersa por 72 horas com 0,1% de água sanitária para limpar

todas as impurezas presentes na fibra e facilitar o processo de extração, sendo a água substituída a cada 24 horas (Figura 8.a). As extrações das fibras foram realizadas com o auxílio de uma escova oval pequena para cabelos e assim garantir o desembaraçamento total das fibras (Figura 8.b), seguidamente foram expostas ao sol para secagem (Figura 8.c).

Figura 8 – Fibras da bananeira: a) Submersa em água; b) Extração das fibras; c) Fibras secas.



Fonte: Autoria própria, 2023.

4.2 Fabricação tear e produção do tecido de bananeira

O tear manual foi produzido na oficina mecânica do Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa da Universidade Federal do Oeste da Bahia, a partir da madeira pinus que foi doada pela Universidade. A madeira pinus apresenta um excelente custo-benefício, além de possuir uma boa resistência, elevada durabilidade, além de ser proveniente de uma área sustentável de reflorestamento. Para a fabricação do tear, foram utilizados como ferramentas, uma serra tico-tico, uma furadeira de bancada, 150 gramas de pregos finos, broca com 1,5 mm e 6 parafusos. As dimensões do tear foram de 50 cm x 50 cm de comprimento e largura, com espessura de 4 cm, pois a fibra extraída não permite que as dimensões do tear sejam muito grandes devido suas limitações. A Figura 9.a apresenta as etapas de do corte da madeira pinus do tear.

Figura 9 – Fabricação do tear e produção do tecido: a) Corte madeira Pinus; b) Furo lateral com distância de 1 mm; c) Tear confeccionado; d) Mechas na urdidura; e) Tecido confeccionado.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Para que as fibras fossem postas de maneira mais fácil, utilizou-se uma furadeira de bancada para fazer vários furos com 1 mm de distância na lateral da madeira, para deixar a fibra na urdidura mais alongada. Na Figura 9.b, é possível verificar como foi feito o processo.

Posteriormente foram parafusadas todas as unidades da madeira em formato de um quadrado para o tear manual, em seguida os pregos foram fixados, sendo definido um espaço de 10 mm entre eles. Para perfuração foi utilizada uma furadeira e depois introduzido cada prego, sendo colocados um total de 100 pregos (Figura 9.c).

Para o processo de posicionamento na urdidura, iniciou-se através das medidas de 1,5 mm para o diâmetro de cada mecha, medido com o auxílio de um paquímetro analógico com precisão de 0,05 mm. Posteriormente, uniu-se a linha com a distanciamento de 5 cm entre cada amarração, deixando-as mais próximas possíveis, em seguida fixou-se em cada prego (Figura 9.d). Ressalta-se que após colocar as 50 mechas, o fragmento que é movediço foi posicionado para o local mais afastado e assim todos as mechas na urdidura ficaram tracionadas. Para as

mechas no sentido da trama, foram passados entre os fios da urdidura através da abertura chamada cala, que é a abertura entre os fios da trama que estão alternados. Para a passagem das mechas utilizou uma vareta de fibra de vidro para auxiliar na alternância (Figura 9.e).

Após a confecção do tecido, uma cola com composição de Etil Cianoacrilato foi utilizada em torno do tecido para que as fibras permanecessem unidas conforme o estabelecido.

4.3 Confecção do compósito e obtenção dos corpos de prova

Para realizar a fabricação do compósito, primeiramente foi adicionado 5 camadas de desmoldante com intervalos de 5 minutos, sendo necessário aguardar 15 minutos após sua última camada para iniciar a aplicação da massa de calafetar na bancada. A Figura 10 apresenta os componentes utilizados no processo.

Figura 10 – Desmoldante/ Massa de calafetar/ Aplicação de ambos.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Em seguida foi efetuado a medição do peso do tecido equivalente a 39,49 gramas através de uma balança de precisão no laboratório de química da Universidade. Para fabricação do compósito foi utilizado 700 gramas de resina de poliéster insaturada isoftálica, 7 gramas de catalisador butanox e 2,1 gramas de secante de cobalto. Com isso, foi aplicada uma camada de resina sobre o desmoldante. Posteriormente foi posicionado o tecido, e depois foi adicionado mais uma camada de resina sobre o tecido, realizando o espalhamento para garantir a uniformidade conforme visto na Figura 11.

Figura 11 – Compósito.

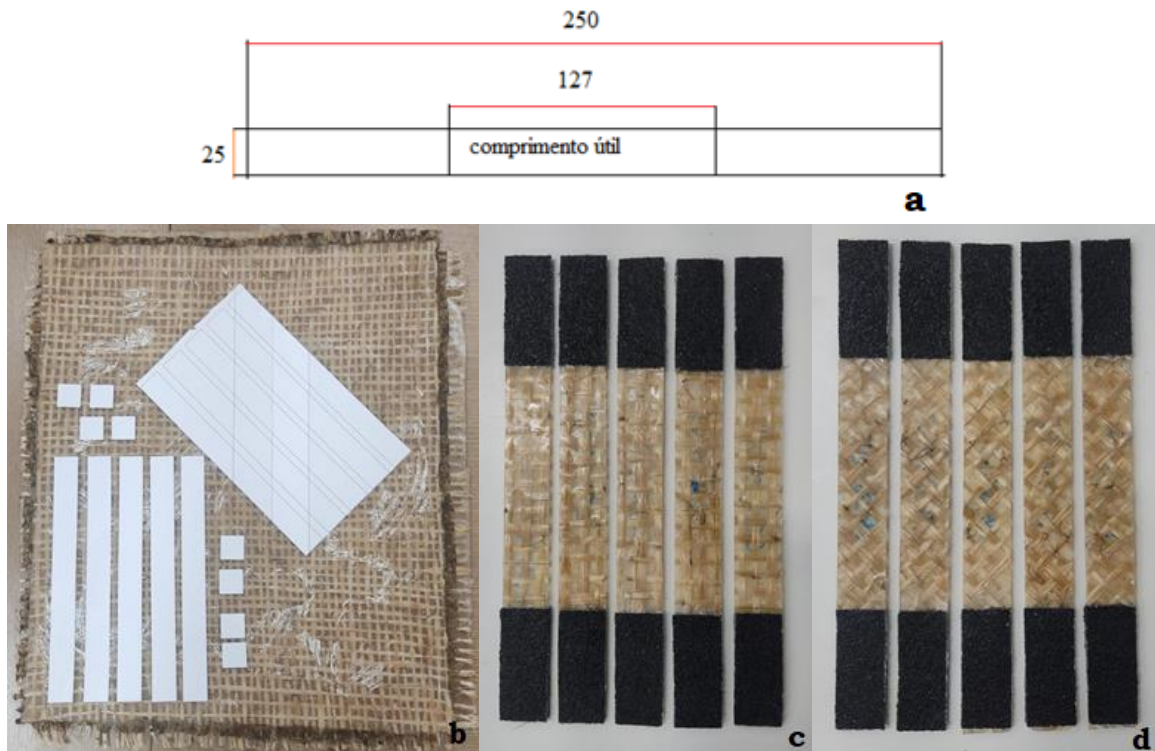


Fonte: Autoria própria, 2023.

Após 72h de secagem da resina, o compósito foi desmoldado e os corpos de prova (CPs) foram confeccionados utilizando um gabarito desenvolvido com o auxílio do *software Autodesk® autoCAD* de acordo com a norma ASTM D 3039-08 visto na Figura 12.a. Posteriormente, foi utilizado serra mármore para o corte das amostras de acordo a Figura 12.b. Para o acabamento lateral dos corpos de prova, foi utilizado uma lixa W-Max G 400 de granulometria. Para auxiliar na fixação dos corpos de prova na máquina de ensaio, foi empregue uma lixa Tyrolit P 36 em suas extremidades. No total, foram desenvolvidos 10 corpos de prova para o ensaio de resistência à tração com uma camada de fibra, sendo 5 CPs com as fibras dispostas no ângulo $0^{\circ}/90^{\circ}$ conforme a Figura 12.c e 5 CPs no ângulo $45^{\circ}/-45^{\circ}$ de acordo a Figura 12.d.

Figura 12 – Corpo de prova para ensaio de tração: a) CP conforme norma ASTM D 3039; b)

Placa para confecção dos CPs; c) CPs fibras com ângulo $0^\circ/90^\circ$; d) CPs fibras com ângulo $45^\circ/-45^\circ$.



Fonte: Autoria própria, 2023.

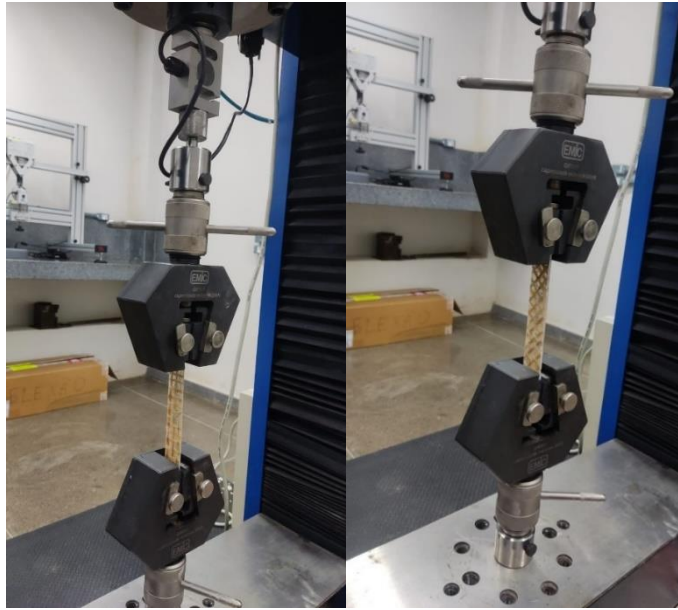
4.4 Ensaio de resistência à tração

Os ensaios mecânicos foram realizados em uma Máquina Universal de Ensaio da marca EMIC modelo DL30000, com célula de carga de 20 kN e velocidade de 1 mm/min. Foi setado uma velocidade de 0 mm/min, isto é, sem retorno. Antes da realização dos ensaios, foi realizada a aferição da largura, comprimento e espessura dos CPs, utilizando um paquímetro com precisão de 0,05 mm. Posteriormente, foi determinado a tensão e deformação dos materiais, os corpos de prova foram fixados nas garras do equipamento, que apresenta abertura máxima de 8 mm. Em seguida os ensaios foram realizados até o rompimento das amostras.

A partir da Figura 13.a, verificamos os corpos de prova fixados na máquina onde as fibras apresentam orientação a 0° em relação a aplicação da carga e perpendicular ao sentido da carga aplicada.

Para o ensaio realizado na configuração de ângulos $45^\circ/-45^\circ$, os corpos de prova apresentaram as fibras no sentido a 45° e a -45° em relação a direção de aplicação da carga conforme a Figura 13.b

Figura 13 – Ensaio de tração: a) CP (0°/90°); b) CP (45°/-45°)



Fonte: Autoria própria, 2023.

Através dos dados obtidos no ensaio, a tensão σ em Mega Pascal (MPa) é encontrada dividindo-se a força aplicada F (Newton) pela área inicial da seção transversal A_0 (mm), com a utilização da Equação 1 (HIBBELER, 2015).

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad 1$$

A deformação ε (mm/mm), é determinada por meio da divisão da variação do deslocamento δ (mm) que se refere ao comprimento de referência do CP, pelo comprimento original L_0 (mm), como mostra a Equação 2 (HIBBELER, 2015).

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L_0} \quad 2$$

O módulo de elasticidade E (Mpa) corresponde a inclinação da reta do diagrama tensão-deformação. Dessa forma, o módulo de elasticidade é determinado pela diferença entre a tensão final e inicial $\sigma_f - \sigma_i$ dividindo-se pela diferença entre a deformação final e inicial $\varepsilon_f - \varepsilon_i$ conforme a Equação 3 (HIBBELER, 2015).

$$E = \frac{\sigma_f - \sigma_i}{\varepsilon_f - \varepsilon_i} \quad 3$$

4.5 Ensaio de percentual mássico de fibra

A porcentagem de fibras tem um papel significativo na resposta mecânica dos componentes laminados, pois as variações nessas porcentagens têm impacto direto nas constantes de elasticidade do material, bem como em seu limite de resistência (CUNHA, 2018).

Com isso, deve-se determinar os valores de massa do tecido antes da laminação mf e depois do tecido confeccionado mc , ambos resultados em gramas. Assim o percentual mássico da fibra pode ser obtido por meio a relação total à massa da lâmina, conforme a Equação 4 (CUNHA, 2018).

$$FM_f = \frac{mf}{mc} \cdot 100 \quad 4$$

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste tópico, serão apresentados os resultados obtidos a partir do ensaio de percentual mássico de fibras e o ensaio de tração para fibras no sentido de $0^\circ/90^\circ$ e $45^\circ/-45^\circ$. Além dos resultados dos ensaios, serão exibidas as propriedades mecânicas como o módulo de elasticidade, tensão de ruptura e deformação dos corpos de prova, bem como a análise e características da fratura final.

5.1 Determinação do ensaio de percentual mássico de fibra

Realizando a análise da massa do tecido e do compósito, com auxílio de uma balança de precisão. Foi identificado um valor de 49,39 gramas para mf e 677,68 gramas para o compósito mc . A partir desses valores, o percentual mássico da fibra foi obtido por meio da Equação 4, sendo identificado um valor de aproximadamente 6% de fibra e 94% de resina. A partir da análise dos resultados, identificou-se um percentual mássico de fibra baixo devido ao uso de uma só camada de tecido. Além disso, a espessura do tecido foi relativamente pequena e o espaçamento entre as fibras teve um valor elevado, pois não foi possível aproximar as fibras devido a sua rigidez.

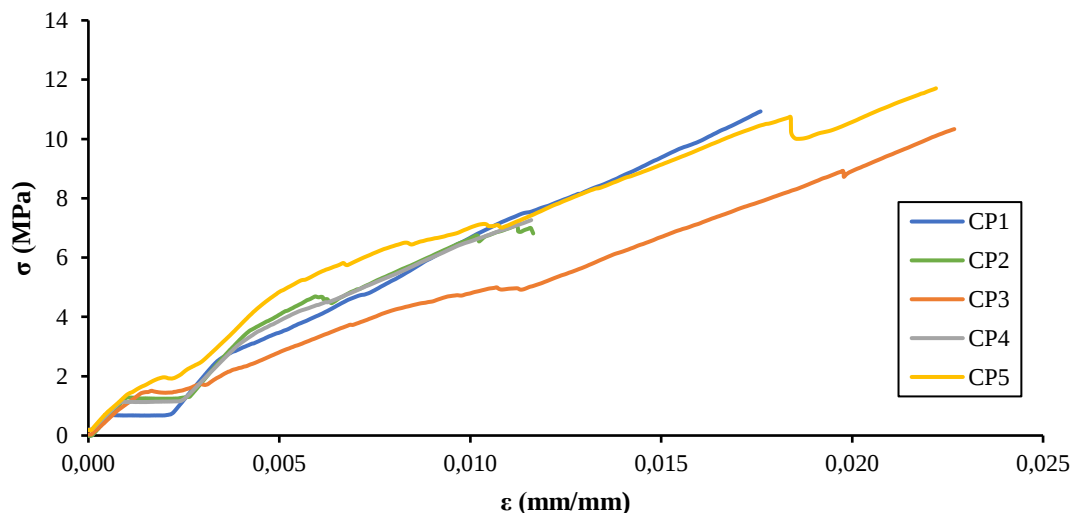
De acordo com (JOSEPH, 1999) o aumento considerável do teor de fibras leva ao aumento da resistência dos compósitos e conseqüentemente apresentam melhores resultados em relação aos ensaios mecânicos.

5.2 Resultado do ensaio de tração uniaxial para os corpos de prova no ângulo de 0°/90°

Fazendo análise dos resultados obtidos a partir do gráfico apresentado na Figura 14, é possível observar que os corpos de prova CP2 e CP3 apresentaram um resultado abaixo do esperado, o que pode ter ocorrido devido à baixa aderência da resina em razão das fibras ainda possuírem elementos de ligação e com isso a resina não foi capaz de ficar totalmente impregnada entre as fibras ocasionando um mecanismo de descontinuidade. Além disso, constatou-se um comportamento inicial do gráfico não linear na maioria dos corpos de prova, característico de um comportamento plástico, seguido de um comportamento linear até a ruptura. Isso pode ter ocorrido pois em um dado momento houve o escorregamento do corpo de prova durante o ensaio e após esse período iniciou o comportamento mecânico da fibra. Outra característica observada foram as pequenas quedas de tensão devidos as trincas que foram surgindo durante o ensaio.

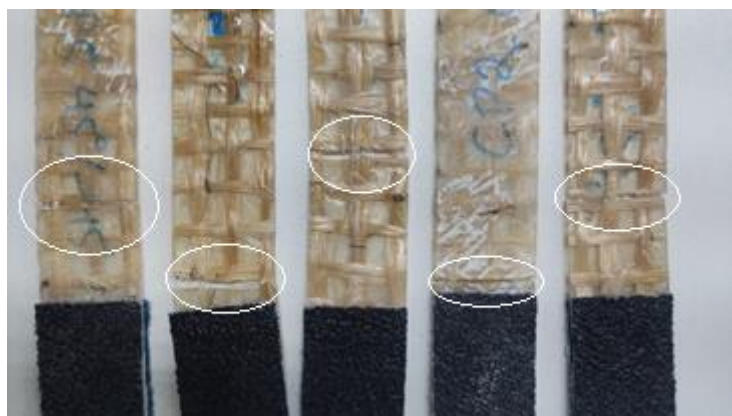
Na Figura 15 pode-se analisar a fratura ocorrida na fibra após o ensaio. Verificamos que a fibra funcionou como uma descontinuidade na seção transversal perpendicular ao carregamento, visto que a fratura ocorreu, em todos os casos, no sentido da fibra a 90° na posição de uma mecha.

Figura 14: Gráfico análise de Tensão x Deformação (0°/90°).



Fonte: Autoria própria, 2023.

Figura 15: Análise de fratura após o ensaio de tração fibras no sentido (0°/90°).



Fonte: Autoria própria, 2023.

Na Tabela 1 pode-se verificar a média dos valores do módulo de elasticidade encontrado através da Equação 3, bem como a tensão máxima, a deformação máxima e os desvios padrão. Como pode-se constatar, os desvios padrões apresentaram valores elevados também ocasionado pela má impregnação da resina nas fibras, pois conforme Tita et al. (2002), é fundamental enfatizar a importância desses achados porque o tratamento com álcali normalmente promove a desagregação das fibras.

Tabela 1: Propriedades mecânicas dos corpos de prova estruturado a (0°/90°).

Corpo de prova com fibras no sentido 0° e 90°		
	Média	Desvio padrão
Módulo de Elasticidade	547,1850	± 173,1139
Tensão Máxima	9,4571	± 2,1469
Deformação Máxima	0,0171	± 0,0054

Fonte: Autoria própria, 2023.

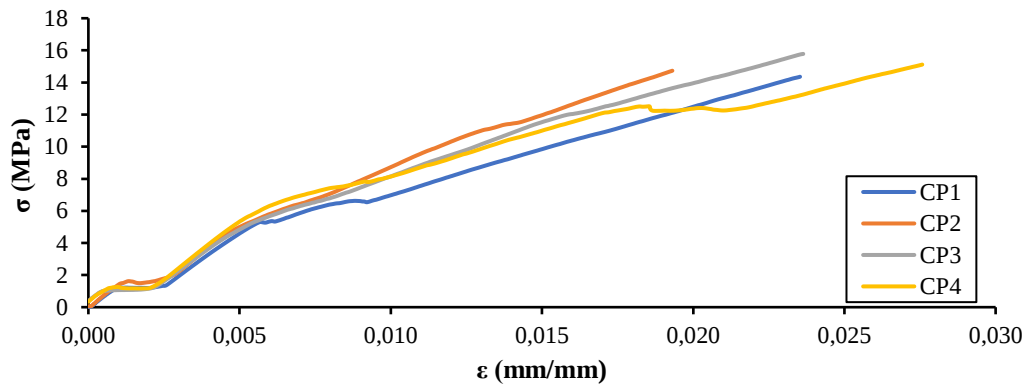
5.3 Resultado do ensaio de tração uniaxial para os corpos de prova no ângulo de 45°/-45°

A partir dos resultados obtidos através no ensaio, foi possível construir o gráfico de tensão x deformação conforme a Figura 16. Fazendo análise do gráfico, verificou-se que o material apresentou um comportamento não-linear, característica de comportamento plástico, seguido por um comportamento linear até a ruptura. Apresentou também pequenas quedas de tensão devido às trincas que foram surgindo no ensaio até sua ruptura. Salienta-se a importância dessa angulação para tensão, demonstrando ser mais resistente que a fibra de 0°/90°.

Segundo (CARVALHO et al., 1999) quando se utilizam tecidos tramados como reforço,

as fibras que se alinham ortogonalmente ao esforço atuam com inclusões ou defeitos. Este efeito é mais perceptível em densidades de fibra menores, levando a uma diminuição na tensão de ruptura quando o componente é solicitado longitudinalmente.

Figura 16: Gráfico análise de Tensão x Deformação (45°/-45°).

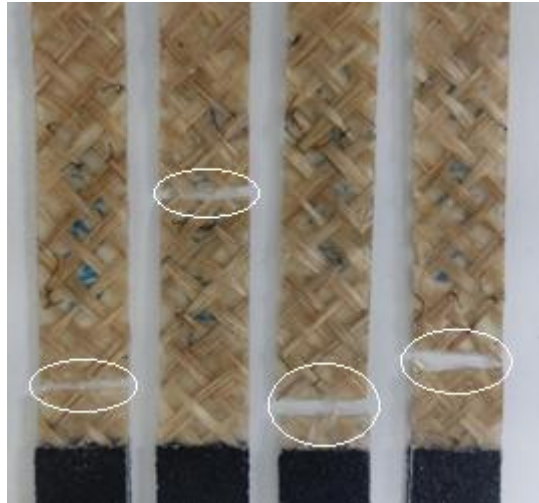


Fonte: Autoria própria, 2023.

Fazendo análise do corpo de prova após a ruptura por meio da Figura 17, verifica-se que a fratura ocorreu também a 90° em relação ao sentido de aplicação da célula de carga de 20 kN. Por não dispor de nenhuma fibra no mesmo sentido a descontinuidade foi menor em relação aos corpos de prova com fibras no sentido de 0° e 90. Além disto, o aumento da resistência nesta configuração pode ter ocorrido em virtude da fibra impedir a propagação da trinca para o restante da seção, suportando uma tensão maior que os corpos de prova com fibras no sentido de 0° e 90°.

Na Tabela 2 é possível analisar a média dos valores do módulo de elasticidade encontrado a partir da Equação 3, bem como a tensão máxima, a deformação máxima e o desvio padrão dos mesmos. Como pôde-se constatar, os valores de desvio padrão foram inferiores aos corpos de provas com fibras a 0°/90°. Isso pode ter ocorrido devido a descontinuação da propagação da trica, mecanismo já citado neste capítulo.

Figura 17: Análise de fratura após o ensaio de tração fibras no sentido (45°/-45°).



Fonte: Autoria própria, 2023.

Tabela 2: Propriedades mecânicas dos corpos de prova estruturado a (45°/-45°).

Corpo de prova com fibras no sentido 45° e -45°		
	Média	Desvio padrão
Módulo de Elasticidade	560,9997	$\pm 87,6405$
Tensão Máxima	14,9947	$\pm 0,6077$
Deformação Máxima	0,0235	$\pm 0,0034$

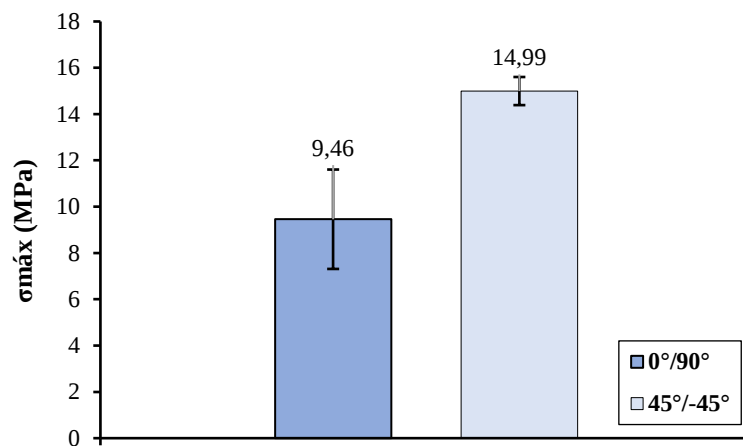
Fonte: Autoria própria, 2023.

5.4 Resultado entre corpos de prova com diferentes angulações

Fazendo a comparação entre os corpos de prova com fibras no sentido 0° e 90° em relação aos corpos de prova com fibras no sentido 45° e -45°. Verificou-se a partir da média da tensão máxima e do desvio padrão, que os corpos de prova com fibras no sentido 45° e -45° apresentam uma maior tensão, constatando o desvio padrão inferior aos corpos de prova com fibras no sentido 0° e 90° (Figura 18).

Por essa razão, evidenciou-se que os corpos de prova com fibras no sentido 45° e -45° são mais resistentes que os corpos de prova no sentido 0° e 90°, isso ocorre por não ter nenhuma fibra no sentido da seção transversal conforme descrito por (CARVALHO et al., 1999).

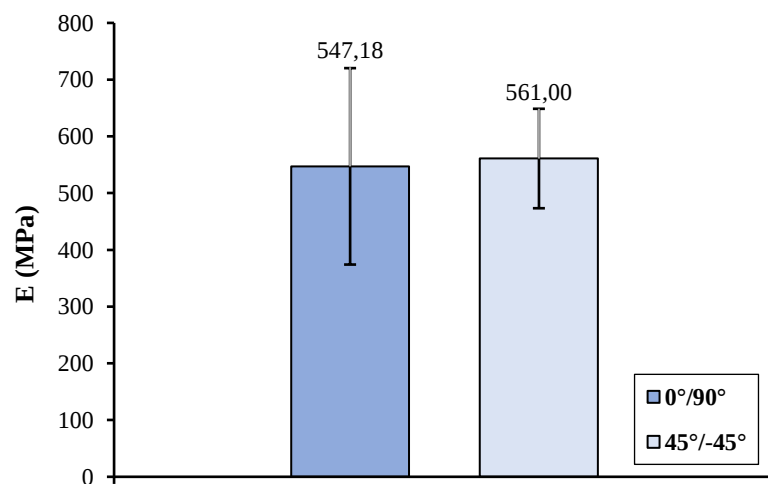
Figura 18: Gráfico da tensão máxima dos CPs 0°/90° e 45°/-45°.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Para o módulo de elasticidade, observou-se a partir da Figura 19 que não se pode afirmar que ocorreu diferença de valores uma vez que os valores do intervalo de desvio dos corpos de prova para ângulo no sentido de 45°/-45° estão compreendidos dentro do intervalo de desvio dos corpos de prova para ângulo no sentido de 0°/90°.

Figura 19: Gráfico do módulo de elasticidade dos CPs 0°/90° e 45°/-45°.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Realizando uma comparação com um trabalho já realizado na instituição (RODRIGUES, 2019), podemos verificar que os corpos de prova com fibra longa apresentam um comportamento melhor que os corpos de prova com fibras curtas. Além disso, as fibras oferecem maior resistência a resina conforme a Tabela 3, em que os valores da tensão máxima para os corpos de prova com 0% e 5% de fibras curtas aleatórias extraídas do projeto feito

anteriormente e os corpos de prova com 6% de fibras no sentido 0°/90° e 45°/-45° feito nesse trabalho estão apresentados.

Tabela 3: Propriedades mecânicas do ensaio de tração para CPs de fibras longas e curtas.

% de Fibra	Compósito	Tensão máxima $\sigma_{m\acute{a}x}$ (MPa)
0	Sem fibra	8,4942 ± 0,8936
5	Fibras curtas	8,9803 ± 0,8294
6	Fibras longas 0°/90°	9,4571 ± 2,1469
6	Fibras longas 45°/-45°	14,9947 ± 0,6077

Fonte: Autoria própria, 2023.

6 CONCLUSÃO

Após os resultados apresentados, pode-se concluir que:

Constatou-se que a impregnação da resina nas fibras impactou significativamente nos resultados dos ensaios, pois as fibras da bananeira são compostas por lignina, dificultando essa aderência nas fibras.

Além disso, não foi utilizado um misturador e nem câmara a vácuo para a resina, pois ambos não continham na Universidade, influenciando diretamente em sua homogeneização, pois o ar gerado pela reação no processo de mistura pode ter ficado retido, ocasionando fragilização do material.

Foi evidenciado um comportamento inicial não linear devido a fibra não estar tencionada no compósito, verificando assim o comportamento plástico.

Foi analisado que os CPs com fibras longas apresentam um desempenho melhor que os CPs com fibras curtas para o ensaio de tração.

Os corpos de prova com ângulo de 45° e -45° apresentaram maior resistência quando comparado aos corpos de prova com ângulo de 0° e 90° , pois as fibras funcionaram como restrição para a propagação das trincas na seção transversal. Enquanto que nos corpos de prova a $0^\circ/90^\circ$ as fibras direcionadas na seção transversal funcionaram como descontinuidades (concentradores de tensão).

7 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

- Avaliar diferentes ângulos de orientação;
- Avaliar tecidos com gramaturas diferentes da estudada neste trabalho;
- Avaliar compósitos com mais de uma camada de fibra;
- Avaliar outras propriedades mecânicas;
- Realizar um tratamento de fibras mais adequado.

REFERÊNCIAS

ASTM D 3039-08: “Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials”, Philadelphia, 2008.

ASTM D 3878-95: “Standard Terminology for Composite Materials”, Philadelphia, 1995.

ATHAYDE, C. **Análise dos resíduos gerados pela bananicultura como possível fonte de geração de energia**. Monografia (Metrado em Engenharia Química) – Escola de Engenharia. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2014.

BANNA, W; FUJIYAMA, R; SANTOS, I; PEREIRA, L. **Fibras de bananeira como material de engenharia**. XXXIX Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia – 03 a 06 Out. Blumenau SC – COBENGE 2011 - UFPA, Programa de Pós-graduação em Eng. Mecânica e Faculdade de Engenharia Mecânica.

BATISTA, Ana Claudia de M. Caldas. **Envelhecimento Ambiental em Compósitos poliméricos à Base de Tecidos de Reforço Híbridos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Centro de Tecnologia. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/15703>. Acesso em: 21 out. 2022.

BOUCHER, F. **História do vestuário no Ocidente: das origens aos nossos dias**. São Paulo: Cosac Naify, 2010.

CALLISTER JR, William D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda: Grupo GEN, 2020. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/books/9788521637325/>. Acesso em: 01 Jul 2022.

CARVALHO, A. **Fabricação e caracterização de compósitos à base de resina epóxi e fibras de bananeira**. Monografia (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de São João Del-Rei. São João Del-Rei, p. 01. 2015.

CARVALHO, L. H., JOSEPH, K. & N6BREGA, M. M. S. **Reforços híbridos em compósitos poliéster/fibras vegetais**. In: Simpósio Argentino de Polímeros, Córdoba, 1999. Anais. Córdoba - Argentina, p. 67-71, 1999.

CATANNI, I. M; BARUQUE-RAMOS, J. **Fibra de Buriti (mauritia flexuosa mart.) e Aplicações em Produtos Têxteis**. Disponível em: www.contextmod.net.br/index.php/segundo/article/viewFile/54/85. 2º Congresso Científico Têxtil e de Moda. 20 a 22 de maio de 2014 – São Paulo – Brasil. Acesso em: 20 out. 2022.

CESTARO, G. **ANÁLISE DO GRADIENTE DE TENSÃO NA BORDA DE UM FURO EM LÂMINA DE TECIDO HÍBRIDO DE FIBRA DE VIDRO/CARBONO**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

CHATTOPADHYAY, S. K. **Biodegradability studies on natural fibers reinforced polypropylene composites**. Journal of Applied Polymer Science, Nova Delhi, v. 121, p. 2226-2232, mar. 2011.

CUNHA, Rayane Dantas da. **Estudo do gradiente de resistência em compósito de mecha**

híbrida vidro/Kevlar após impacto de baixa velocidade. 2018. Dissertação de Mestrado. Brasil.

GARCIA, L. **Desenvolvimento de processo de fabricação de compósitos de fibras longas através da tecnologia de Manufatura Aditiva.** Monografia (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos. 2016.

HIBBELER, Russell Charles. **Resistência dos materiais.** 7.ed. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2015. p. 637.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola:** Estatística da Produção Agrícola. p. 35. 2022.

JOSEPH, Kuruvilla; MEDEIROS, Eliton S.; CARVALHO, Laura H. Compósitos de matriz poliéster reforçados por fibras curtas de sisal. **Polímeros**, v. 9, p. 136-141, 1999.

LEÃO, R. **Tratamento superficial de fibra de coco e aplicação em materiais compósitos como reforço do polipropileno.** Monografia (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília. Brasília, p. 01. 2012.

LOPES, M. **Uso de resíduos de bambu na fabricação de compósitos para utilização como OSB-Painéis de partículas orientadas.** Monografia (Mestrado em Engenharia e Ciências dos Materiais) – Centro de Ciência e Tecnologia. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Campos dos Goytacazes – RJ. 2020.

LUCENA, C; SOUZA ROCHA, H; ALBUQUERQUE, A. F; AMORIM, E; BORGES, A. **Caracterização dos Principais Polos de Produção de Banana no Brasil.** Fortaleza. 2013.

MENEZES, A; GALVÃO, E. **Bananeira:** Recomendações de Cultivo. 2004. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/696948/1/com.tec.113.pdf>. Acesso em: 10 de jun. de 2023.

MOSTAFA, M; UDDIN, N. **Effect of Banana Fibers on the Compressive and Flexural Strength of Compressed Earth Blocks.** Disponível em: <http://www.mdpi.com/2075-5309/5/1/282/htm>. 2015, 5(1), 282-296; doi:10.3390/buildings5010282. EISSN 2075- 5309 Published by MDPI AG, Basel, Switzerland. Acesso em 20 out. 2022.

NERY, T; JOSÉ, N. M. **Estudo das fibras de bananeira pré-tratadas e in natura como possível matéria-prima para reforço em compósitos poliméricos.** Revista virtual Química, v. 10, n. 2, p. 10, 2018.

NETO, F. L.; PARDINI, L.C. **Compósitos estruturais:** Ciência e Tecnologia. [Digite o Local da Editora]: Editora Blucher, 2016. 9788521210795. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521210795/>. Acesso em: 05 de novembro de 2022.

NETO, J. **Desempenho mecânico de compósitos híbridos de fibras naturais e poliéster não saturado.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Pós Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal. 2010.

NIAOUNAKIS, M. **Definitions of Terms and Types of Biopolymers**. Em *Biopolymers: Applications and Trends*. Elsevier, 1-90. 2015.

PICANÇO, M. S. **Compósitos cimentícios reforçados com fibras de curauá**. 101 f. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

PINHEIRO, L; KOHAN, L; DUARTE, L; GARAVELLO, M; BARUQUE-RAMOS, J. **Biomordants and new alternatives to the sustainable natural fiber dyeings**. *SN Applied Sciences*, v. 1, p. 1-8, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1384-5>. Acesso em: 21 out. 2022.

Projeto Formoso – Bom Jesus da Lapa (Bahia). *Google Maps. Google*. Consultado em: <<https://goo.gl/maps/yBoYo9cdK5tzw6nE9>>. Acesso em: 20 de maio de 2023.

RODRIGUES, A. **Produção e caracterização de compósito polimérico com fibra de bananeira**. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Mecânica) – Campus Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa. Universidade Federal do Oeste da Bahia. Bom Jesus da Lapa. 2019.

SAVASTANO JÚNIOR, H. **Materiais à base de cimento reforçados com fibra vegetal: reciclagem de resíduos para a construção de baixo custo**. 2000. 152 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

SILVA, R. **Compósito de resina poliuretano derivada de óleo de mamona e fibras vegetais**. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais) – Inter unidades em Ciência e Engenharia de Materiais. Universidade de São Paulo. São Carlos. 2003.

SILVEIRA, M.I.S. C. **A tecelagem manual e o design têxtil: um diálogo entre o artesanal e o industrial**; 10º Colóquio de Moda; Caxias do Sul – RS, 2013.

SPETHMANN, Yuri Hardt. **Viabilização da Produção de Compósitos Laminados para Utilização em Teares**. 2022.

TITA, Sandra PS; DE PAIVA, Jane MF; FROLLINI, Elisabete. **Resistência ao impacto e outras propriedades de compósitos lignocelulósicos**: Matrizes termofixas fenólicas reforçadas com fibras de bagaço de cana-de-açúcar. *Polímeros*, v. 12, p. 228-239, 2002.

VIRINO, Francisco Paulo Serpa. **Materiais compósitos na indústria da construção civil–cenário, desafios e oportunidades**. 2018.