



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



AVENER GLEIDSON ANDRADE SANTOS

CARACTERIZAÇÃO DO TECIDO FIBROSO DE TURURI E AVALIAÇÃO DE  
PROPRIEDADES MECÂNICAS DE COMPÓSITOS DE MATRIZ POLIÉSTER REFORÇADOS  
COM TECIDO FIBROSO DE TURURI

ANANINDEUA – PARÁ

2023

AVENER GLEIDSON ANDRADE SANTOS

**CARACTERIZAÇÃO DO TECIDO FIBROSO DE TURURI E AVALIAÇÃO DE  
PROPRIEDADES MECÂNICAS DE COMPÓSITOS DE MATRIZ POLIÉSTER  
REFORÇADOS COM TECIDO FIBROSO DE TURURI**

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

Orientador(a): Verônica Scarpini Candido

Área de concentração: Caracterização, desenvolvimento e aplicação de materiais.

Linha de pesquisa: Tecnologia dos materiais

ANANINDEUA - PA

2023

AVENER GLEIDSON ANDRADE SANTOS

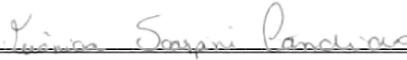
**CARACTERIZAÇÃO DO TECIDO FIBROSO DE TURURI E AVALIAÇÃO DE  
PROPRIEDADES MECÂNICAS DE COMPÓSITOS DE MATRIZ POLIÉSTER  
REFORÇADOS COM TECIDO FIBROSO DE TURURI**

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

Área de concentração: Caracterização, desenvolvimento e aplicação de materiais  
Linha de pesquisa: Tecnologia dos materiais

Data de aprovação: **30 de janeiro de 2023**

Banca examinadora



---

Profa. Dr<sup>a</sup>: Verônica Scarpini Candido  
Orientadora – (PPGCEM/UFPA)



---

Prof. Dr.: Marcos Allan Leite dos Reis  
Examinador interno – (PPGCEM/UFPA)



---

Prof. Dr.: Michel Picanço Oliveira  
Examinador externo – (UFES)

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)

---

S237c Santos, Avener Gleidson Andrade.  
CARACTERIZAÇÃO DO TECIDO FIBROSO DE TURURI E  
AVALIAÇÃO DE PROPRIEDADES MECÂNICAS DE  
COMPOSITOS DE MATRIZ POLIÉSTER REFORÇADOS COM  
TECIDO FIBROSO DE TURURI / Avener Gleidson Andrade  
Santos. — 2023.  
98 f. : il. color.

Orientador(a): Prof<sup>ª</sup>. Dra. Verônica Scarpini Candido  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,  
Campus Universitário de Ananindeua, Programa de Pós-Graduação  
em Ciência e Engenharia de Materiais, Ananindeua, 2023.

1. Fibras naturais; Sustentabilidade; Compósitos;  
Poliméricos. I. Título.

---

CDD 620.11

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha mãe Helena Andrade, por ter acreditado em meu potencial, por suas palavras de incentivo e seu ombro quando sempre precisei. Obrigado!

Agradeço à minha orientadora Profa. Dra. Verônica Scarpini Candido por ter acreditado em mim, pelos ensinamentos transmitidos ao longo deste trabalho, por sua paciência e palavras de incentivo. Obrigado!

Agradeço ao Prof. Drº. Alisson Clay Rios da Silva por todo conhecimento transmitido ao longo deste trabalho, por suas palavras de incentivo e apoio. Obrigado!

Agradeço ao Thyago Sousa, pessoa que se tornou meu lugar de paz e conforto, além de ser meu maior incentivador. Obrigado!

À Rafaela Farinha Felipe, minha amiga de graduação, parceira de trabalho e minha incentivadora nesta caminhada chamada de mestrado. Agradeço por, mesmo de longe, você continuar sendo a minha pessoa. Obrigado!

Agradeço a todos os amigos que de forma direta ou indireta me apoiaram e me ajudaram desde a época da graduação: Amanda Azevedo, Clara Giovana, Carlos Eduardo, Thiago Corrêa, Kate Bezerra, Hellen Coelho, Diogo Pontes, Felipe Brandão e todos os demais colegas. Obrigado!

Agradeço aos meus amigos João Egídio e Thammis Damasceno Hansson pelo apoio incondicional no momento em que tudo estava perdido. Obrigado!

Agradeço a Mainara Lacerda, Alana Lisboa Samea Gabriela e Renataly Trindade, por terem acreditado em mim quando nem eu mesmo conseguia assim fazer. Pelas conversas e risadas que ajudaram a tornar esta caminhada mais leve. Obrigado!

Agradeço ao laboratório de Caracterização de Materiais (LABCAM) e o Laboratório de Práticas Tecnológicas (LABPTEC) por possibilitar a realização desta pesquisa. Às pessoas que compõem o grupo, pessoas que tornaram os dias mais leves e divertidos: Miriane Pinheiro, Olivia Leite, Nely Thatiane, Damares Barbosa, Paulo Aranha, e os outros colegas. Obrigado!

Agradeço ao Laboratório Institucional de Microscopia Eletrônica de Varredura do Museu Paraense Emílio Goeldi e ao Laboratório de Caracterização de Materiais Avançados LAMAV da Universidade Estadual Norte Fluminense (UENF).

Agradeço ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais (PPGCEM/UFPA) por todo o conhecimento transmitido ao longo do curso.

À Fundação de Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas (FAPESPA) pela concessão do aporte financeiro para realização desta pesquisa.

*“Nós só podemos ver um pouco do futuro,  
mas o suficiente para perceber que há muito a fazer”*

***Alan Turing***

## RESUMO

Nas últimas décadas, tornou-se crescente a busca por materiais que apresentem elevado desempenho mecânico e que estejam de acordo com os requisitos da sustentabilidade. No contexto da sustentabilidade, a Organização das Nações Unidas (ONU) estabeleceu em 2015 os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), afim de nortear os caminhos para um desenvolvimento sustentável. A utilização de resíduos para produção de novos materiais é benéfica, pois a utilização destes representa uma solução de destinação ambientalmente correta, abrangendo assim os quesitos estabelecidos pelos ODS. A utilização de fibras naturais na produção de novos materiais teve um aumento expressivo na última década. O uso de fibras naturais como reforço em compósitos de matriz polimérica já é bem consolidada. Isso se deve ao fato de algumas fibras apresentam elevado desempenho mecânico e boa estabilidade térmica, duas propriedades altamente atraentes em materiais compósitos. Os compósitos reforçados com fibras naturais têm um vasto campo de aplicação, podendo ser utilizados em indústrias de construção civil, aeroespacial, automobilística, entre outras. Neste cenário, a utilização do tecido de tururi como agente de reforço em compósitos de matriz polimérica surge como uma alternativa viável para destinação sustentável deste resíduo oriundo da etapa de coleta de seus frutos. Desta forma, o presente estudo tem por objetivo caracterizar o tecido fibroso de tururi por meio de microscopia óptica, microscopia eletrônica de varredura, difração de raios-x, análise termogravimétrica e espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR), assim como determinar propriedades físicas como massa específica, teor de umidade e gramatura. Os compósitos foram produzidos utilizando um percentual de 2,5, 5,0 e 7,5% em massa de reforço. Adicionalmente foram realizados ensaios de tração, flexão e impacto charpy. As caracterizações realizadas revelaram que o tecido fibroso de tururi é composto por fibras de diâmetros variados e possui regiões de bifurcação, indicando que o tecido pode atuar de diferentes formas quando incorporado como reforço. A massa específica, teor de umidade e gramatura tiveram valores médios de 1,17 g/cm<sup>3</sup>, 16,58% e 146,61 g/m<sup>2</sup>, respectivamente. A análise térmica revelou boa estabilidade térmica para o tecido de tururi. Os ensaios mecânicos apontaram que conforme ocorreu a incorporação de reforço, os compósitos ensaiados em tração tiveram perda de resistência, apresentando uma perda de 15MPa em relação à matriz. Ao serem solicitados em flexão os compósitos reforçados com até 2,5% apresentaram melhor desempenho mecânico, com valores de 63,9 MPa. O ensaio de impacto relevou que a capacidade de absorção de energia aumento em 371% em relação à matriz, o que indica que o tecido atuou como bom agente de reforço.

Palavras-chave: Fibras naturais; Sustentabilidade; Compósitos; Poliméricos

## ABSTRACT

In recent decades, the search for materials with high mechanical performance and that are in accordance with sustainability requirements has become increasing. In the context of sustainability, the United Nations (UN) established in 2015 the Sustainable Development Goals (SDGs), in order to guide the paths to sustainable development. The use of waste to produce new materials is beneficial, because the use of these materials represents a solution for environmentally friendly disposal, thus covering the requirements established by the SDGs. The use of natural fibers in the production of new materials has increased significantly in the last decade. The use of natural fibers as reinforcement in polymer matrix composites is already well established. This is due to the fact that some fibers have high mechanical performance and good thermal stability, two highly attractive properties in composite materials. Composites reinforced with natural fibers have a vast field of application, and can be used in civil construction, aerospace, and automotive industries, among others. In this scenario, the use of tururi fabric as a reinforcement agent in composites of polymeric matrix emerges as a viable alternative for sustainable disposal of this waste coming from the harvesting stage of its fruits. Thus, this study aims to characterize the tururi fibrous tissue by optical microscopy, scanning electron microscopy, X-ray diffraction, thermogravimetric analysis and Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), as well as to determine physical properties such as density, moisture content and weight. The composites were produced using a 2.5, 5.0 and 7.5% by mass percentage of reinforcement. Additionally, tensile, flexural and charpy impact tests were performed. The characterizations revealed that the tururi fibrous tissue is composed of fibers of various diameters and has regions of bifurcation, indicating that the tissue can act in different ways when incorporated as reinforcement. The density, moisture content and weight had average values of 1.17 g/cm<sup>3</sup>, 16.58% and 146.61 g/m<sup>2</sup>, respectively. The thermal analysis revealed good thermal stability for the tururi fabric. The mechanical tests pointed out that as the incorporation of reinforcement occurred, the composites tested in traction had a loss of resistance, presenting a loss of 15MPa in relation to the matrix. When requested in flexion the composites reinforced with up to 2.5% showed better mechanical performance, with values of 63.9 MPa. The impact test revealed that the energy absorption capacity increased by 371% compared to the matrix, which indicates that the fabric acted as a good reinforcement agent.

Keywords: Natural Fibers; Sustainability; Composites; Polymeric.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Representação esquemática da configuração de manufatura de compósitos.....	18
Figura 2 – Gráfico da utilização de compósitos reforçados com fibra de carbono.....	23
Figura 3 – Em (a) estrutura química da META-ARAMIDA, e em (b) PARA-ARAMIDA.....	23
Figura 4 – Utilização da fibra de vidro em diferentes setores.....	24
Figura 5 – Ilustração estrutural de uma fibra lignocelulósica.....	27
Figura 6 – Palmeira de Ubuçu e seu invólucro.....	29
Figura 7 – Invólucro do fruto da palmeira do Ubuçu.....	30
Figura 8 – Artesanato feito com tecido de tururi.....	30
Figura 9 – Resina utilizada para confecção dos compósitos e o agente catalisador.....	34
Figura 10 – Tecido de tururi <i>in natura</i> .....	34
Figura 11 – Tecido de tururi após a etapa de lavagem.....	35
Figura 12 – Microscópio óptico utilizado para caracterização do tecido.....	36
Figura 13 – Aparato utilizado para determinar a massa específica.....	37
Figura 14 – Fluxograma das etapas de confecção dos compósitos.....	39
Figura 15 – Moldes utilizados para confecção dos corpos de prova.....	39
Figura 16: Estufa utilizada para o processo de cura.....	40
Figura 17 – Máquina universal utilizada para realização do ensaio de tração.....	41
Figura 18 – Dimensões do corpo de prova para ensaio de tração.....	42
Figura 19 – Dimensões do corpo de prova para ensaio de flexão.....	43
Figura 20 – Máquina universal utilizada para realização do ensaio de flexão.....	44
Figura 21 – Dimensões dos corpos de prova para ensaio de impacto Charpy.....	44
Figura 22 – Máquina utilizada para realização do ensaio de impacto Charpy.....	45

Figura 23 – Microscopia óptica do tecido de tururi.....	48
Figura 24 – Microscopia Eletrônica de Varredura do tecido de tururi com diferentes aumentos.....	50
Figura 25 – Difratoograma de raios-x do tecido de tururi.....	51
Figura 26 - Termograma do tecido de tururi.....	53
Figura 27 – Espectro vibracional do tecido de tururi.....	55
Figura 28 – Gráfico do teor de umidade do tecido de tururi.....	57
Figura 29 – Corpos de prova ensaiados em tração.....	59
Figura 30 – Gráfico de resistência à tração dos corpos de prova reforçados com tecido de tururi.....	60
Figura 31 – Gráfico do módulo de elasticidade dos corpos de prova reforçados com tecido de tururi.....	63
Figura 32 – Gráfico de deformação dos corpos de prova reforçados com tecido de tururi.....	65
Figura 33 – Micrografias dos corpos de prova ensaiados em tração. Em (a): P0%, em (b): P2.5%, em (c): P5.0% e em (d):P7.5%.....	67-68
Figura 34 – Corpos de prova ensaiados em flexão.....	69
Figura 35 – Corpos de prova ensaiados em flexão não fraturados.....	70
Figura 36 – Gráfico de resistência à flexão.....	71
Figura 37 – Gráfico do módulo de elasticidade dos corpos de prova ensaiados em flexão.....	73
Figura 38 – Gráfico de deformação obtido a partir do ensaio de flexão.....	75
Figura 39 – Microscopia Eletrônica de Varredura dos corpos de prova ensaiados em flexão....	77
Figura 40 – Gráfico de resistência ao impacto Charpy.....	79

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição química de algumas fibras naturais.....	26
Tabela 2 – Propriedades mecânicas de algumas fibras naturais lignocelulósicas.....	28
Tabela 3 – Formulações para produção dos corpos de prova.....	40
Tabela 4 – Parâmetros utilizados na Análise de variância (ANOVA).....	46
Tabela 5 – Valores para o teor de umidade do tecido de tururi.....	56
Tabela 6 – Propriedades mecânicas obtidas no ensaio de tração.....	60
Tabela 7 – ANOVA da resistência à tração compósitos reforçados com tecido de tururi.....	62
Tabela 8 – Teste de TUKEY realizado nos resultados de resistência à tração.....	63
Tabela 9 – ANOVA do módulo de elasticidade dos corpos de prova ensaiados em tração.....	64
Tabela 10 – Teste de TUKEY do módulo de elasticidade dos corpos de prova reforçados com tecido de tururi.....	65
Tabela 11 – ANOVA das médias de deformação.....	66
Tabela 12 – Teste de TUKEY das médias de deformação dos corpos de prova reforçados com tecido de tururi.....	67
Tabela 13 – Propriedades mecânicas obtidas no ensaio de flexão.....	70
Tabela 14 – ANOVA dos resultados de resistência à flexão.....	72
Tabela 15 – Teste de TUKEY para os dados obtidos a partir da resistência à flexão.....	72
Tabela 16 – ANOVA do módulo de elasticidade dos corpos de prova ensaiados em flexão.....	74
Tabela 17 – Teste de TUKEY para os dados obtidos a partir do módulo de elasticidade.....	74
Tabela 18 – ANOVA dos resultados obtidos a partir dos dados de deformação.....	76
Tabela 19 – Teste de TUKEY para os dados obtidos a partir da deformação.....	76
Tabela 20 – Propriedades mecânicas obtidas no ensaio de impacto CHARPY.....	78
Tabela 21 – ANOVA dos corpos de prova ensaiados em impacto.....	80
Tabela 22 – Teste de TUKEY obtido a partir dos dados de resistência ao impacto CHARPY.....	81

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Características de algumas resinas poliméricas.....	19
Quadro 2 – Estudos acerca de compósitos de matriz polimérica do tipo poliéster.....	21
Quadro 3 – Relação entre planta, parte de onde são retiradas e seu nome científico.....	39

# Sumário

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	15
<b>1.1. Objetivos</b> .....	17
1.1.1. <b>Objetivo geral</b> .....	17
1.1.2. <b>Objetivo específico</b> .....	17
<b>2. REVISÃO TEÓRICA</b> .....	18
<b>2.1. Compósitos</b> .....	18
2.1.1. <b>Compósitos de matriz polimérica</b> .....	19
<b>2.2. Resina poliéster</b> .....	21
<b>2.3. Fibras sintéticas</b> .....	22
<b>2.4. Fibras naturais</b> .....	25
<b>2.5. Fibras naturais lignocelulósicas</b> .....	26
<b>2.6. Tecido fibroso de tururi (<i>Manicaria saccifera</i>)</b> .....	29
<b>2.7. Compósitos reforçados com fibras naturais lignocelulósicas</b> .....	31
<b>2.8. Compósitos reforçados com tecido fibroso de tururi</b> .....	32
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	34
<b>3.1. Materiais</b> .....	34
<b>3.2. Metodologia</b> .....	35
<b>3.3. Métodos de caracterização</b> .....	35
3.3.1. <b>Microscopia óptica</b> .....	35
3.3.2. <b>Microscopia eletrônica de varredura</b> .....	36
3.3.3. <b>Difração de raios-x</b> .....	36
3.3.4. <b>Determinação da massa específica</b> .....	37
3.3.5. <b>Análise termogravimétrica</b> .....	37
3.3.6. <b>Espectroscopia vibracional no infravermelho (<i>FTIR</i>)</b> .....	38
3.3.7. <b>Determinação do teor de umidade</b> .....	38
3.3.8. <b>Determinação da gramatura do tecido de tururi</b> .....	38
<b>3.4. Confeção dos corpos de prova</b> .....	39
<b>3.5. Caracterização mecânica dos corpos de prova</b> .....	41
3.5.1. <b>Ensaio de resistência à tração</b> .....	41
3.5.2. <b>Ensaio de resistência à flexão</b> .....	42
3.5.3. <b>Ensaio de resistência a impacto charpy</b> .....	44
<b>3.6. Tratamento estatístico</b> .....	45
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	48

<b>4.1. Caracterização do tecido de tururi</b> .....	48
4.1.1. Microscopia óptica .....	48
4.1.2. Microscopia eletrônica de varredura .....	49
4.1.3. Difração de raios-x .....	51
4.1.4. Massa específica.....	52
4.1.5. Análise termogravimétrica .....	53
4.1.6. Espectroscopia vibracional no infravermelho .....	54
4.1.7. Teor de umidade.....	56
4.1.8. Gramatura.....	57
<b>4.2. CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DOS CORPOS DE PROVA</b> .....	59
4.2.1. Ensaio de resistência à tração .....	59
4.2.2. Ensaio de resistência à flexão.....	69
4.2.3. Ensaio de impacto Charpy.....	78
<b>5. CONCLUSÃO</b> .....	82
<b>6. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS</b> .....	84
<b>7. ANEXOS</b> .....	85
<b>8. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO</b> .....	87

## 1. INTRODUÇÃO

A partir do advento da globalização, os materiais passam por constantes processos de mudança, a fim de melhorar suas propriedades e adequar as mesmas às necessidades do mundo atual. Os materiais compósitos ganharam um papel de destaque neste cenário, uma vez que é possível manufacturar este material de acordo com exigências e necessidades (HOSSAIN *et al.*, 2020).

Material compósito, se trata de um material que é manufacturado a partir da combinação de dois ou mais materiais (DIPEN *et al.*, 2019). No entanto, esses materiais apenas são classificados assim quando as fases constituintes apresentem uma interface de ligação bem definida e diferenças notórias em suas propriedades físicas (KODALINGAM *et al.*, 2020). Um material compósito deve ser, obrigatoriamente, constituído por pelo menos duas fases, onde uma fase será fase matriz e a outra será fase reforço. A primeira será responsável por receber as diversas solicitações que este material vier sofrer, e a segunda será a fase que será a responsável por fornecer a resistência e a rigidez a este material (KODALINGAM, *et al.* 2020).

Atualmente, os materiais compósitos são objetos de estudos no que tange o desenvolvimento de novos materiais (MONTEIRO *et al.*, 2019). Os compósitos despertam interesse em vários ramos industriais. No entanto, as indústrias que mais absorvem estes materiais são: aeroespacial e a automobilística. Essa preferência se deve ao fato de os materiais compósitos serem mais leves do que os materiais já consolidados na sociedade. Apesar de apresentarem massa específica reduzida em relação aos materiais metálicos e cerâmicos, suas propriedades mecânicas podem ser equiparadas às propriedades dos materiais mais convencionais (BALACHANDAR *et al.*, 2019).

Essa classe de materiais apresenta várias possibilidades de fabricação. Uma das configurações que vêm ganhando destaque são os compósitos reforçados com fibras, sejam elas de origem natural ou sintética (KODALINGAM *et al.*, 2020). As fibras de origem sintéticas são excelentes reforços para materiais compósitos de matriz polimérica, porém o principal fator limitante para seu uso está no seu alto valor agregado. Além disso, existe uma problemática envolvida no descarte de compósitos reforçados com fibras sintéticas quando estes exaurem seu tempo de vida útil (BAHAR; BALCIOGLU, 2019).

Uma alternativa para tal questão são os compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais. Os compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais vêm lugar de destaque no campo das pesquisas. Na última década 2012-2022 houve um aumento de 535% nas publicações de pesquisas acerca de compósitos que utilizam fibras naturais como reforço

(PORTAL PERIÓDICO CAPES, 2022). O elevado interesse está relacionado a características e propriedades como baixa densidade e elevadas propriedades mecânicas. Ademais, podem ser citadas algumas outras características, ecologicamente corretas, que esta classe de compósitos apresentam como: sustentabilidade, biodegradabilidade, baixos impactos ambientais e custos (CAVALCANTI *et al*, 2021).

A utilização de fibras naturais é viável, no que tange os aspectos econômicos e ambientais. O aspecto econômico é fundamentado pelo baixo custo de produção, o que está relacionado com a abrangência da matéria-prima. O aspecto ambiental sustenta sua justificativa, pois propicia uma rota de destinação adequada às fibras que seriam descartadas de forma inadequada. Na literatura constam vários exemplos de novos compósitos desenvolvidos utilizando fibras naturais, a fim de obter propriedades próximas ou superiores às dos compósitos reforçados com fibras sintéticas. Em Sethuruman *et al.*, (2020) os autores apresentam um estudo sobre a investigação de propriedades mecânicas de compósitos de matriz poliéster reforçados com fibra de *Coccina indica*. É apresentado como resultado a melhoria nas propriedades de módulo de Young em compósitos reforçados com fibras com 30 mm de comprimento.

O trabalho apresentado por Sheedev *et al.*, (2021) aponta que a incorporação da fibra de Canhamo em compósito de matriz polimérica quando produzidos utilizando o processo de prensagem a quente não se mostra eficaz por comprometer a integridade da matriz e do reforço. Em Adhikari; Keetinh (2017) os autores produziram compósitos utilizando reforço um híbrido de fibra de banana com fibra de juta, onde foi observado que a resistência mecânica dos compósitos varia de acordo com o percentual de incorporação de reforço fibroso.

Um exemplo de fibra natural que pode ser utilizada para aplicação como reforço de compósitos de matriz polimérica é a fibra de tururi (*Manicaria saccifera*). A fibra de tururi, em seu estado natural, é obtida em forma de invólucro fibroso. Em território nacional sua ocorrência se dá em três estados: Amazonas, Amapá e Pará (FLORA DO BRASIL, 2023). Em todos os estados, o invólucro fibroso é utilizado para confecção de artesanato, recobrimento de residências rústicas e confecção de vestimentas.

A fibra de tururi, se difere de outras fibras naturais por apresentar uma característica física peculiar, que é elevado grau de entrelaçamento. Quando utilizada como reforço para compósitos de matriz polimérica, é comumente utilizada em forma de tecido, diferente da maioria das fibras lignocelulósicas utilizadas para esta finalidade (PORRAS *et al.*, 2015). A utilização deste reforço é benéfica no que tange o aspecto ambiental, pois proporciona uma aplicação adequada a um resíduo que outrora seria descartado no meio ambiente de forma inadequada.

No panorama científico e tecnológico, a utilização deste tecido representa um promissor avanço do campo da Ciência e Engenharia de Materiais, por proporcionar uma melhor compreensão das propriedades morfológicas e físicas do mesmo. No cunho socioeconômico o presente trabalho aponta o impacto econômico que a utilização destas fibras proporcionará às comunidades que realizam seu cultivo, gerando assim, emprego e renda aos responsáveis pelo cultivo, colheita e venda destas.

Por conseguinte, este trabalho tem por objetivo caracterizar física, mecânica e termicamente o invólucro fibroso de tururi, assim como os compósitos poliméricos reforçados com este tecido.

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1. Objetivo geral**

Este trabalho tem por objetivo determinar as propriedades físicas, químicas e térmicas do tecido fibroso de tururi, assim como determinar as propriedades mecânicas dos compósitos poliméricos produzidos com reforço do tecido fibroso de tururi.

### **1.1.2. Objetivo específico**

- Realizar a caracterização morfológica, física e térmica o tecido fibroso de tururi;
- Avaliar as propriedades mecânicas dos compósitos quando submetidos em ensaios de tração e flexão e impacto;
- Avaliar a tenacidade dos compósitos em resposta ao impacto Charpy;
- Analisar a adesão e o comportamento do tecido fibroso inserido nos compósitos por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV).

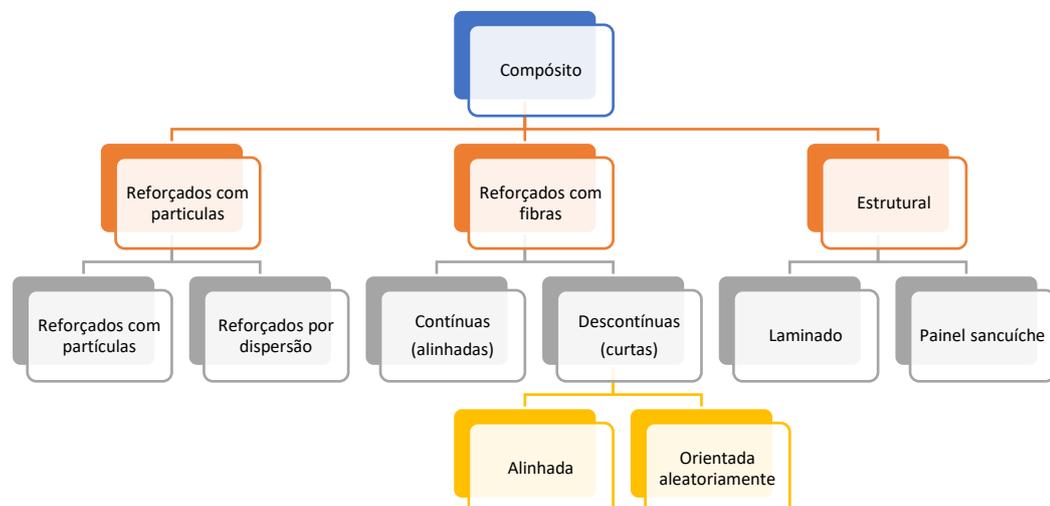
## 2. REVISÃO TEÓRICA

### 2.1. Compósitos

Um material compósito deve ser, fundamentalmente, constituído por pelo menos dois materiais. A exemplo dessa afirmativa, concreto, madeira e osso são pertencentes a classe dos compósitos (KHALID *et al.*, 2021). Os materiais compósitos se tornaram, nas últimas décadas, alvo de maciças pesquisas ao redor do mundo. Este elevado interesse está diretamente relacionado a obtenção de materiais com propriedades elevadas e a possibilidade adaptação dos compósitos de acordo com as áreas de aplicação (ULLAH *et al.*, 2019). Estes materiais apresentam propriedades fortemente atrativas, contudo essas propriedades são dependentes das propriedades que os materiais constituintes apresentam em caráter individual (DHIBAR *et al.*, 2018).

Atualmente, os compósitos são materiais de uso passivado, e já tem seu uso bem aceito pela sociedade e indústria. A popularidade dos materiais compósitos está atrelada às propriedades que estes apresentam como; elevada resistência, baixo peso, resistência à corrosão. Contudo, ainda existe um desafio que é torna-los materiais mais econômicos e acessíveis (DIPEN *et al.*, 2019). O alto custo de fabricação de algumas classes de materiais compósito é uma problemática, porém, também essa problemática atua como fator precursor de estudos, que visam desenvolver novas técnicas de manufatura, a fim de tornar os processos menos onerosos, impactando assim diretamente no valor do produto final (DHIBAR *et al.*, 2018). Os materiais compósitos possuem várias possibilidades de manufatura. A figura 1 apresenta um esquema onde é possível verificar estas possibilidades.

Figura 1: Representação esquemática da configuração de manufatura de compósitos



Fonte: Adaptado de Koodaligam *et al.*, (2020)

Os compósitos são materiais que tem em sua constituição duas fases, sendo elas; a fase matriz e a fase reforço. A fase contínua é chamada de matriz, enquanto a fase descontínua é chamada de reforço, e geralmente, é mais dura e forte. (DHIBAR *et al.*, 2018).

As matrizes utilizadas para manufatura dos materiais compósitos podem ser divididas em três categorias: Compósitos de Matriz Cerâmica (CMC), Compósitos de Matriz Metálica (CMM) e Compósito de Matriz Polimérica (CMP).

### 2.1.1. Compósitos de matriz polimérica

Os compósitos de matrizes poliméricas apresentam, geralmente, baixo custo e facilidade de fabricação, a depender do reforço. Contudo, a utilização de polímeros não reforçados para fins de utilização estruturais ainda é restringida por conta de suas propriedades mecânicas reduzidas (ARUL *et al.*, 2020). Os CMP são compostos basicamente por três tipos de matrizes: borrachas, termorrígidas e termoplásticas. Por conta de sua estrutura tridimensional e suas ligações cruzadas, as matrizes termorrígidas são mais fortes (AISYAH *et al.*, 2021).

As matrizes termorrígidas ou termofixas são capazes de garantir ao compósito boa rigidez, estabilidade dimensional, deformação sob cargas leves quando comparadas aos metais, e também apresentam boas propriedades de isolamento elétrico e térmico. (OUARHIM *et al.*, 2019).

As termorrígidas por conta de suas propriedades mecânicas e físicas são as matrizes mais requeridas para a fabricação de compósitos. Exemplos de matrizes termorrígidas bastante utilizadas são: Epóxi, Poliéster e Fenólica (ULLAH *et al.*, 2019). Outras matrizes que também podem ser utilizadas são: Viniléster, Poliamidas e Silicone (OUARHIM *et al.*, 2019). A escolha da matriz irá ser fator determinante nas propriedades finais dos compósitos.

Existem várias características que são intrínsecas das termorrígidas, características essas que, dependendo do seu uso, podem ser vantajosas ou não, em vista disso é correto afirmar que as matrizes devem ser escolhidas visando o produto final e sua aplicação. A quadro 1 apresenta algumas características acerca das matrizes supracitadas.

Quadro 1: Características de algumas resinas poliméricas

Matriz polimérica (resinas)	Principais características
Epóxi	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alta adesão (matriz x reforço);</li> <li>- Boa resistência química;</li> <li>- Excelentes propriedades mecânicas;</li> <li>- Baixa retração de cura;</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Resistência elétrica;</li> <li>- Elevado tempo de vida útil em altas temperaturas.</li> </ul>
Poliéster	<p><b>Poliéster (ortoftálico):</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Trabalhabilidade em temperatura ambiente;</li> <li>- Baixas resistências térmicas, mecânicas e à corrosão.</li> </ul> <p><b>Poliéster (isoftálico):</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Elevadas propriedades mecânicas;</li> <li>- Boa resistência à corrosão;</li> <li>- Boa resistência a elevadas temperaturas.</li> </ul>
Fenólica	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estabilidade em temperaturas de até 350 °C;</li> <li>- Estabilidade química;</li> <li>- Retardância ao fogo;</li> <li>- Baixa emissão de fumaças e tóxicos;</li> <li>- Boas propriedades do atrito.</li> </ul>
Viniléster	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Boa resistência à flexão;</li> <li>- Boa resistência química;</li> <li>- Boa resistência à chama.</li> </ul>
Poliamidas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Boa resistência à flexão;</li> <li>- Boa resistência química;</li> <li>- Boa resistência à chama.</li> </ul>
Silicone	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Boa resistência a temperaturas de até 350 °C;</li> <li>- Boa resistência a rasgos;</li> <li>- Possui propriedades antienvelhecimento.</li> </ul>

Fonte: Lopes (2017)

A utilização dos CMP é diversificada e abrange os mais diversos campos de aplicação. O estudo apresentado por (MEKONNEN; MANO, 2020) apresenta um compósito de matriz polimérica do tipo poliéster e reforço de fibra natural para o desenvolvimento de pás de turbinas eólicas, onde foi observado que houve aumento na resistência à tração e resistência à flexão. O estudo difundido por (PEREIRA *et al.*, 2019) apresentou um compósito de matriz poliéster sendo aplicado à proteção balística individual. Este estudo apresentou resultado satisfatório na proteção balística no calibre ao qual foi submetido. Na área da saúde os CMP têm seu campo de aplicação. O estudo publicado por (OLIVEIRA *et al.*, 2020) apresentou os resultados obtidos a partir da investigação de um bio-compósito de matriz polimérica do tipo polibenzoxazina

reforçada com um tecido natural. Constatou-se um a obtenção de um CMP com propriedades mecânicas satisfatórias.

Os estudos, mais uma vez, reforçam a necessidade se observar as propriedades dos constituintes envolvidos na manufatura de um material compósito.

## 2.2. Resina poliéster

A resina poliéster é formada por polímeros lineares de cadeia longa dissolvido em um monômero de vinil. O poliéster insaturado é obtido a partir da reação do polipropileno (etilenoglicol) e anidrido maleico. A cadeia formada apresenta várias ligações C=C. Esta resina apresenta como agente de cura o peróxido de metil etil cetona (MEKP), já o agente utilizado como catalisador é o naftanato de cobalto. Esta, por sua vez, apresenta boas propriedades mecânicas e baixa massa específica (NAQVI *et al.*, 2022).

A resina poliéster tem seu campo de aplicação bem consolidado em setores como: elétrico, químico, marítimo e automotivos (NAQVI *et al.*, 2022). Alguns estudos publicados corroboram para tal afirmativa. O quadro 2 apresenta alguns estudos de compósitos de matriz polimérica do tipo poliéster nas mais diversas áreas de aplicação e seus principais resultados ao utilizar esta resina.

Quadro 2: Estudos acerca de compósitos de matriz polimérica do tipo poliéster

<b>Autor</b>	<b>Estudo</b>	<b>Resultados</b>
SALLEM <i>et al.</i> , 2021.	Melhoria no desempenho de Biocompósitos de poliéster à base de acrílico por hibridização de fibra de bast/basalto para aplicações automotivas.	O desempenho mecânico de compósitos híbridos de fibra bast/basalto foi significativamente melhorado em comparação aos compósitos bast/fibra. Os resultados de tração, flexão e impacto mostraram valores que apontam melhoria nos resultados obtidos.

TAUANOV <i>et al.</i> , 2022.	Propriedades antimicrobianas do polícron carregado por triclosan. Compósito a base de resina poliéster insaturada: síntese, caracterização e atividade.	Confirmam a obtenção de um material não poroso adequado para aplicação em louça sanitária, pois reduz a proliferação de bactérias.
FERREIRA <i>et al.</i> , 2017.	Comparação das resistências mecânicas do compósito resina poliéster/fibra de coco e madeiras brasileiras de usos estruturais.	Foi possível constatar aumentos em ambas as resistências à medida que o teor de fibra foi aumentado.
SUBRATA <i>et al.</i> , 2021.	Efeito da sequência de empilhamento em compósitos híbrido natural/sintético de matriz polimérica reforçados com fibras.	Como resultado, a resistência à tração, resistência à flexão de acordo com as percentagens de reforço incorporadas na matriz.
KUMAR 2022.	Efeito da carga de fibra natural nas propriedades mecânicas e térmicas características dos compósitos de poliéster híbridos para aplicações industriais e campos de construção.	Os resultados dos testes mecânicos revelaram uma tendência regular de aumento nas propriedades de tração, flexão, impacto e dureza com a adição de fibras naturais. A boa adesão entre as fibras naturais e a matriz de poliéster também é responsável pela capacidade de resistência efetiva

Fonte: SALLEM *et al.*, (2021); TAUANOV *et al.*, (2022); FERREIRA *et al.*, (2017); SUBRATA *et al.*, (2021); KUMAR (2022).

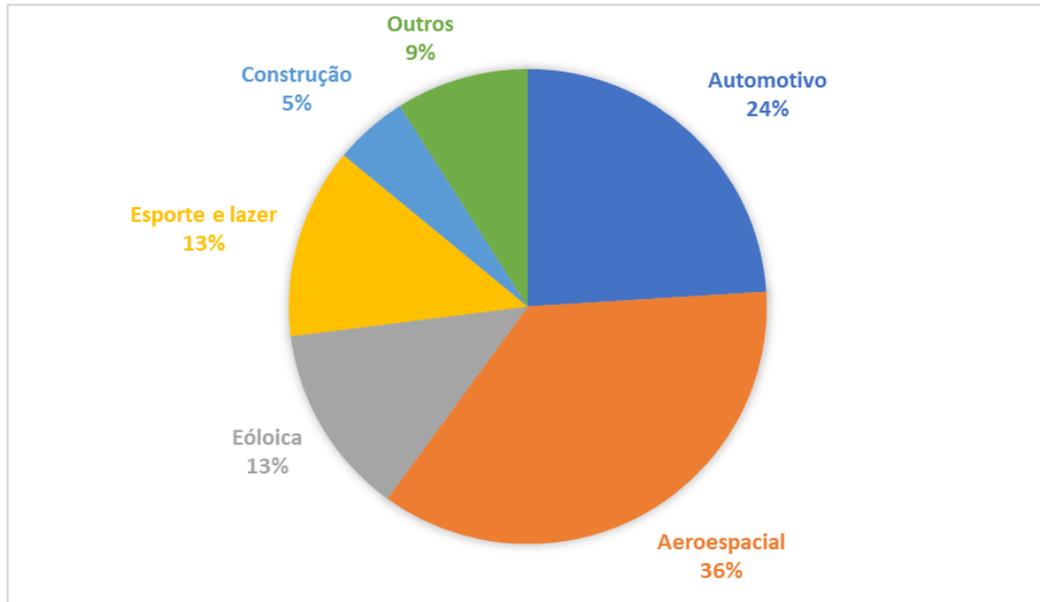
Os estudos apresentados no quadro 2 confirmam a vasta possibilidade de aplicação dos compósitos de matriz polimérica do tipo poliéster nos mais diversos ramos de aplicação.

### 2.3.Fibras sintéticas

A utilização de matérias compósitos tecnológicos, em foco aqueles que utilizam fibras como reforço, têm apresentado nos últimos anos, um aumento exponencial em aplicações nas áreas aeroespacial, automotiva e na área de geração energia (TALREJA; WAAS, 2022). As fibras sintéticas são amplamente utilizadas para fabricação de materiais compósitos. As fibras

sintéticas mais utilizadas são as fibras de carbono, aramida e vidro (CHENG *et al.*, 2020). A figura 2 apresenta o percentual de utilização de compósitos reforçados com fibras de carbono no ano de 2018.

Figura 2: Gráfico da utilização de compósitos reforçados com fibra de carbono

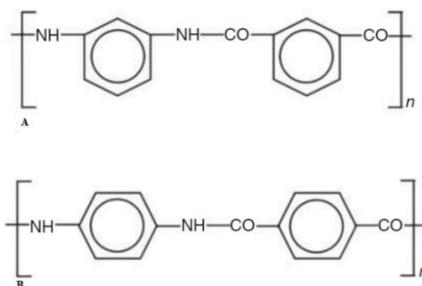


Fonte: Adaptado de WANG *et al.*, (2021)

A fibra de carbono é descrita como uma fibra que apresenta em torno de 92% de carbono. Caso esse percentual de carbono seja excedido e alcance valores de 99% a fibra passa a ser denominada de fibra grafítica. A fibra de carbono possui excelente resistência à tração. As fibras grafíticas apresentam alto módulo de elasticidade e condutividade térmica (WANG *et al.*, 2021).

A fibra de aramida pode ser classificada em META-ARAMIDA e PARA-ARAMIDA. A diferença entre elas está na sua estrutura química, como é apresentada na figura 3.

Figura 3: Estrutura química da META-ARAMIDA e PARA-ARAMIDA. Em (a): META-ARAMIDA, e em (b) PARA-ARAMIDA



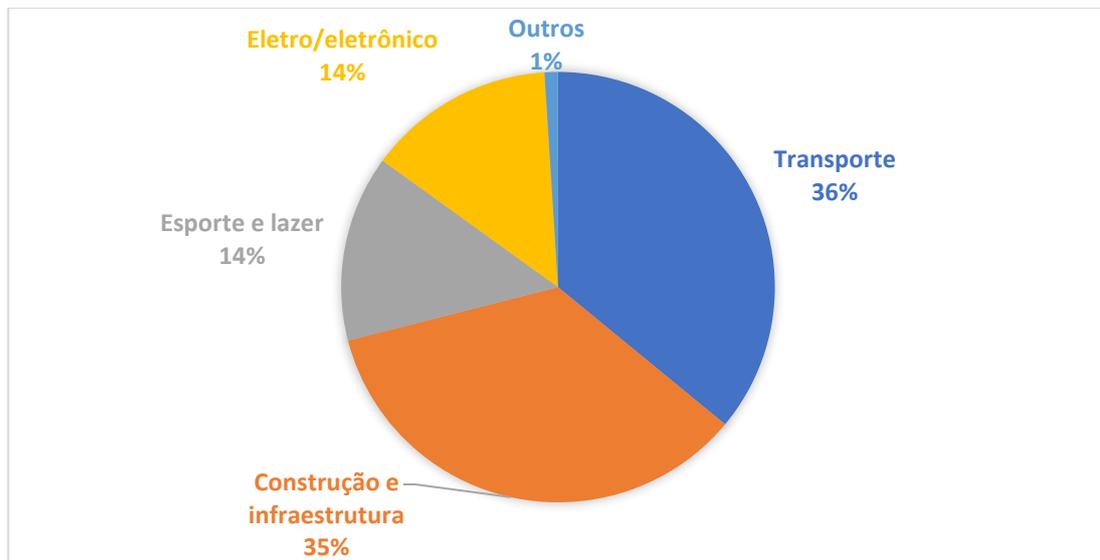
Em (a): META-ARAMIDA, e em (b) PARA-ARAMIDA

Fonte: WANG *et al.*, (2021)

A diferença entre a META-ARAMIDA e a PARA-ARAMIDA está na posição em que a ligação do anel aromático se localiza. Ambas são fibras que apresentam semicristalinidade. Contudo, por conta do seu processo de fabricação a PARA-ARAMIDA apresenta um nível mais alto de cristalinidade, conferindo a ela uma maior resistência à tração e melhor módulo de Young (WANG *et al.*, 2021).

As fibras de vidro apresentam um valor diametral extremamente baixo, por conta de tal característica estas são consideradas finas. São, geralmente, produzidas de calcário, borossilicato e outras matérias-primas. Seu processo de manufatura pode ser feito por fusão, trefilação ou resfriamento. (WANG *et al.*, 2021) a figura 4 apresenta o gráfico da utilização das fibras de vidro em diferentes setores industriais.

Figura 4: Gráfico da utilização de fibras de vidro em diferentes setores.



Fonte: WANG *et al.*, (2021)

As fibras de vidro têm suas propriedades variadas de acordo com o seu elemento precursor. Mas no que tange resistências, as fibras de vidro são excelentes reforços para as mais diversas áreas de aplicação, como pode ser observado na figura 2.

Apesar de apresentarem excelentes propriedades mecânicas, as fibras sintéticas trazem consigo algumas problemáticas. No que tange a sua incorporação em materiais compósitos as sintéticas, além de apresentarem um elevado valor agregado, apresentam também uma dificuldade no panorama da sustentabilidade, pois tornam o seu descarte mais difícil, e se descartados de forma inadequada podem acarretar impactos ambientais significativos (BAHAR; BALCIOGLU, 2019).

## 2.4. Fibras naturais

As fibras naturais podem ser classificadas de acordo com sua origem. Essas fibras podem ser de origem animal, mineral e vegetal, esta última podendo ser chamada também de fibra lignocelulósica. (GIRALDELLI *et al.*, 2021).

As fibras de origem vegetal podem ser classificadas, também como fibras lignocelulósicas. Este tipo de fibra desperta enorme interesse por conta de suas propriedades atrativas no que tange a resistência mecânica (REIS *et al.*, 2019).

Atualmente, inúmeras fibras naturais têm sido estudadas, motivação para o uso deste reforço pode ser justificada a partir de vários argumentos, entre os quais podem ser citados: sustentabilidade, custo, peso relativamente baixos, benefícios sociais e boas propriedades mecânicas, entre outros (KOTIK, 2019). Diversos setores têm buscado alternativas no sentido de diminuir os impactos ambientais decorrentes dos processos produtivos industriais, visando a reinserção destas fibras em outros processos de manufatura (KOTIK, 2019).

O estudo apresentado por (PEREIRA *et al.*, 2021), onde foi realizada uma investigação acerca da substituição do tecido sintético de KEVLAR<sup>®</sup> por fibras naturais em coletes de proteção balística. Os autores relatam que, pela primeira vez, um sistema de blindagem multicamadas foi bem sucedido quando se realizou a substituição do tecido sintético de KEVLAR<sup>®</sup> por tecido natural. Os resultados atenderam as normas das agencias regulamentadoras.

O estudo de (MEKONNEN; MANO, 2020) apresenta uma análise de propriedades mecânicas em compósitos reforçados com fibras naturais para aplicação em pás de turbinas eólicas. Este estudo apresenta uma problemática sobre o valor das fibras sintéticas. Como resultados os autores confirmam a obtenção de um compósito que apresentou boas propriedades de tração e flexão.

Adhikari; Keerthi (2017), publicaram um estudo acerca de um arranjo de fibra de juta, banana e fibra de vidro, a fim de substituir, parcialmente, a fibra de vidro como reforço em compósitos de matriz poliéster. Ao ser ensaiado mecanicamente, foi possível constatar que as propriedades avaliadas apresentaram resultados de melhorias significativas.

A partir da perspectiva das problemáticas ambientais e de custo de aquisição, as fibras sintéticas vêm cedendo um expressivo lugar às fibras naturais nos últimos anos.

A região amazônica, detém uma imensa diversidade de plantas. A utilização perpassa por áreas medicinais, artesanais, cosméticas e utilização em engenharia para desenvolvimento de novos materiais (PINHEIRO *et al.*, 2019).

Inúmeras fibras naturais são estudadas a fim de diminuir os impactos ambientais que seu descarte irregular poderia acarretar ao meio ambiente. A motivação para o uso destes resíduos pode ser justificada a partir de vários argumentos entre os quais podem ser citados: sustentabilidade, custo, peso relativamente baixos, benefícios sociais e boas propriedades mecânicas, entre outros (KOTIK, 2019). Diversos setores têm buscado alternativas no sentido de diminuir os impactos ambientais decorrentes dos processos produtivos industriais, visando a reinserção destas fibras em outros processos de manufatura (KOTIK, 2019).

## 2.5. Fibras naturais lignocelulósicas

As fibras lignocelulósicas são compostas, basicamente, por celulose, hemicelulose e lignina. A tabela 1 apresenta a composição química de algumas fibras naturais, fazendo referência a celulose, hemicelulose e lignina. A tabela 1 apresenta uma relação de algumas fibras bastante estudadas nos últimos anos.

Tabela 1: Composição química de algumas fibras naturais.

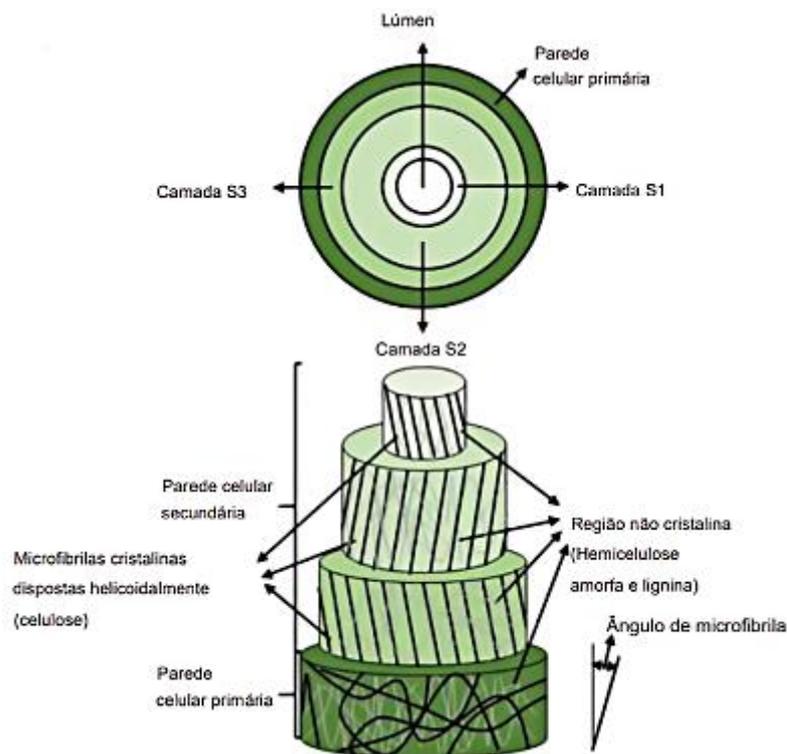
Fibra	Celulose (%)	Hemicelulose (%)	Lignina (%)
Linho	71-87	18,6-20,6	2-2,3
Cânhamo	57-77	14-22,4	3,7
Juta	61-71	14-20	12-13
Kenaf	28-72	20,3-25	8-22,7
Sisal	47-78	10-14,2	7-11
Abacá	56-63	20-25,4	7-9
Henequen	77,6	8-10	13,1
Abacaxi	70,82-81	19-26,1	5-12,7
Tamareira	33,9	-	27,7
Coco	32-47	0,15-20	31-45
Algodão	82,7-92	5,7-6	0

Fonte: Adaptado de KUMAR *et al.*, (2020)

Sabe-se que as fibras lignocelulósicas são classificadas como um compósito natural, composto por microfibrilas rígidas de celulose cristalina, envolta por uma matriz “mole” que é composta por lignina e hemicelulose. As propriedades que as fibras lignocelulósicas apresentam são dependentes de sua composição, ângulo da microfibrila e sua estrutura interna (BALLA *et al.*, 2019).

Embora as fibras lignocelulósicas possuam origem geográfica diferentes, ela tem estruturas semelhantes, estruturas essas compostas por elementos incomuns entre todas, como celulose, hemicelulose, lignina, ceras e pectinas (WANG *et al.*, 2021). A figura 5 apresenta uma estrutura de fibra lignocelulósica.

Figura 5: Ilustração da estrutura de uma fibra natural lignocelulósica



Fonte: WANG *et al.*, (2021)

É possível notar que a fibra é constituída por duas paredes; a parede primária e a parede secundária. Cada constituinte da fibra é responsável por fornecer algumas propriedades às fibras. Na parede primária existem redes de microfibrilas de celulose cristalina desordenadas. A parede secundária é a responsável por fornecer resistência às fibras. Essa parede secundária é composta por três camadas (S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> e S<sub>3</sub>). A camada S<sub>2</sub> é rica em celulose. Nesta parede a orientação do arranjo cristalino é orientado de acordo com a angulação das microfibrilas.

Propriedades de rigidez e resistência estão ligadas ao ângulo das microfibrilas, ou seja, quando menor o ângulo maior será a resistência (DEMÓSTENES *et al.*, 2020).

A hemicelulose é um constituinte que tem caráter hidrofílico. Existe uma região amorfa no interior da fibra onde são encontradas pectinas e ligninas. A pectina junto com a hemicelulose fornece flexibilidade às plantas. Por fim, a lignina que é um polímero hidrocarbonado hidrofóbico, este polímero é responsável pela rigidez das plantas (WANG *et al.*, 2021).

Ao longo de vários anos, estudos vêm sendo desenvolvidos, a fim de entender e conhecer melhor as propriedades das fibras lignocelulósicas. A tabela 2 apresenta dados sobre as fibras mais estudadas nos últimos anos.

Tabela 2: Propriedades mecânicas de algumas fibras naturais lignocelulósicas

Fibra	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Ângulo da microfibrila (graus)	Modulo de Young (GPa)	Tração (MPa)	Alongamento de ruptura (%)	Preço (U\$\$)
Abacá	1,5	20 – 25	10 12	400	3 – 10	0,34
Banana	1,35	10	7 – 20	54-754	10, 35	-
Coco	1,2	30 – 49	4 - 6	106-175	17 – 47	0,25-0,50
Sisal	1,45 – 1,5	10 – 25	9 – 12	568-640	3 – 7	0,6-0,7

Fonte: BALLA *et al.*, (2019); KHALID *et al.*, (2021).

A hipótese para as variações de valores observadas na tabela 2 é de que o local de ocorrência das fibras pode alterar algumas de suas propriedades. Outro fator que pode afetar as propriedades é o manuseio destas fibras no momento da coleta.

Uma característica das fibras naturais lignocelulósicas é que estas podem ser coletadas de diversas partes das plantas e/ou frutos. A exemplo disso, o quadro 3 apresenta uma relação de fibras que foram bastante estudadas nos últimos anos, apresenta também a parte da planta de onde as fibras são retiradas.

Quadro 3: Relação entre planta, parte de onde são retiradas as fibras e o nome científico.

Fibra	Parte da planta	Nome científico
Abacá	Folha	<i>Musa textilis</i>
Abacaxi	Folha	<i>Ananas comoscis</i>
Algodão	Semente	<i>Gossipius mustelinum.</i>

Banana	Folha	<i>Musa sapientum</i>
Coco	Fruta	<i>Cocus nucifera</i>
Juta	Caule	<i>Corchorus capsularis</i>
Sisal	Folha	<i>Agave sisalana</i>
Guarumã	Caule	<i>Ischinosiphon</i>

Fonte: BALLA *et al.*, (2019) KHALID *et al.*, (2021); PINHEIRO *et al.*, (2019).

A escolha do reforço fibroso deverá sempre visar a aplicação final do compósito. Fatores como resistência mecânica, estabilidade térmica, biodegradabilidade, entre outros irão ser determinantes nas propriedades finais conferidas ao compósito.

## 2.6. Tecido fibroso de tururi (*Manicaria saccifera*)

A palmeira do Ubuçu apresenta um caule cespitoso com tamanho que pode variar de 1 – 15 m de altura e um diâmetro que fica entre 15 – 20 cm (FLORA BRASIL, 2023). A ocorrência desta palmeira, em território nacional, é na região norte do país, mais precisamente nos estados do Amapá, Amazonas e Pará (FLORA BRASIL, 2023). O fruto produzido por essa palmeira é conhecido como ubuçu ou buçu, dependendo da região. Esse fruto apresenta um tamanho que varia entre 4 – 6 cm, e é envolto por um tecido fibroso, que é chamado de tecido fibroso de tururi, este protege o fruto até o momento que este é colhido (FLORA BRASIL, 2023). A figura 6 apresenta a palmeira do Ubuçu e seu invólucro fibroso.

Figura 6: Palmeira de Ubuçu e seu invólucro.



Fonte: <https://indexindetalhe.files.wordpress.com/2011/06/uburu.jpg?w=225&h=300>.

A figura 7 apresenta o invólucro do tecido de tururi, destacado em amarelo e suas respectivas partes como fruto e outros.

Figura 7: Invólucro do fruto da palmeira do Ubuçu



Fonte: <http://fuchicbrasil.blogspot.com/2014/02/tururi-um-tecido-natural.html>

O tecido de Tururi (*Manicaria saccifera*) é uma estrutura fibrosa naturalmente integrada em forma de saco, que protege os frutos da palmeira Ubuçu amazônica (SEYAM *et al.*, 2017). Após a coleta dos frutos, esse invólucro é descartado, pois, diretamente, o tecido fibroso não detém um elevado valor agregado. Contudo, o invólucro é utilizado por moradores locais para confecção de artesanato, cestos, bolsas, e, devido sua impermeabilidade este, também, é utilizado como recobrimento de casas rudimentares (MONTEIRO *et al.*, 2021). A figura 8 apresenta um exemplo possibilidades de aplicação do tecido de tururi para fabricação de artesanato.

Figura 8: Artesanato feito com tecido de tururi



Fonte: <http://fuchicbrasil.blogspot.com/2014/02/tururi-um-tecido-natural.html>.

Os trabalhos acerca do tecido de tururi publicados pelos autores: Oliveira; D’Almeida (2014); Porras *et al.*, (2015) e Oliveira *et al.*, (2020), apresentam alguns dados sobre caracterização morfológica e microestrutural do tecido de tururi. Os autores apresentam, também, dados sobre análise térmica realizada neste tecido fibroso. A caracterização morfológica (MEV) revela o tecido de tururi como um material fibroso com uma série de bifurcações nas fibras que compõem o tecido. A espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier apresenta bandas características dos principais constituintes das fibras naturais massivamente estudadas nos últimos anos, sendo eles: celulose, hemicelulose e lignina. As bandas de estiramento apresentadas pelos autores fazem referência aos grupos funcionais dos respectivos constituintes. A análise térmica apresenta um padrão de comportamento similar aos de outras fibras naturais já estudadas. As perdas relatadas são referentes à perda de umidade e degradação dos constituintes da fibra e o início da degradação da fibra, em temperaturas próximas de 240 a 330 °C, respectivamente. Os resultados publicados neste estudo possibilitam uma melhor compreensão do tecido de tururi. Entretanto, ainda existe um vasto campo de investigação no que tange a utilização da fibra de tururi para aplicações tecnológicas.

## **2.7. Compósitos reforçados com fibras naturais lignocelulósicas**

As fibras naturais têm sido, amplamente, utilizadas para confecção de compósitos nas últimas décadas. As aplicações são as mais variadas possíveis, perpassando por áreas automobilística, naval, balística, medicinais e até áreas de engenharia que exigem um elevado nível tecnológico como a aeroespacial (RIBEIRO *et al.*, 2021).

O grande interesse no estudo das fibras naturais está relacionado a algumas propriedades característica das fibras como: baixa densidade, biodegradabilidade, facilidade de obtenção e baixo valor agregado (NAYAK *et al.*, 2022). Outras características que estão por trás deste elevado interesse estão relacionadas com a resistência que algumas fibras naturais apresentam, que chega a superar até a resistência à tração do aço (PINHEIRO *et al.*, 2019).

Os compósitos reforçados com fibras naturais podem ter as mais diversas aplicações, sempre visando aspectos como baixo custo, elevada resistência e sustentabilidade. A exemplo desta afirmativa Ribeiro *et al.*, (2021), apresenta um estudo onde o objetivo foi verificar a interação de um compósito de matriz epóxi com um reforço de tecido de cânhamo para avaliar o potencial uso em aplicações de proteção balística. Neste estudo os autores observaram melhorias nos compósitos com maior percentual de reforço fibroso.

Egala *et al.*, (2021), apresenta um estudo sobre um compósito de matriz epóxi reforçado com fibra de mamona. Neste estudo o objeto de investigação foi a orientação e tamanho das

fibras utilizadas. Os resultados apresentados revelam que os compósitos que apresentaram o melhor desempenho foram obtidos com fibras curtas de até 5 mm, dentro das condições de realização deste estudo.

No estudo de Sethuraman *et al.*, (2020) foram investigadas as propriedades mecânicas, térmicas e dinâmicas de compósitos de matriz poliéster reforçados com fibra de *Coccina indica*, os autores constataram melhorias nas propriedades que foram investigadas.

Em seu estudo, Sarikaya *et al.*, (2019), teve como objetivo fabricar um compósito de matriz epóxi reforçado com diferentes fibras como reforços. As fibras de bétula, palma e eucalipto apresentaram comportamentos diferentes quando incorporadas aos compósitos. Em ensaios de resistência a impacto, os compósitos reforçados com bétula apresentaram menor desempenho, suportando 0,105J, enquanto os compósitos de eucalipto e palma suportaram apresentaram resistências de 0,124 e 0,130 J, respectivamente. Os autores ressaltam que a incorporação de reforços naturais se mostrou eficaz.

## **2.8. Compósitos reforçados com tecido fibroso de tururi**

Os compósitos reforçados com fibras naturais já apresentaram um elevado potencial para uso nas mais diversas áreas de aplicação. A disposição do reforço fibroso tende a influenciar nas propriedades que os compósitos irão apresentar.

No que tange a utilização do tururi como reforço fibroso o mesmo, em geral, é utilizado na forma de tecido. Tal fato se justifica pelo alto grau de entrelaçamento do tecido, o que dificulta a sua utilização em forma de fibra individual. O estudo apresentado por Seyam *et al.*, (2017), teve por objetivo produzir compósitos reforçados com tecido de tururi com diferentes orientações do reforço fibroso. Os resultados verificados pelos autores apontam que o compósito resultante foi satisfatório para ser utilizado como pisos, elementos de construção e móveis.

Em seu estudo, Oliveira *et al.*, (2020), apresenta resultados de um bio-compósito de matriz a base de polibenzoxazina reforçado com tecido fibroso de tururi. O compósito produzido pelos autores apresentou propriedades térmicas e mecânicas satisfatórias.

Em Porras *et al.*, (2016), o estudo realizado apresenta um compósito reforçado com o tecido fibroso, a fim de avaliar as propriedades térmicas e mecânicas. Bons resultados foram constatados em propriedades térmicas e mecânicas, assim como na resistência à tração e absorção de impacto. Em tese, a melhoria na absorção de impacto está relacionada ao alto grau de entrelaçamento das fibras de tururi.

Os estudos apresentados reiteram a importância dos materiais compósitos na sociedade. Essa importância se deve ao impacto revolucionário que os materiais compósitos proporcionaram a setor como a indústria automobilística, construção civil, área biomédica e até área da defesa nacional com estudos voltados à proteção pessoal balística. Contudo, a problemática que norteia a fabricação de materiais compósitos que respondam de forma satisfatória às áreas de aplicação. No que tange a problemática dos reforços para compósitos podem ser citadas duas principais, o alto valor agregado que determinados reforços têm, e a problemática ambiental que estes podem causar. Em vista disso, estudos visam caracterizar e estudar diversos tipos de reforços alternativos, dentre eles as fibras naturais lignocelulósicas.

O tecido fibroso de tururi, pertencente a classe das fibras lignocelulósicas, é um resíduo que pode ser utilizado como reforço para compósitos de matrizes poliméricas, possibilitando assim uma opção de destinação deste resíduo, e fornecendo à comunidade científica dados técnicos-científicos acerca desta combinação de matriz polimérica e reforço fibroso. Diante do apresentado o presente trabalho sustenta sua contribuição à comunidade acadêmica no conhecimento das características e propriedades do compósito de matriz polimérica reforçado com um tecido lignocelulósico de trama natural.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. Materiais

As matérias-primas utilizadas neste trabalho foram: Resina poliéster ortoftálica da marca (CENTER-POL) adquirida na empresa Center Glass, na cidade de Belém do Pará. O agente de cura utilizado foi o metil-etil-cetona (MEK) também adquirido na empresa Center Glass. O agente de cura foi utilizado na proporção de 1,5% em peso. A figura 9 apresenta a resina utilizada para confecção dos compósitos, e o agente de cura.

Figura 9: Resina utilizada para confecção dos compósitos e o agente catalisador.



Fonte: Próprio autor, (2023)

O tecido fibroso de tururi foi adquirido no mercado do Ver-o-Peso, na cidade de Belém. A matéria-prima foi adquirida *in natura*, sem nenhum tratamento prévio. A figura 10 apresenta como o reforço foi adquirido.

Figura 10: Tecido de tururi *in natura*



Fonte: Próprio autor, (2023)

### 3.2. Metodologia

O invólucro foi lavado com água e sabão neutro por 30 minutos. O tempo foi suficiente para remover impurezas oriundas do transporte e armazenamento do tecido, como lama e areia. A figura 11 apresenta o tecido de tururi após a etapa de lavagem.

Figura 11: Tecido de tururi após a etapa de lavagem



Fonte: Próprio autor, (2023)

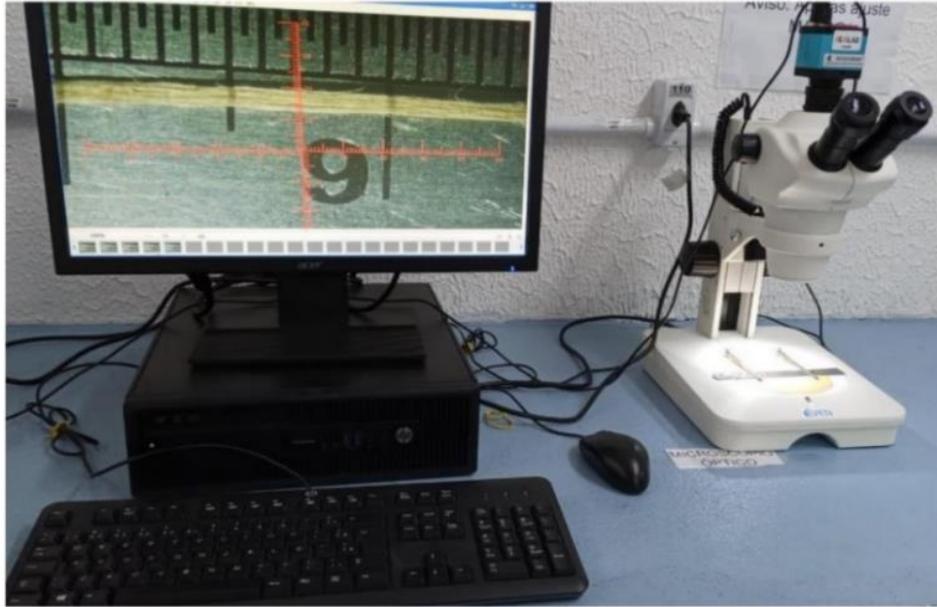
Em seguida, procedeu-se a etapa de secagem do tecido em estufa à 80 °C por 2h. Decorrido o tempo de secagem, o tecido foi cortado transversalmente, e encaminhado para as análises de microscopia óptica, microscopia eletrônica de varredura, determinação da massa específica e determinação do teor de umidade.

### 3.3. Métodos de caracterização

#### 3.3.1. Microscopia óptica

O tecido foi caracterizado no Laboratório de Caracterização de Materiais do Campus Universitário de Ananindeua (UFPA). A análise foi realizada em dois sentidos, transversal e longitudinal. A microscopia foi realizada utilizando o microscópio da marca EVEN com o auxílio do software Future Winjoe<sup>®</sup>. A figura 12 apresenta o aparato utilizado.

Figura 12: Microscópio óptico utilizado para caracterização do tecido



Fonte: Próprio Autor, (2023)

### 3.3.2. Microscopia eletrônica de varredura

A microscopia foi realizada no Laboratório de Institucional de Microscopia Eletrônica de Varredura do Museu Paraense Emílio Goeldi, utilizando um microscópio eletrônico TESCAN, modelo Mira3, com canhão de elétrons tipo FEG (*field emission gun*). As amostras de tecido foram metalizadas com Au por 2 minutos, o que forma um revestimento sobre a amostra com espessura média de 10 a 15 nm. As imagens foram geradas por detecção de elétrons secundários, utilizando aceleração de voltagem de 5kV e distância de trabalho variando entre 25 e 10 mm.

### 3.3.3. Difração de raios-x

As fases cristalinas qualitativas foram obtidas por meio da técnica de difração de raios-x (DRX) em equipamento Proto Manufacturing, XRD Powder Diffraction System: gerador de 30 kV e 2 mA, radiação Cu-K $\alpha$ 1, passo angular de 0,0149°, intervalo de tempo de 0,5s, varredura de 47 min e 2 $\theta$  variando de 5° a 60°. As fases cristalinas no material foram identificadas com o auxílio do software X'pert HighScore Plus<sup>®</sup>. A determinação do índice de cristalinidade foi calculado através da equação 1.

$$PC (\%) = \frac{S_c}{S_c + S_a} \times 100 \quad \text{Eq. 1}$$

Onde:

*PC*: Percentual de cristalinidade;

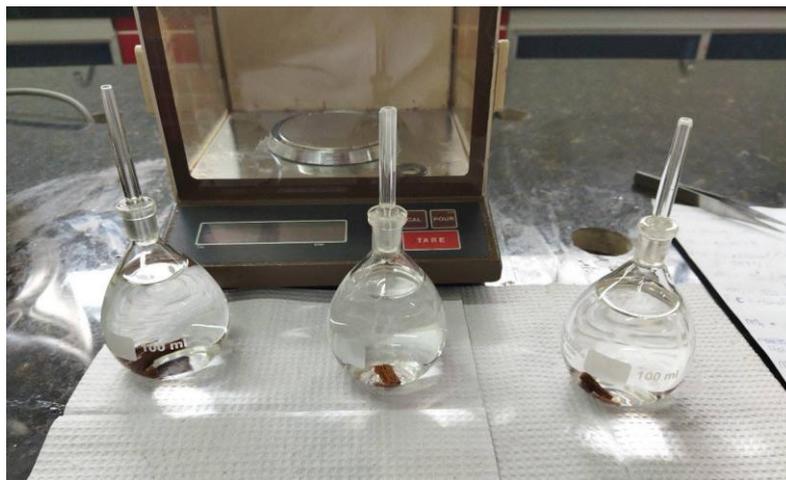
*Sc*: Intensidade associada à celulose cristalina (difração máxima);

*Sa*: Intensidade associada a fase amorfa da celulose.

#### 3.3.4. Determinação da massa específica

A determinação da massa específica foi realizada no Laboratório de Caracterização de Materiais (LABCMAT). O procedimento foi realizado utilizando a norma ASTM D792 e picnometria com etanol, a análise foi realizada em triplicata, com a finalidade de aumentar a precisão do resultado obtido. A massa específica do tecido foi determinada com o auxílio de balança analítica modelo CHYO modelo JK 200. A figura 13 apresenta o aparato utilizado.

Figura 13: Aparato utilizado para determinar a massa específica



Fonte: Próprio autor, (2023)

#### 3.3.5. Análise termogravimétrica

A caracterização térmica do tecido foi realizada através da análise termogravimétrica (ATG), no Laboratório de Física do *Campus* da Universidade Federal do Pará (UFPA). O tecido de tururi foi macerado com auxílio de almofariz e pistilo de porcelana com a finalidade adequar o material às condições de análise. Posteriormente, foi realizado um tratamento químico em 2 gramas de fibras de tururi, utilizando Hidróxido de Sódio ( $NaOH$ ) a 2%, diluído em água destilada na proporção de 1 molar por 2 horas. Após o tratamento o produto obtido foi lavado com água destilada, em seguida foi filtrado. Após a filtragem foi imerso em água destilada por 12 horas, por fim foi encaminhado à estufa a 100 °C por 24 horas. O processo de mercerização

do tecido foi realizado para remover ceras e óleos presentes no mesmo. O procedimento é solicitação padrão do laboratório que realizou a análise. A ATG foi realizada em analisador da marca NETZSCH modelo STA 449F3, com aquecimento de 25 °C até 500 °C, e taxa de 10 °C/min, em atmosfera de nitrogênio.

### 3.3.6. Espectroscopia vibracional no infravermelho (*FTIR*)

A espectroscopia vibracional no infravermelho (*FTIR*) foi realizada no Laboratório de Espectroscopia Vibracional e Altas Pressões da UFPA (LEVAP/ UFPA). O *FTIR* foi realizado a fim de verificar as bandas vibracionais do tecido e comparar com as bandas das demais fibras presentes na literatura. O *FTIR* foi realizado utilizando equipamento BRUKER, modelo VERTEX 70V. O espectro foi obtido por reflectância total atenuada (ATR), na região espectral de 4000 - 400  $\text{cm}^{-1}$ , a 100 scans e resolução de 8  $\text{cm}^{-1}$ .

### 3.3.7. Determinação do teor de umidade

A determinação do teor de umidade foi realizada em observância à ASTM D1348. O procedimento consistiu em aferir a massa das amostras saturadas em água e encaminhá-las à estufa por 1h em temperatura de 105 °C. As amostras tiveram sua massa aferidas em balança analítica em intervalos de 5 minutos e depois o intervalo foi aumentado para 10 minutos. Nesta etapa foi utilizado o aparelho dessecador com sílica para que o tecido não reabsorvesse a umidade do ambiente. A massa das amostras foi aferida até que fosse verificada inalterabilidade das massas do tecido. Foram preparadas 3 amostras com dimensões de 20x20 mm. A partir do momento de obtenção de massa constante análise foi encerrada e os resultados foram tratados com o auxílio dos softwares Excel<sup>®</sup> e OriginPro<sup>®</sup>.

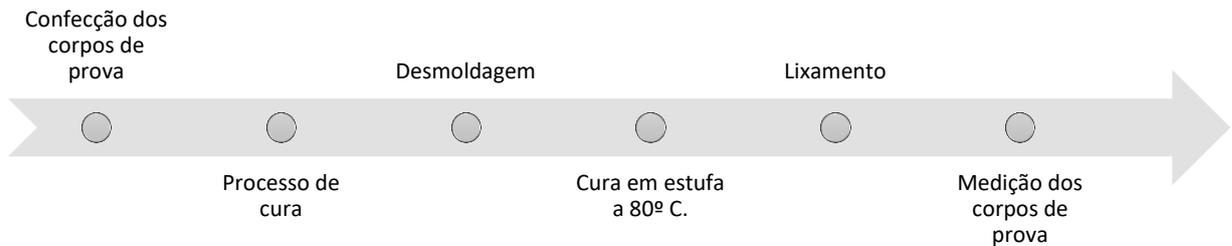
### 3.3.8. Determinação da gramatura do tecido de tururi

A análise de gramatura foi realizada no Laboratório de Caracterização de Materiais (UFPA). A gramatura foi determinada em observância à ASTM D3776. Foram cortadas 20 amostras com dimensões de 50x50 mm. As amostras foram lavadas e secas em estufa a 80 °C por 2h. Após a secagem todas as amostras foram levadas ao dessecador para que não absorvessem umidade do ambiente. Posteriormente, com o auxílio de balança analítica modelo CHYO modelo JK 200 as amostras tiveram sua massa final verificadas. Após todas as amostras terem sua massa verificada foi realizado o tratamento estatístico para determinar o valor final da gramatura do tecido fibroso de tururi.

### 3.4. Confeção dos corpos de prova

A figura 14 apresenta o fluxograma que detalha as etapas de confecção dos compósitos utilizados.

Figura 14: Fluxograma das etapas de confecção dos compósitos

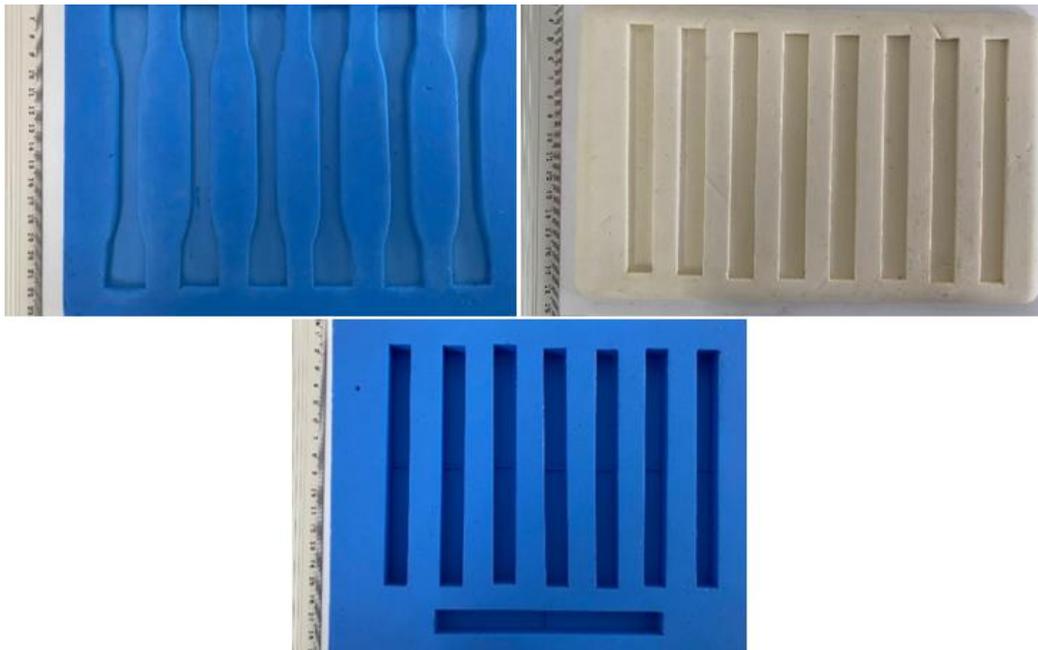


Fonte: Próprio autor, (2023)

Os compósitos foram produzidos utilizando o método *hand lay-up* e os materiais precursores foram resina poliéster e tecido fibroso de tururi. Os compósitos foram produzidos utilizando fração mássica variando entre 2,5% a 7,5% em peso de reforço.

Os moldes utilizados para confecção dos corpos de prova foram moldes de silicone. A figura 15 apresenta os moldes de tração, flexão e impacto utilizados neste trabalho, respectivamente.

Figura 15: Moldes utilizados para confecção dos corpos de prova.



Fonte: Próprio autor, (2023)

Foram produzidos 8 corpos de prova para cada composição. A tabela 3 apresenta as formulações dos corpos de prova produzidos.

Tabela 3: Formulação para confecção dos corpos de prova.

Compósito	Composição	
	Resina (%)	Tecido fibroso (%)
<b>P0T</b>	100	0
<b>P2,5T</b>	97,5	2,5
<b>P5,0T</b>	95	5,0
<b>P7,5T</b>	92,5	7,5

Abreviação: P0T: poliéster com 0% de reforço fibroso; P2.5T: poliéster com 2.5% de reforço fibroso; P5.0T: poliéster com 5.0% de reforço fibroso; P7.5T: poliéster com 7.5% de reforço fibroso.

Fonte: Próprio autor (2023)

Para a fabricação dos compósitos, inicialmente pesou-se a resina, em seguida o catalisador, na proporção exata de 1,5% em peso. Seguidamente, ambas as matérias-primas foram misturadas. Antes de atingir o “ponto de gel”, ponto em que se inicia a polimerização da mistura, procedeu-se a etapa de impregnação dos tecidos. Essa impregnação foi realizada com o auxílio de um pincel. Por se tratar de um tecido, o reforço foi impregnado para facilitar sua molhabilidade quando inserido na matriz. Os corpos de prova fabricados passaram por duas etapas de cura. A primeira consistiu em cura à temperatura ambiente por 24h. A segunda etapa de cura foi realizada em estufa por 1h à temperatura de 70 °C para proceder o completo processo de cura dos corpos de prova. A figura 16 apresenta a estufa utilizada a segunda etapa do processo de cura dos compósitos.

Figura 16: Estufa utilizada para o processo de cura



Fonte: Próprio autor, (2023)

### 3.5. Caracterização mecânica dos corpos de prova

#### 3.5.1. Ensaio de resistência à tração

A caracterização mecânica de resistência à tração foi realizada no Laboratório de Caracterização de Materiais (LABCMAT), da Universidade Federal do Pará. A máquina universal utilizada para a realização desse ensaio foi a INTERMETRIC eletromecânica iM50, com célula de carga de 5kN, a uma taxa de carregamento com velocidade de 5 mm/min. A figura 17 apresenta a máquina utilizada para realização deste ensaio.

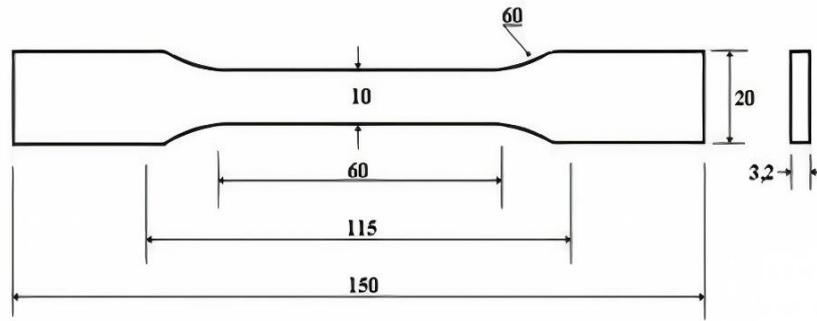
Figura 17: Máquina universal utilizada para realização do ensaio de tração



Fonte: Próprio autor, (2023)

Os corpos de prova foram produzidos em observância à norma ASTM D638. A figura 18 apresenta o modelo do corpo de prova e as respectivas dimensões exigidas pela norma.

Figura 18: Dimensões em (mm) do corpo de prova para ensaio de tração.



Fonte: ASTM D638, 2018.

A propriedades de tensão máxima de cada corpo de prova foi obtida a partir da equação 3.

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \text{Eq. (2)}$$

Onde:

$\sigma$  – Força máxima

$F$  – Força aplicada;

$A$  – Área da seção retangular do corpo de prova.

O ensaio de resistência à tração, também, permite a obtenção de informações acerca de valores do módulo de elasticidade (módulo de Young). Essa propriedade foi ser calculada de acordo com a equação 4.

O módulo de elasticidade foi obtido a partir da porção linear do gráfico gerado a partir do ensaio de cada corpo de prova e depois foi empregada a equação 4:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad \text{Eq. (3)}$$

Onde:

$E$  – Módulo de elasticidade;

$\sigma$  – tensão máxima;

$\varepsilon$  - Deformação.

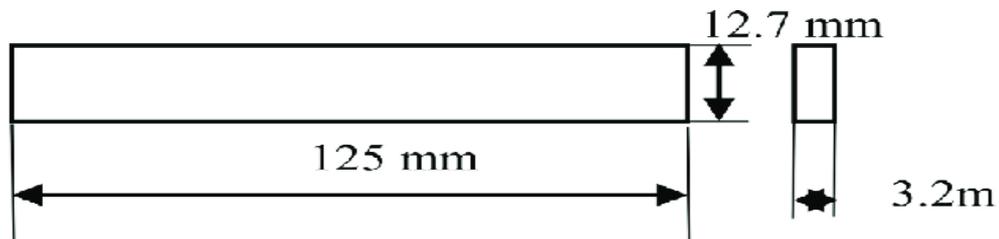
### 3.5.2. Ensaio de resistência à flexão

A caracterização mecânica de resistência à flexão foi realizada no Laboratório de eco-compósitos, da faculdade de engenharia mecânica, Universidade Federal do Pará (UFPA). A

máquina utilizada para a realização desse ensaio foi máquina universal eletromecânica EMIC modelo (DL500), com célula de carga de 5KN, e taxa de carregamento com velocidade de 2 mm/min.

Os corpos de prova utilizados para esse ensaio foram fabricados em molde de silicone. A resina foi vertida em molde com os tecidos já impregnados. Esses corpos de prova foram fabricados em observância à norma ASTM D790. A figura 19 apresenta as dimensões requeridas pela norma.

Figura 19: Dimensões do corpo de prova para ensaio de flexão.



Fonte: ASTM D790

A caracterização de resistência à flexão possibilita a determinação de algumas propriedades mecânicas, podem ser citadas a tensão máxima de flexão ( $\delta m$ ) e o módulo de flexão (E), ambas as propriedades foram determinadas neste trabalho.

A determinação da tensão máxima de flexão ( $\delta m$ ) dos compósitos foi determinada de acordo com a equação 5, e o módulo de flexão ( $\epsilon f$ ) foi determinado a partir da equação 6.

$$\delta m = \frac{3LQm}{2bd^2} \quad \text{Eq. (4)}$$

$$\epsilon f = \frac{6.Dd}{L^2} \quad \text{Eq. (5)}$$

Onde:

$Qm$  – Carga máxima;

$L$  – Distância entre suportes;

$b$  – Largura;

$d$  – Espessura;

$\Delta y$  – Deflexão.

A figura 20 apresenta o aparato utilizado para determinar as propriedades de resistência à flexão.

Figura 20: Máquina universal utilizada para realização do ensaio de flexão

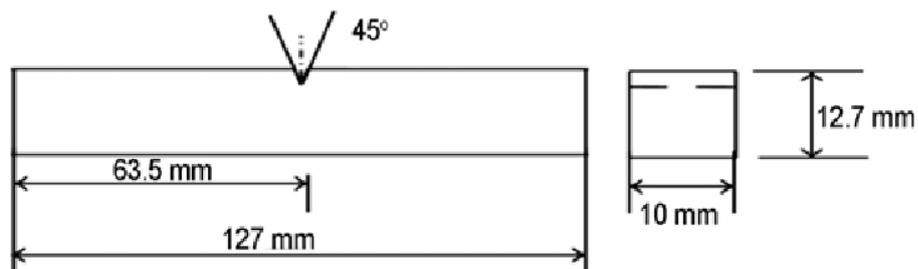


Fonte: Próprio autor, (2023)

### 3.5.3. Ensaio de resistência a impacto charpy

A determinação de resistência de impacto Charpy foram realizadas no Laboratório de Caracterização de Materiais Avançados (LAMAV) da Universidade Estadual Norte Fluminense (UENF). Foi utilizado o equipamento de pêndulo instrumentado da PANTEC, modelo XC-50, 1x 200V x 60 Hz. Os corpos de prova utilizados nesta análise foram confeccionados seguindo os padrões estabelecidos pela norma ASTM D6110-18. A figura 21 apresenta o modelo exigido pela norma que rege o ensaio de impacto Charpy.

Figura 21: Dimensões do corpo de prova para ensaio de impacto Charpy.



Fonte: ASTM D6110-18, 2018

A figura 22 apresenta o aparato utilizado para realização do ensaio de impacto Charpy.

Figura 22: Máquina utilizada no ensaio de impacto Charpy.



Fonte: Próprio autor (2023)

### 3.6. Tratamento estatístico

Os resultados obtidos a partir das caracterizações mecânicas realizadas nos compósitos foram avaliadas por análise de variância (ANOVA). Foi adotado o teste F com nível de significância de 5% para todos os testes. A ANOVA foi adotada a fim de detectar a existência de diferenças significativas nas médias dos resultados oriundos das análises de propriedades mecânicas. A diferença nas médias ocorre por conta da variação no percentual de reforço fibroso (tururi) incorporado na matriz. A tabela 4 apresenta os parâmetros estatísticos para realização do tratamento.

Tabela 4: Parâmetros utilizados para análise de variância (ANOVA)

Fonte de variação	SQ	GL	MQ	F	F Crítico
Tratamento	SQTr	k-1	QMT	QMT/QMR	Tabela F
Resíduo	SQR	k(R-1)	QMT		5% de significância
Total	SQT	n-1			

Fonte: Próprio autor, (2023)

Onde:

**SQ** – Soma dos quadrados;

**GL** – Número de graus de liberdade;

**MQ** – Quadrado médio;

**F** – Estatística F;

**SQTr** – Soma dos quadrados dos tratamentos;

**SQR** – Soma dos quadrados do resíduo

**SQT** – Soma dos quadrados total;

**k** – Número de tratamentos (percentual de reforço fibroso utilizado);

**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.

Os valores das somas dos quadrados (**SQTr**, **SQT** e **SQR**) e os quadrados médios (**QMT** e **QMR**) podem ser obtidos a partir das equações 7, 8, 9 10 e 11, respectivamente.

$$SQTr = \frac{\sum T^2}{r} - \frac{\sum y^2}{n} \quad \text{Eq. (6)}$$

$$SQT = \sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n} \quad \text{Eq. (7)}$$

$$SQR = SQT - SQTr \quad \text{Eq. (8)}$$

$$QMT = \frac{SQTr}{k-1} \quad \text{Eq. (9)}$$

$$QMR = \frac{SQT_r}{r(K-1)} \quad \text{Eq. (10)}$$

*Onde:*

*T* – Valor obtido para cada tratamento;

*y* – Valor obtido da propriedade.

Quando o valor do F calculado for superior ao F crítico (resultados obtidos a partir da análise de variância), é possível afirmar que há igualdade entre as médias obtidas em cada tratamento. Em casos de ocorrência de desigualdade, é necessária a utilização de um novo método de análise que é o teste TUKEY. Este teste irá determinar com precisão onde está localizada a diferença. O teste TUKEY foi realizado com o intuito de verificar quais tratamento (percentual de reforço fibroso) apresentaram as diferenças significativas. Essa verificação ocorre de maneira a comparar pares de tratamentos utilizando um parâmetro mínimo de verificação que é chamado de diferença mínima significativa (d.m.s). O d.m.s pode ser obtido a partir da equação 10.

$$dms = q \cdot \sqrt{\frac{QMR}{r}} \quad \text{Eq. (11)}$$

*Onde:*

*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.

Assim, foi possível entender o comportamento dos compósitos de acordo com o percentual de reforço inserido em cada classe. O teste possibilitou identificar com exatidão onde as diferenças ocorreram.

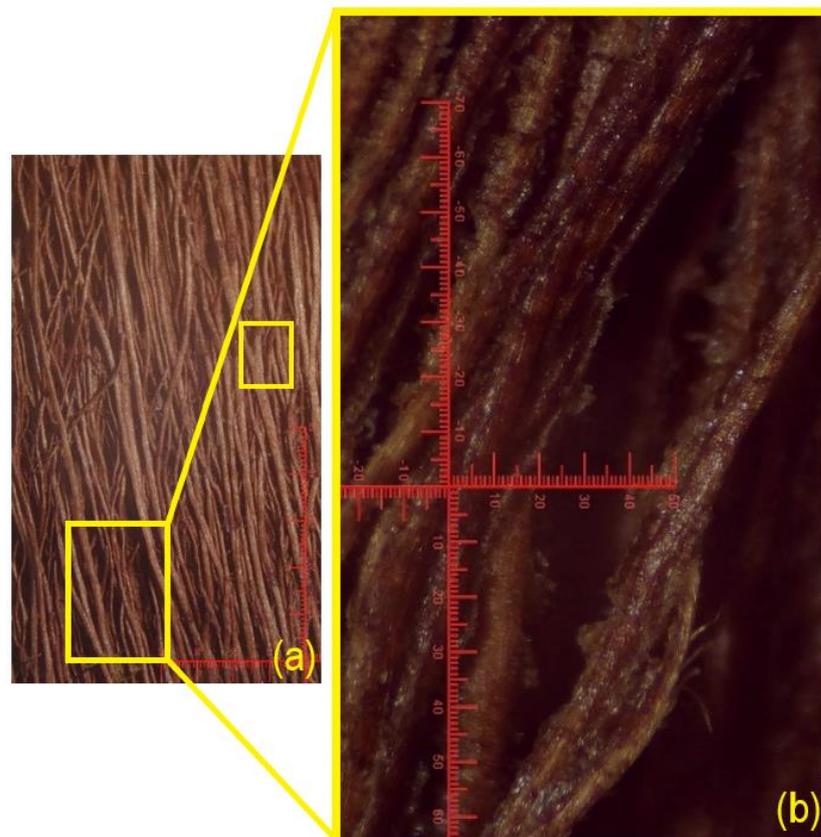
## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. Caracterização do tecido de tururi

#### 4.1.1. Microscopia óptica

A figura 23 apresenta as microscopias ópticas do tecido de tururi obtidas em seção transversal.

Figura 23: Microscopia óptica do tecido na seção longitudinal. Em (a) micrografia obtida com aumento de 3x e em (b) aumento de 10x.



Fonte: Próprio autor, (2023)

Em (a) nota-se que o tecido apresenta um elevado grau de entrelaçamento das fibras que o formam. Neste aumento são observados alguns detalhes na superfície do tecido fibroso, como bifurcações ao longo do tecido, uma variação faixa de distribuição no diâmetro das fibras que compõem o tecido, pois é possível observar fibras mais finas e fibras mais grossas. Nota-se, também, a presença de alguns espaços vazios no tecido fibroso.

No trabalho apresentado por Yen *et al.*, (2019) os autores apontam algumas características da fibra de coco que foram similares ao observar o tecido de tururi como:

presença de bifurcação e a variações significativas no diâmetro das fibras. Tais características morfológicas podem afetar diretamente o desempenho mecânico da fibra, assim como dos compósitos reforçados com as mesmas (WANG *et al.*, 2021).

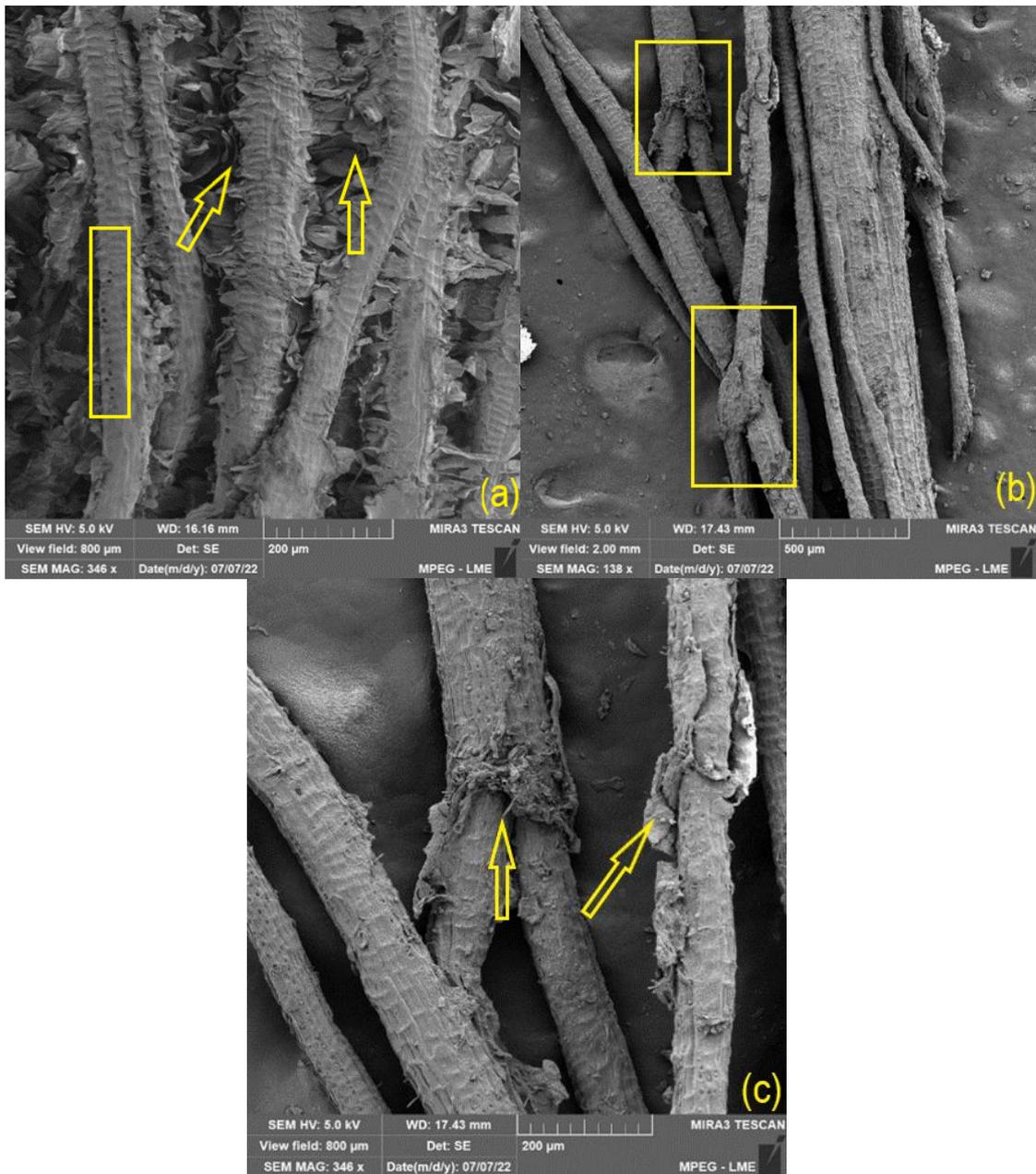
Em (b) é possível observar com mais detalhes a presença de rugosidade ao longo do tecido e a presença de algumas formações na superfície das fibras que compõem o tecido. As estruturas observadas no corpo fibroso podem estar relacionadas à presença de matéria orgânica, ceras ou graxas na superfície das fibras. A presença de matérias orgânicas na superfície das fibras é uma característica já esperada, principalmente quando não é realizado nenhum tratamento na superfície da mesma. Resultados semelhantes foram observados por Porras *et al.*, (2015).

No que tange a fabricação de compósitos utilizando o tururi como reforço a presença de rugosidade é uma característica benéfica, tendo em vista que a rugosidade pode auxiliar na adesão entre a matriz e o reforço. A presença dos espaços vazios no corpo do tecido, observada na micrografia óptica, foi o que induziu a necessidade de realizar a impregnação prévia do tecido antes de inseri-lo no molde contendo resina poliéster. Tendo em vista que estes espaços vazios poderiam agir como concentradores de tensão, comprometendo assim o desempenho mecânico dos compósitos.

#### 4.1.2. Microscopia eletrônica de varredura

A figura 24 apresenta uma sequência de micrografias do tecido fibroso de tururi com diferentes aumentos.

Figura 24: Micrografia eletrônica de varredura do tecido de tururi com diferentes aumentos. Em (a) micrografia com aumento de 364x, em (b) micrografia com aumento de 138x e em (c) micrografia com aumento de 346x.



Fonte: Próprio autor, (2023)

As micrografias apresentadas na figura 24 são de diferentes partes do mesmo tecido. Em (a), micrografia de uma região mais compacta do tecido. As setas apontam regiões onde é possível observar uma menor presença de espaços vazios. As setas apontam a presença de estruturas que podem estar ligadas à presença de matéria orgânica na superfície das fibras que compõem o tecido. Resultados similares foram encontrados por Porras *et al.*, (2015). Tal resultado sugere a hipótese da necessidade de um tratamento químico na superfície do tecido,

a fim remover a matéria orgânica, tendo em vista que existe a possibilidade de que esta prejudique o fenômeno de adesão entre matriz e reforço.

Em (b) as regiões demarcadas apontam aspectos como; o entrelaçamento das fibras e sítios de bifurcação de fibrilar, ambas destacadas nas micrografias. Nota-se a ocorrência de intertravamento na fibra, este intertravamento na fibra, quando incorporada à resina, pode ocasionar o chamado intertravamento mecânico, este intertravamento é benéfico para o compósito.

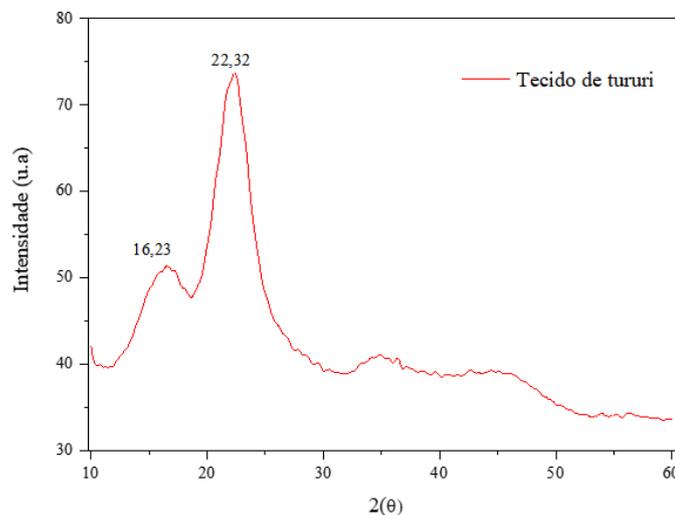
Em (c) pode ser observada a superfície das fibras em caráter individual, as setas indicam as áreas exatas de bifurcação das fibras. Outra característica morfológica é a presença de estruturas superficiais tipo escamadas na superfície das fibras. Estas podem ser compostos orgânicos como ceras e graxas, compostos estes que são característicos de fibras lignocelulósicas (OLIVEIRA *et al.*, 2020). É observada, também, a presença de rugosidade na superfície das fibras que compõem o tecido. A rugosidade é uma característica que confere às fibras naturais determinadas propriedades como: aumento da resistência à carga e melhor a adesão entre as superfícies de matriz e reforço (SELVAN *et al.*, 2022).

Características presentes na superfície do tecido de tururi como: bifurcação das fibras e o entrelaçamento do tecido são indícios de que este pode atuar como bom reforço, pois as bifurcações e o entrelaçamento podem auxiliar na distribuição das cargas recebidas pela matriz no interior do compósito.

#### 4.1.3. Difração de raios-x

A figura 25 apresenta o difratograma do tecido de tururi *in natura*.

Figura 25: Difratograma de raios-x do tecido de tururi.



Fonte: Próprio autor, (2023)

O padrão de raios-x do tecido de tururi apresentou picos que são típicos de materiais naturais que têm celulose em sua estrutura, em especial as fibras lignocelulósicas.

É possível observar a presença de dois picos com intensidades diferente. O pico em  $16,23 \Theta$  (101) está atrelado a presença de material amorfo (lignina, hemicelulose, pectina e a fase amorfa da celulose). O segundo pico em  $22,32 \Theta$  (002) é característico da fase cristalina da celulose. Os valores dos picos apresentados no difratograma estão em concordância em com os resultados encontrados por Demóstenes *et al.*, (2020) e Anish *et al.*, (2019).

O índice de cristalinidade calculado para a tecido de tururi foi de **57,45%**. Mesmo *in natura*, o tecido apresenta um elevado índice de cristalinidade, este índice se equipara com o índice de algumas fibras naturais (DALMIS *et al.*, 2020).

A fibra de *Cortadeira selloana* apresentou seu índice de cristalinidade em torno de 22% (ANISH *et al.*, 2020). A fibra de *Calamus manan* apresentou índice em torno de 48,28% (DING *et al.*, 2022). No estudo de Tavares *et al.*, 2020, o valor apresentado para o índice de cristalinidade da fibra de açaí foi estimado em 31,1%. Já a fibra de *Funcraea fortida* apresentou um índice de cristalinidade em torno de 52,1% (MANIMARAN *et al.*, 2018).

O elevado índice de cristalinidade apresentado pelo tecido de tururi está associado à elevada presença de material celulósico cristalino em sua estrutura.

#### 4.1.4. Massa específica

O resultado obtido para a massa específica do tecido fibroso de tururi foi de  $1,17 \text{ g/cm}^3$  ( $\pm 0,03$ ). O valor obtido se assemelha bastante aos obtidos por outras fibras naturais como a da raiz de pinheiro parafuso perfumado com valor igual a  $1,38 \text{ g/cm}^3$  (SELVAN *et al.*, 2022), *Trachelospermum jasminoides* com valor igual a  $1,39 \text{ g/cm}^3$  (GEDIK, 2021) e maça-elefante (*Limonia acidissima*) com valor igual a  $1,19 \text{ g/cm}^3$  (SETTY *et al.*, 2020). Os valores se apresentam bem próximos, mesmo quando comparando fibras individuais e o tecido de tururi. Em contrapartida, Mannai *et al.*, (2020) ao estudar a rede fibrosa natural de *Opuntia (Cactaceae)* aponta resultados relativamente alto quando comparados ao tecido de tururi, os resultados ficaram em torno de  $4,8 - 5 \text{ g/cm}^3$ . O estudo acima corrobora com a possibilidade de o tecido de tururi atuar como bom agente de reforço.

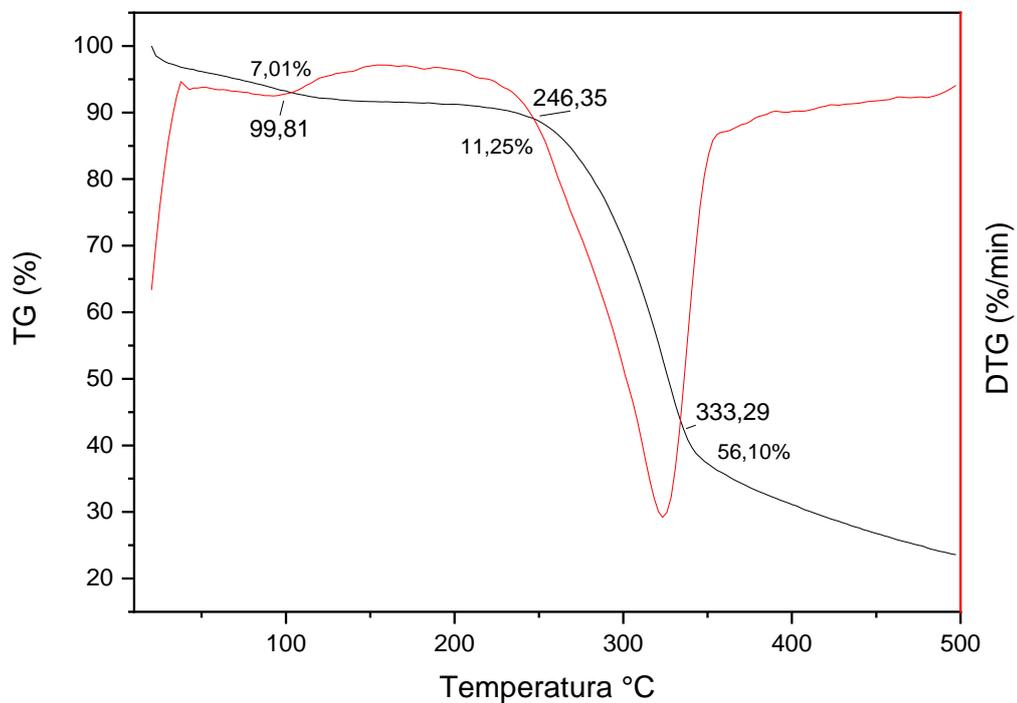
Os presentes estudos e seus respectivos resultados ajudam a enfatizar o potencial que o tecido fibroso de tururi apresenta para ser utilizado como reforço em compósitos de matriz polimérica por conta de sua baixa massa específica. Fato que pode ser justificado por conta da proximidade do valor da massa específica do tecido de tururi com de outras fibras naturais

lignocelulósicas amplamente utilizadas, como o Sisal ( $1,5 \text{ g/cm}^3$ ), Juta ( $1,3 - 1,49 \text{ g/cm}^3$ ), Kenaf ( $1,31 \text{ g/cm}^3$ ), Rami ( $1,5 \text{ g/cm}^3$ ), entre outras (SELVAN *et al.*, 2022).

#### 4.1.5. Análise termogravimétrica

O termograma obtido a partir da análise do tecido fibroso de tururi é apresentado na figura 26.

Figura 26: Termograma do tecido de tururi.



Fonte: Próprio autor, (2023)

A análise termogravimétrica revelou que o tecido de tururi, assim como a maioria das fibras naturais lignocelulósicas, picos exotérmicos característicos de seus constituintes, comportamento já esperado

A etapa da mercerização realizada no momento do preparo da amostra ocasiona a diminuição do teor de alguns elementos, por este motivo o termograma apresenta alguns percentuais diferentes dos já dispostos na literatura. Contudo, os principais picos de perda de massa continuam a apresentar similaridades com grande gama dos trabalhos publicados nos últimos anos.

A primeira perda de massa (7,01%) é observada em 99,81 °C, e está relacionada a perda de umidade da amostra, resultados similares para esta primeira perda de massa foram observados por Porras *et al.*, (2015) e Dalmis *et al.*, (2020) quando estes realizaram estudos com fibras naturais lignocelulósicas. A segunda perda de massa (11,25%) ocorre em 246,35 °C e está de acordo com perdas já observadas em outros trabalhos. Este intervalo de perda de massa é referente a degradação da hemicelulose, resultado que também foi observado por Mannai *et al.*, (2020). A última perda de massa é a mais acentuada (56,10%) e ocorre ao se atingir um patamar de temperatura de 333,29 °C. Assim como no estudo de Porras *et al.*, (2015), Mannai *et al.*, (2020) e Dalmis *et al.*, (2020), onde este intervalo de perda a massa também é mais acentuada, e está relacionada a degradação da alfa celulose e da lignina.

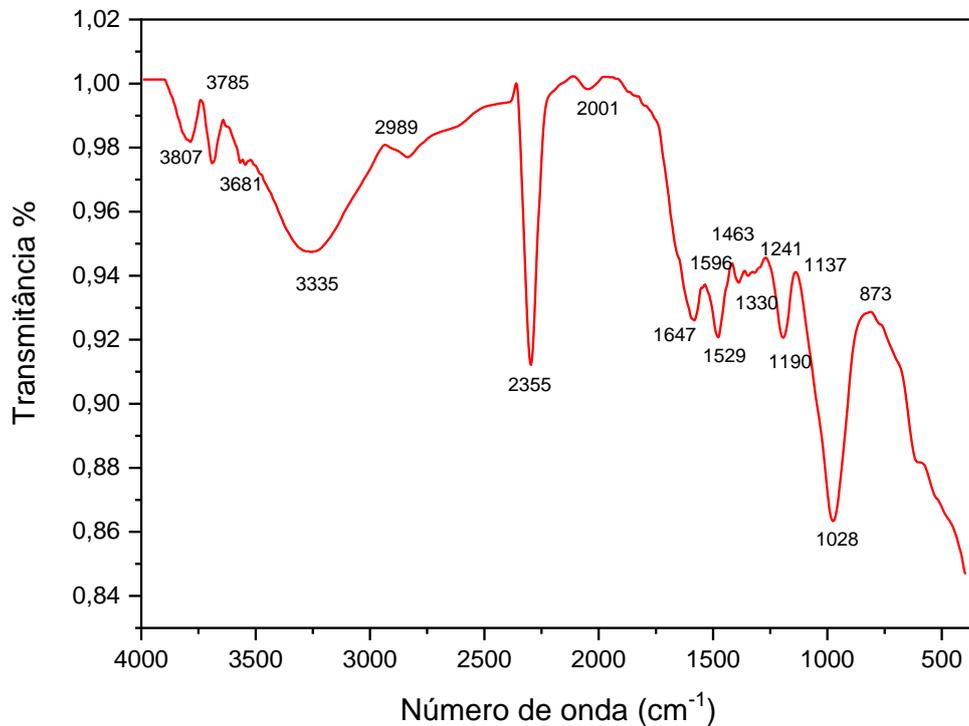
A partir da análise do termograma é possível constatar que o tecido de tururi é capaz de manter sua estabilidade até temperaturas próximas de 246,35 °C. Após transpor este patamar de temperatura o tecido entra na etapa de degradação.

O percentual de perda da hemicelulose apresentado na figura 26 é menor do que em outros trabalhos que não realizam a etapa de mercerização na amostra. O trabalho de Porras *et al.*, (2015) ao estudar o tecido de tururi apresentou resultados com uma perda de massa de aproximadamente 30% referente a hemicelulose, enquanto neste trabalho a perda de hemicelulose ficou próxima de 11%. Tal fato evidencia que a etapa de mercerização afeta diretamente o percentual dos constituintes nas fibras lignocelulósicas, por este motivo o percentual para degradação de hemicelulose aparece reduzido no termograma. A lignina apresenta alta resistência à ataques químicos, logo sua estrutura ainda se manteve, e foi possível observar sua perda de massa em temperaturas por volta de 330 °C. A celulose se encontra na camada S<sub>2</sub> da estrutura fibrilar, por esta razão seu pico permanece sem sofrer nenhuma alteração pela etapa de mercerização (WANG *et al.*, 2021).

#### 4.1.6. Espectroscopia vibracional no infravermelho

A figura 27 apresenta o gráfico de espectro vibracional de FTIR obtido a partir do tecido fibroso de tururi.

Figura 27: Espectro do tecido de tururi.



Fonte: Próprio autor, (2023)

Na faixa de 3807 até 3785  $\text{cm}^{-1}$  tem-se duas bandas vibracionais que podem ser atribuídas ao grupo OH (PATEL, *et al.*, 2020). A banda 3681  $\text{cm}^{-1}$  corresponde ao estiramento vibracional da ligação C-H (SELVARAJ *et al.*, 2022). Em 3335  $\text{cm}^{-1}$  é observado o estiramento da banda de hidrogênio (SELVARAJ *et al.*, 2022). Em 2989  $\text{cm}^{-1}$  tem-se o estiramento vibracional das ligações CH e CH<sub>2</sub> da celulose e hemicelulose (MADHUA *et al.*, 2019). Em 2355  $\text{cm}^{-1}$  ocorre o estiramento das ligações C=C (MAHESWARAN *et al.*, 2017). Em 1647  $\text{cm}^{-1}$  ocorre o estiramento das ligações CO atribuídas à lignina (MANNAI *et al.*, 2021).

As bandas 1596  $\text{cm}^{-1}$  e 1463  $\text{cm}^{-1}$  são atribuídas ao comportamento dos anéis aromáticos da lignina. (TAMANNA *et al.*, 2021; MANNAI *et al.*, 2021). Em 1529  $\text{cm}^{-1}$  ocorre o alongamento axial das ligações C=C do anel aromático da lignina (VIJAY *et al.*, 2019). Em 1330  $\text{cm}^{-1}$  tem-se a ocorrência de uma banda vibracional associada à hemicelulose e lignina (DALMIS *et al.*, 2020). Em 1241  $\text{cm}^{-1}$  ocorre o estiramento da ligação C-H que são atribuídas ao grupo da lignina (MAHESWARAN *et al.*, 2017). As bandas entre 1190  $\text{cm}^{-1}$  e 1137  $\text{cm}^{-1}$  são atribuídas às ligações do tipo C-O-C referentes aos constituintes: hemicelulose e lignina (DING *et al.*, 2021).

Em 1028  $\text{cm}^{-1}$  ocorre o estiramento C-OH e C-C característicos da hemicelulose e pectinas (DALMIS *et al.*, 2020). Em 873  $\text{cm}^{-1}$  ocorre o estiramento do anel aromático do grupo

da lignina (TAMANNA *et al.*, 2021). As bandas apresentadas no espectro do tecido de tururi são similares a grande maioria dos espectros das fibras lignocelulósicas já conhecida. A similaridade entre os resultados das fibras lignocelulósicas amplamente estudadas com os resultados apresentados no espectro acima, indicam que este tecido poderá atuar como bom reforço

#### 4.1.7. Teor de umidade

A teor de umidade foi determinado em observância à ASTM D570. A tabela 5 apresenta dados quantitativos do comportamento do tecido fibroso de tururi.

Tabela 5: Valores para o teor de umidade do tecido de tururi.

<b>Amostra</b>	<b>Teor de umidade (%)</b>
Tecido fibroso de tururi	16,58 ± (0,17)

Fonte: Próprio autor (2023).

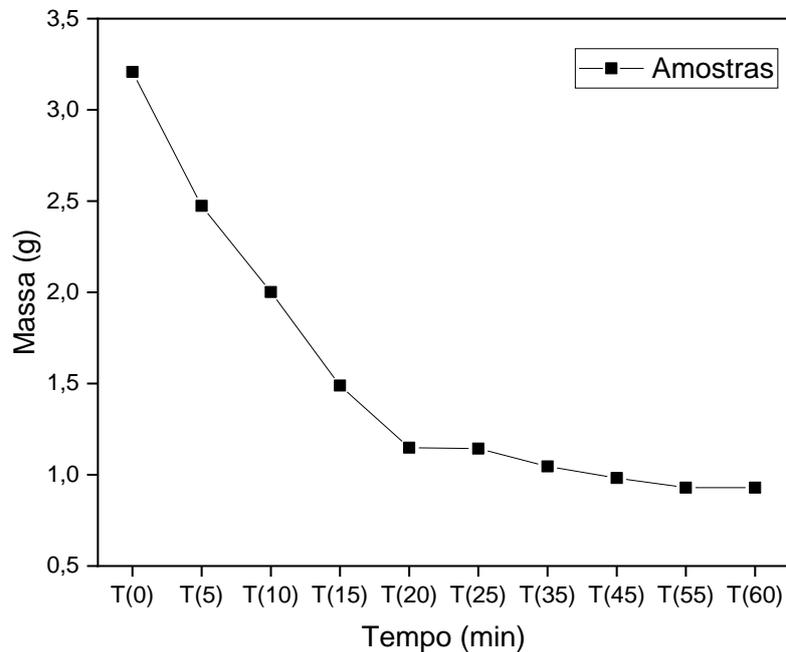
O resultado para o teor de umidade pode ser considerado alto quando comparados aos valores apresentados a literatura (PORRAS, *et al.*, 2015).

Algumas fibras já estudadas apresentam valores menores para teor de umidade. No estudo de Ponce-Medina *et al.*, (2018), o valor obtido para a fibra de candelilla (*Euphorbia antisypholica*) foi de 8,9 %. Já Tamanna *et al.*, (2021) apresenta valores diferentes para a umidade da fibra de sisal, os valores variaram de 10 – 22%. Em Sethuraman *et al.*, (2020) apresenta valores próximo a 9% para a fibra de *Coccinia indica*.

Porras *et al.*, (2015) apresentou valores de, aproximadamente 10% para o teor de umidade para o tecido de tururi. A principal hipótese para tal variação é a origem geográfica do tecido, que pode alterar os valores de seus constituintes químicos, como a hemicelulose, que é o constituinte que confere a fibra o caráter hidrofílico, ou a lignina, que confere a fibra o caráter hidrofóbico. Outra hipótese é a parte do tecido que foi selecionado para amostragem, tendo em vista que o mesmo tecido (invólucro) pode apresentar regiões com diferença de espaços vazios e regiões mais compactas, como observado nos resultados obtidos por microscopia óptica.

A figura 28 apresenta o gráfico referente ao teor de umidade do tecido fibroso com suas respectivas perdas pelo intervalo de tempo em minutos.

Figura 28: Gráfico do teor de umidade.



Fonte: Próprio autor (2023)

A análise gráfica apresenta uma perda de massa inicial bem representativa até T<sub>5</sub>(20 min), após atingir a estabilidade observada em T<sub>6</sub>(25 min). A partir deste ponto o tempo de verificação das amostras foi aumentado para 10 minutos. Em T<sub>7</sub>(35 min) e foi possível observar que a massa voltou a diminuir, porém a diminuição de massa permaneceu por mais 20 minutos até atingir-se estabilidade para o tecido próximo de T<sub>10</sub> (60 min).

#### 4.1.8. Gramatura

O valor médio de gramatura encontrado para o tecido fibroso de tururi foi estimado em 148,61 g/m<sup>2</sup>

O valor encontrado para a gramatura foi alto quando comparado aos valores de fibras tradicionais já estudadas. Por se tratar de um tecido já era esperado que o valor fosse bem mais elevado. Contudo, o valor observado no trabalho de Porras *et al.*, (2015), ao estudar o tecido de tururi foi de aproximadamente 519,27 g/m<sup>2</sup>. O valor obtido pelo trabalho de Porras *et al.*, (2015) foi mais alto quando comparado com o presente trabalho, a justificativa é baseada na norma utilizada para a obtenção dos dados. A norma ASTM D3776 apresenta as exigências para determinação da gramatura, porém apresenta 4 opções para determinar esta propriedade. A opção adotada neste trabalho foi a opção C, já Porras *et al.*, (2015) adotou o uso da opção B.

Na literatura, são escassos os dados sobre gramatura de tecidos fibrosos de trama natural, como se apresenta o tecido fibroso de tururi, contudo, quando este é comparado com os tecidos sintéticos existentes é possível observar que o tururi possui um valor de gramatura bem reduzido, o que pode ser benéfico, a depender da aplicação.

Os tecidos sintéticos apresentam um elevado desempenho mecânico, em contrapartida apresentam elevados valores para gramatura. No trabalho de (De La ROSA *et al.*, 2021) são apresentados valores de gramatura para tecidos sintéticos de fibra de carbono ( $300 \text{ g/m}^2$ ), fibra de basalto 1 ( $280 \text{ g/m}^2$ ) e fibra de basalto 2 ( $600 \text{ g/m}^2$ ). Os tecidos apresentam resultados de resistência de ruptura de 818 MPa, 412, MPa e 888 MPa, respectivamente. O tecido de tururi apresenta valores para gramatura inferiores aos apresentados pelas fibras sintéticas supracitadas, contudo apresenta valores de resistência em torno de 327 MPa.

O trabalho de Trianoski; Iwakiri (2018) idealizou a produção de painéis poliméricos reforçados com fibras naturais com a finalidade de aplicação em construção civil. Os painéis produzidos apresentaram gramaturas de até  $118 \text{ g/m}^2$ . A espessura dos painéis e as dimensões finais foram de 2mm e 500x500mm, respectivamente. O autor relata possível aplicação dos compósitos produzidos na confecção de moveis.

Com base nos valores observados para a gramatura do tecido de tururi uma aplicação viável seria a confecção de placas estruturais de construção civil e móveis

## 4.2. CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DOS CORPOS DE PROVA

### 4.2.1. Ensaio de resistência à tração

A figura 29 apresenta o aspecto visual macroscópico dos corpos de prova após serem ensaiados em tração.

Figura 29: Corpos de prova ensaiados em tração.



Fonte: Próprio autor, (2023)

É possível notar que os corpos de prova apresentam fratura transversal à direção do ensaio de tração. Os corpos de prova sofreram fratura dentro do comprimento útil. Este é um indicativo de ocorrência de fratura do tipo frágil, mecanismo de fratura típico em materiais compósitos. Outro fato que evidencia o comportamento frágil é a ausência de deformação macroscópica nos corpos de prova. Este comportamento é característico de compósitos reforçados com fibras naturais.

A tabela 6 apresenta os dados mecânicos obtidos a partir do ensaio de tração realizado nos corpos de prova.

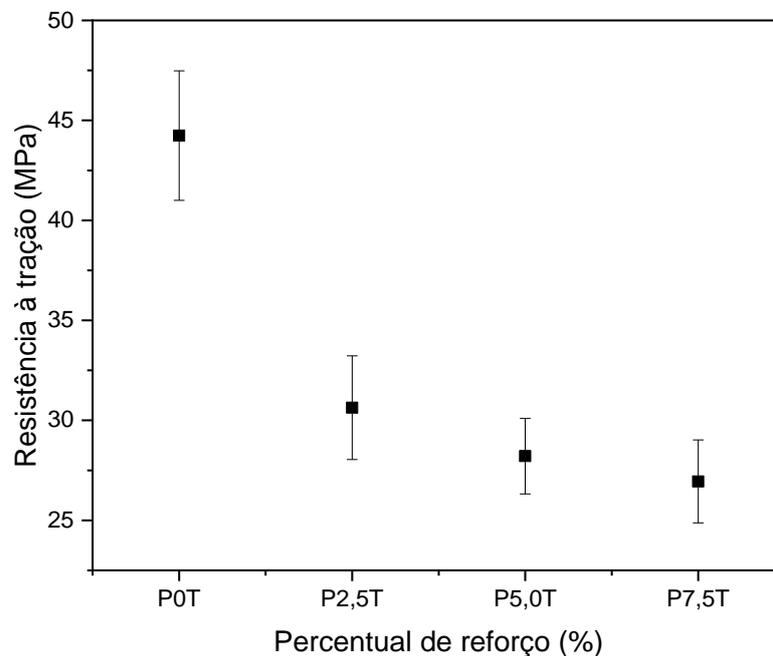
Tabela 6: Propriedades mecânicas obtidas a partir do ensaio de tração.

<b>Corpos de prova (%)</b>	<b>Resistência à Tração (MPa)</b>	<b>Módulo de elasticidade (GPa)</b>	<b>Deformação (%)</b>
P0T	44,23 ± (3,24)	0,5824 ± (0,01)	0,079360 ± (0,07)
P2,5T	30,63 ± (2,59)	0,9270 ± (0,15)	0,049318 ± (0,05)
P5,0T	28,21 ± (1,88)	0,6174 ± (0,02)	0,049164 ± (0,03)
P7,5T	26,94 ± (2,07)	0,5746 ± (0,04)	0,05264 ± (0,04)

Fonte: Próprio autor, (2023)

A figura 30 apresenta o gráfico da resistência à tração dos compósitos incorporados com tecido fibroso de tururi.

Figura 30: Gráfico de resistência à tração dos corpos de prova reforçados com tecido de tururi.



Fonte: Próprio autor, (2023)

Os resultados apresentando acima mostram que a incorporação do tecido de tururi, de acordo com as composições adotadas neste trabalho, não ocasionou melhoras às propriedades de tração nos compósitos reforçados com diferentes percentuais de reforço. Os valores apresentados na tabela 6 apontam que houve fraca interação entre a matriz poliéster e o reforço.

Isso torna sugestivo que os três percentuais utilizados nesta pesquisa não atuaram como agente de reforço, tendo em vista que os valores de resistência à tração são superiores na resina pura quando comparados aos valores obtidos para os compósitos quando estes são submetidos a solicitações em tração. Este comportamento pode ser explicado pela limitação do processo de confecção dos corpos de prova. O método *hand lay-up* não permitiu maior incorporação de percentual mássico de reforço. A utilização de outros métodos de fabricação como prensagem e infusão à vácuo poderia permitir a obtenção de melhores respostas na solicitação trativa.

Não muito obstante, a literatura apresenta vários estudos acerca de incorporações de fibras lignocelulósicas que não atuam como agentes de reforço satisfatórios.

No trabalho apresentado por Paula *et al.*, (2021) os compósitos de poliéster reforçados com *Luffa cylindrica* apresentaram valores de resistência à tração bem reduzidos, ficando em torno de 13 MPa. Os autores atrelam estes baixos valores de resistência à falha na adesão superficial entre matriz e reforço. Fato semelhante é uma das hipóteses que pode justificar a ineficácia da interação entre o poliéster e o tecido de tururi. A falha na adesão pode estar associada a etapa da impregnação realizada no momento da confecção dos compósitos. Outra hipótese baseia-se no excesso de matéria orgânica presente na superfície das fibras que compõem o tecido, acarretando assim maior dificuldade na adesão entre a matriz e o reforço.

Biraj *et al.*, (2018) ao avaliar a incorporação de diferentes percentuais de bagaço de cana concluiu que, em suas condições de trabalho, ao aumentar o percentual de reforço ocorre uma perda em certas propriedades, entre elas a propriedades de tração. Estimando que o percentual ótimo está na faixa de 10% de bagaço.

Laksono *et al.*, (2019) ao estudar a incorporação de fibras de *Melalueca leucadendra* obteve bons resultados nas propriedades de flexão e impacto. Contudo, a propriedade de tração apresentou valores que não atendiam as critério de utilização do objetivo proposto por apresentar valores baixos, em torno de 13 MPa.

O estudo de Taborda-Rios *et al.*, (2018), apresenta seus resultados acerca da incorporação de fibra de bambu em matriz poliéster e aponta que não houve aumento nas propriedades de tração dos compósitos reforçados com diferentes percentuais de fibra de bambu. Reiterando assim que, a falha no processo de fabricação dos compósitos pode impactar diretamente em suas propriedades finais.

Ademais, os valores obtidos no ensaio de resistência à tração são justificados por conta do método de confecção adotado neste trabalho, o método *hand lay-up* se mostrou ineficaz. Outra explicação é o comportamento ortotrópico do tecido, visto que se tem fibras que são orientadas em diferentes direções, característica esta que pode ter interferido no comportamento

mecânico obtido neste ensaio. baixo percentual de tecido incorporado na matriz, sendo insuficiente para promover melhores resultados.

Foi realizado tratamento estatístico nos dados obtido no ensaio de tração a fim de validar o mesmo. A tabela 7 apresenta a análise de variância (ANOVA). Análise realizada a fim de identificar a existência de diferença significativa entre as médias de resistência à tração dos compósitos.

Tabela 7: ANOVA da resistência à tração compósitos reforçados com tecido de tururi.

<b>Fonte de variação</b>	<b>SQ</b>	<b>GL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>Valor-P</b>	<b>F-crítico</b>
<b>Entre os grupos</b>	1143,1496	3	381,0498796	7,597018619	0,001395161	3,098391212
<b>Dentro dos grupos</b>	1003,156366	20	50,15781831			
<b>Total</b>	2146,306005	23				

Fonte: Próprio autor, (2023)

A ANOVA apresentada na tabela 7 aponta valores estatísticos de F-calculado estimado em 7,597 e o F-crítico estimado em 3,098. Com o F-calculado sendo superior ao F-crítico rejeita-se a hipótese de igualdade entre as médias para um nível de significância de 5%. Este resultado aponta os percentuais de reforço do fibroso de tururi têm efeitos distintos na resistência à tração dos corpos de prova ensaiados. A partir deste resultado foi realizado o teste de TUKEY com nível de segurança de 5%, a fim de realizar a comparação entre as médias, e a partir desta comparação identificar quais composições são responsáveis pelas diferenças nos resultados.

Para realizar o teste de TUKEY, inicialmente foi estimado o valor do d.m.s.: 11,449. De posse deste valor foi possível realizar a correta identificação da composição responsável pela diferença nos resultados. A tabela 8 apresenta o teste de TUKEY.

Tabela 8: Teste de TUKEY realizado nos resultados de resistência à tração.

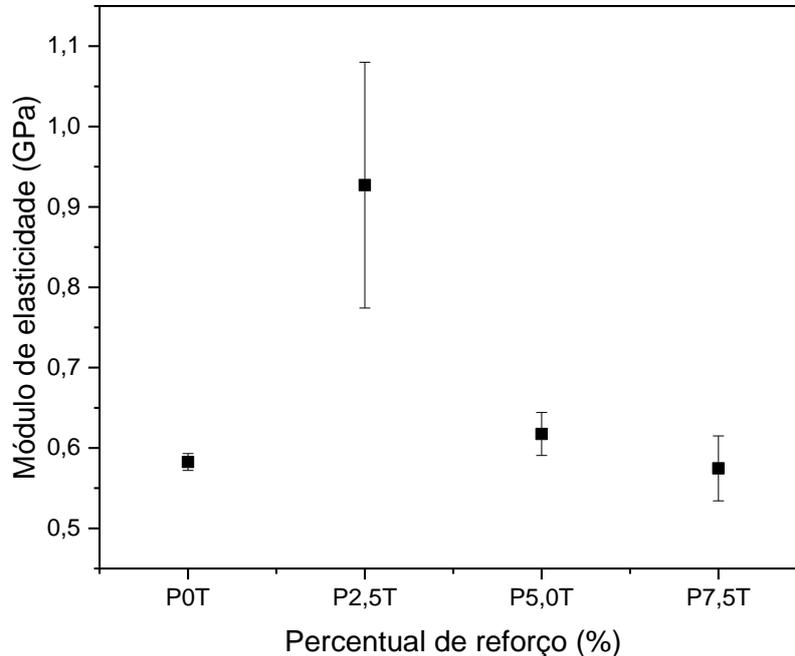
Corpos de prova	P0T	P2,5T	P5,0T	P7,5T
<b>P0T</b>	0,0	<b>13,603</b>	<b>16,026</b>	<b>17,293</b>
<b>P2,5T</b>	<b>13,603</b>	0,0	2,426	3,690
<b>P5,0T</b>	<b>16,026</b>	2,426	0,0	1,264
<b>P7,5T</b>	<b>17,293</b>	3,690	1,264	0,0

Fonte: próprio autor, (2023)

Ao avaliar os dados apresentados pela tabela 8 é possível constatar que a diferença entre as médias identificada pela ANOVA é ocasionada pela matriz, pois a matriz apresenta valores maiores que o d.m.s encontrado.

A figura 31 apresenta o gráfico da propriedade do módulo de elasticidade.

Figura 31: Gráfico do módulo de elasticidade dos corpos de prova reforçados com tecido de tururi.



Fonte: Próprio autor, (2023)

Ao comparar a matriz aos compósitos com P2,5 e P5,0% de reforço é notado um ligeiro aumento no módulo de elasticidade, o que segundo Pinheiro *et al.*, (2019) este é um comportamento esperado para compósitos reforçados com fibras, uma vez que ao aumentar o percentual de reforço é esperado que o módulo de elasticidade também aumente.

Este aumento no módulo está diretamente atrelado à rigidez dos compósitos, uma vez que quando maior o módulo de elasticidade maior a rigidez do material (RIBEIRO *et al.*, 2021).

Ao observar o compósito com 7,5% de reforço, é possível notar que o módulo de elasticidade é menor quando comparado ao módulo apresentado pela matriz, o que sugere que este é o compósito menos rígido dentre todas as composições. O fato, pode ter sido ocasionado por falha no processo de manufatura dos compósitos, uma vez que ao incorporar mais reforço à matriz o módulo deveria aumentar, porém não é o que se observa para a composição de 7,5%.

Os resultados obtidos para módulo de elasticidade neste trabalho foram inferiores aos resultados obtidos em outros trabalhos. Em Neves *et al.*, (2020) ao estudar a incorporação de fibra de Hemp em matriz poliéster obteve valores superiores aos obtidos neste. De forma semelhante, ao estudar a incorporação de fibra de juta e malva Ribeiro *et al.*, (2022) também obteve resultados superiores para a propriedade do módulo de elasticidade.

A tabela 9 apresenta a análise de variância realizada a fim de verificar a existência de diferença significativa entre as médias dos módulos de elasticidade dos corpos de prova reforçados com tecido de tururi.

Tabela 9: ANOVA do módulo de elasticidade dos corpos de prova ensaiados em tração.

<b>Fonte de variação</b>	<b>SQ</b>	<b>GL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>Valor-P</b>	<b>F-crítico</b>
<b>Entre os grupos</b>	0,683893655	3	0,227964552	4,406650181	0,011658915	2,946685266
<b>Dentro dos grupos</b>	1,448494249	28	0,051731937			
<b>Total</b>	2,132387903	31				

Fonte: Próprio autor, (2023)

A ANOVA apresentada na tabela 9 aponta valores estatísticos de F-calculado estimado em 4,4066 e o F-crítico estimado em 2,9466. Com o F-calculado sendo superior ao F-crítico rejeita-se a hipótese de igualdade entre as médias para um nível de significância de 5%. Este resultado aponta os percentuais de reforço do fibroso de tururi têm efeitos distintos na resistência à tração dos corpos de prova ensaiados. A partir deste resultado foi realizado o teste de TUKEY com nível de segurança de 5%, a fim de realizar a comparação entre as médias, e a partir desta comparação identificar quais composições são responsáveis pelas diferenças nos resultados.

Para realizar o teste de TUKEY, inicialmente foi estimado o valor do d.m.s.: 0,3103. De posse deste valor foi possível realizar a correta identificação da composição responsável pela diferença nos resultados. A tabela 10 apresenta o teste de TUKEY.

Tabela 10: Teste TUKEY do módulo de elasticidade dos corpos de prova reforçados com tecido de tururi

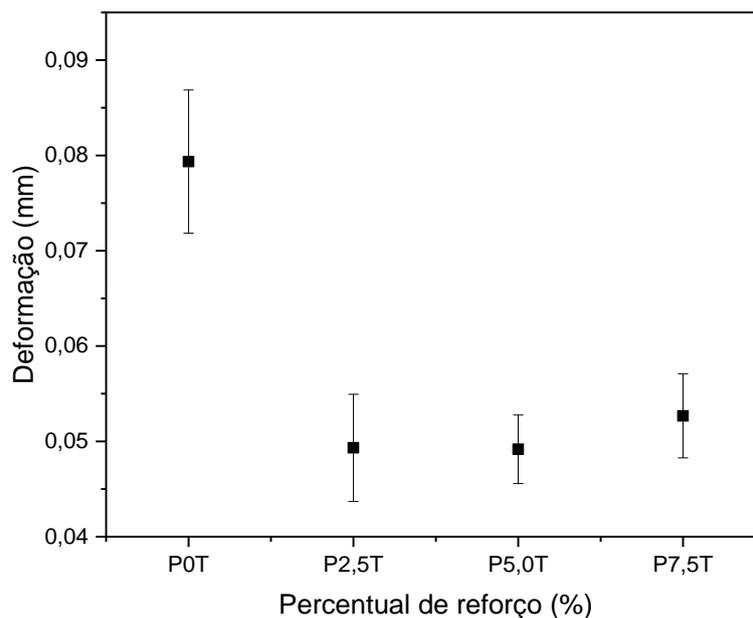
Corpos de prova	P0T	P2,5T	P5,0T	P7,5T
P0T	0,0	<b>0,3446</b>	0,0350	0,008
P2,5T	<b>0,3446</b>	0,0	0,3096	<b>0,3524</b>
P5,0T	<b>0,0350</b>	0,3100	0,0	0,0428
P7,5T	0,008	<b>0,3524</b>	0,043	0,0

Fonte: Próprio autor, (2023)

Ao avaliar os dados apresentados pela tabela é possível constatar que a diferença entre as médias identificada pela ANOVA é ocasionada pelos compósitos reforçados com 5,0 e 7,5% de tecido. Os valores destacados na tabela acima apontam as composições que são responsáveis pela não igualdade entre as médias.

A figura 32 apresenta o gráfico de deformação dos corpos de prova reforçados com tecido fibroso de tururi.

Figura 32: Gráfico de deformação dos corpos de prova reforçados com tecido de tururi



Fonte: Próprio autor, (2023)

É possível notar que, conforme há a incorporação de reforço, os valores para deformação seguem a tendência de diminuir, com exceção da terceira composição. A hipótese para este comportamento está baseada na falha de fabricação dos corpos de prova. A menor deformação notada é no compósito de 2,5% de reforço fibroso, fato este que está de acordo com a propriedade do módulo de elasticidade, onde o maior módulo de elasticidade é responsável pela menor deformação, pois a rigidez deste é aumentada.

Ao confeccionar compósitos de matriz polimérica utilizando fibras de juta, sisal e curauá, Cavalcanti *et al.*, 2021 obteve resultados de deformação inferiores aos encontrados neste trabalho.

Pereira *et al.*, 2021 ao estudar compósitos matriz poliéster reforçados com fibra da folha de buriti obtiveram resultados de deformação que são superiores aos obtidos neste trabalho. O autor atrela a elevada deformação à fatores como comprimento e escorregamento de fibras no interior do compósito.

A tabela 11 apresenta a análise de variância realizada a fim de identificar a existência de diferenças significativas nas médias obtidas na propriedade de deformação.

Tabela 11: ANOVA das médias de deformação.

<b>Fonte de variação</b>	<b>SQ</b>	<b>GL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>Valor-P</b>	<b>F-crítico</b>
<b>Entre os grupos</b>	0,005100037	3	0,001700012	7,052079826	0,001121988	2,946685266
<b>Dentro dos grupos</b>	0,00674983	28	0,000241065			
<b>Total</b>	0,011849867	31				

Fonte: Próprio autor, (2023)

A ANOVA apresentada na tabela 11 aponta valores estatísticos de F-calculado estimado em 7,0520 e o F-crítico estimado em 2,9466. Com o F-calculado sendo superior ao F-crítico rejeita-se a hipótese de igualdade entre as médias para um nível de significância de 5%. Este resultado aponta os percentuais de reforço do fibroso de tururi têm efeitos distintos na resistência à tração dos corpos de prova ensaiados. A partir deste resultado foi realizado o teste de TUKEY com nível de segurança de 5%, a fim de realizar a comparação entre as médias, e a partir desta comparação identificar quais composições são responsáveis pelas diferenças nos resultados.

Para realizar o teste de TUKEY, inicialmente foi estimado o valor do d.m.s.: 0,02118. De posse deste valor foi possível realizar a correta identificação da composição responsável pela diferença nos resultados. A tabela 12 apresenta o teste de TUKEY.

Tabela 12: Teste TUKEY das médias de deformação dos corpos de prova reforçados com tecido de tururi.

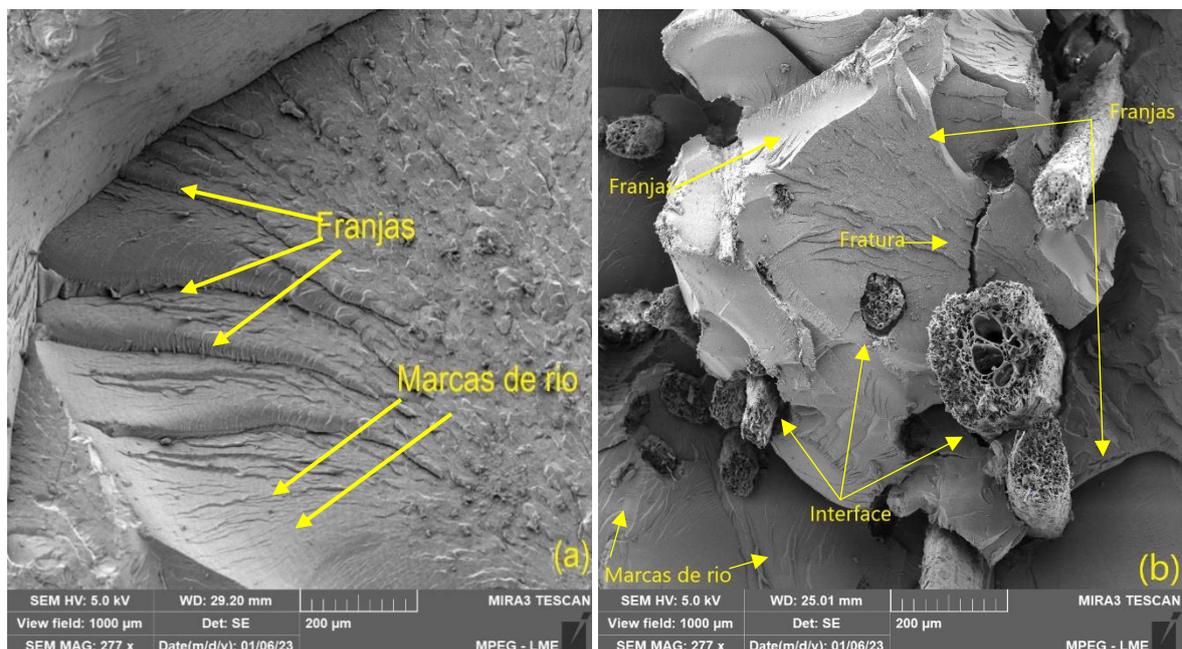
Corpos de prova	P0T	P2,5T	P5,0T	P7,5T
P0T	0,0	<b>0,030</b>	<b>0,030</b>	<b>0,0266</b>
P2,5T	<b>0,0302</b>	0,0	0,0002	0,0033
P5,0T	<b>0,0302</b>	0,0002	0,0	0,004
P7,5T	<b>0,0266</b>	0,003	0,004	0,0

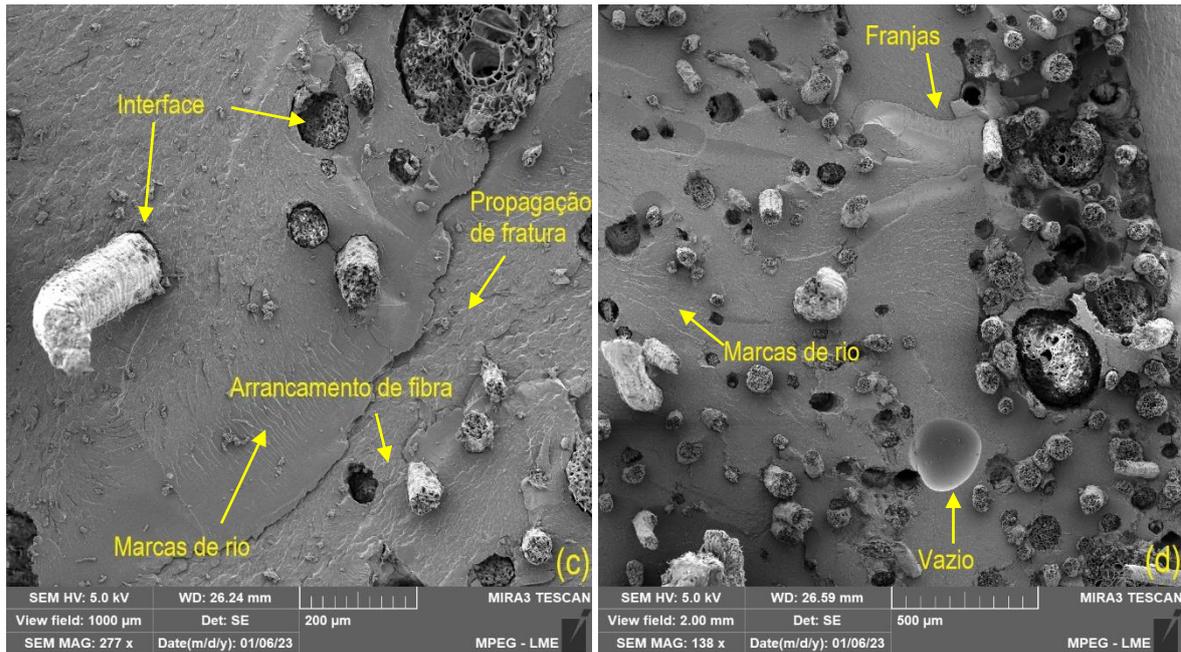
Fonte: Próprio autor (2023).

O teste TUKEY revelou as composições onde as diferenças estão localizadas. Em concordância com o gráfico, a matriz é a composição responsável por causar as variações nas médias obtidas em deformação. Pode-se observar que os valores atribuídos à matriz são superiores que o d.m.s. calculado, o mesmo não é observado nas outras composições, P0T, P2,5T, P5,0T e P7,5T.

A figura 33 apresenta uma série de micrografias obtidas por microscopia eletrônica de varredura da região da fratura dos corpos de prova ensaiados em tração.

Figura 33: Micrografias dos corpos de prova ensaiados em tração. Em (a): P0; (b): P2,5%T; em (c): P5,0%T e em (d): P7,5%T





Fonte: Próprio autor, (2023).

A figura 33(a) apresenta o aspecto da fratura do corpo de prova da matriz poliéster. É possível notar duas regiões; regiões de marca de rio e regiões chamadas de franjas de fratura. Estas duas características indicam que a fratura que ocorreu na matriz poliéster foi uma fratura do tipo frágil.

As micrografias 33(b), (c) e (d) são referentes aos compósitos P2,5%T, P5,0%T e P7,5%T, respectivamente. As micrografias apresentam características em comum, sendo elas as regiões de marcas de rio e franjas de fratura. Comportamento semelhante ao apresentado pela matriz.

Em 33(b) é observado uma região onde ocorre o arrancamento de fibra, também conhecido como efeito *pull out*. Neste trabalho, ao observar os valores obtidos no ensaio de tração, o efeito *pull out* indica que não ocorreu boa adesão entre a matriz e o reforço aplicado. Essa fraca adesão pode ser associada a presença de matéria orgânica na superfície das fibras quem compõem o tecido utilizado como reforço. Em 33(c) fica evidente a fraca interação entre a matriz e o reforço, fato este que pode ser confirmado ao observar a micrografia e notar todo o caminho percorrido pela trinca até a fibra. Este é um indício que justifica o comportamento observado nesta composição ao ser solicitada em cargas trativas. A micrografia 33(d), do compósito P7,5%T justifica o baixo desempenho mecânico dos compósitos P7,5%T. É possível observar a presença de espaços vazios, que atuam como concentradores de tensão.

Todas as composições apresentam marcas de rio e franjas de fratura, o que indicam que todos os compósitos apresentaram fratura do tipo frágil.

Os resultados revelados pelas micrografias foram compatíveis com análises da região de fratura realizadas por outros autores em compósitos poliméricos reformados com fibras naturais lignocelulósicas, como Melo *et al.*, (2022) ao estudar a incorporação da cabaça esponjosa (*Luffa cylindrica*) em matriz poliéster, onde foi constatado através de microscopia eletrônica de varredura que o reforço sem tratamento induziu uma má adesão entre matriz e reforço, o mesmo foi observado nas micrografias apresentadas na figura 33(b), (c) e (d). Hossain *et al.*, (2020) ao estudar compósitos reforçados com fibra de banana observou a ocorrência de arrancamento. Soundarrajan *et al.*, (2022) ao estudar compósitos reforçados com fibra de coco estes apresentaram a presença de regiões com arrancamento de fibra e má adesão entre matriz e reforço.

#### 4.2.2. Ensaio de resistência à flexão

A figura 34 apresenta o aspecto visual macroscópico dos corpos de prova ensaiados em flexão de três pontos.

Figura 34: Corpos de prova ensaiados em flexão



Fonte: próprio autor, (2023)

A análise visual dos corpos de prova apresentados na figura 35 revela que apenas duas composições fraturaram. Nas composições P0% e P5,0% não ocorreu fratura em nenhum dos 8 corpos de prova ensaiados. Já as composições P2,5% e P7,5% sofreram fratura, como mostra a figura 35. A fratura dos corpos de prova ocorreu dentro da região do central do comprimento dos corpos de prova. No aspecto visual, não foi possível identificar deformação nos corpos de

prova fraturados. Este é um indicativo de que estes apresentam um comportamento do tipo frágil.

Em contrapartida, nas composições que não fraturaram é possível observar uma elevada deformação, como apresentado na figura 35.

Figura 35: Corpo de prova ensaiado em flexão não fraturado.



Fonte: Próprio autor, (2023)

O corpo de prova da composição P5,0% apresenta elevada deformação aparente, porém após a finalização do ensaio não foi possível observar, visualmente, nenhuma formação de trincas ou fissuras.

A tabela 13 apresenta as propriedades mecânicas obtidas a partir do ensaio de flexão.

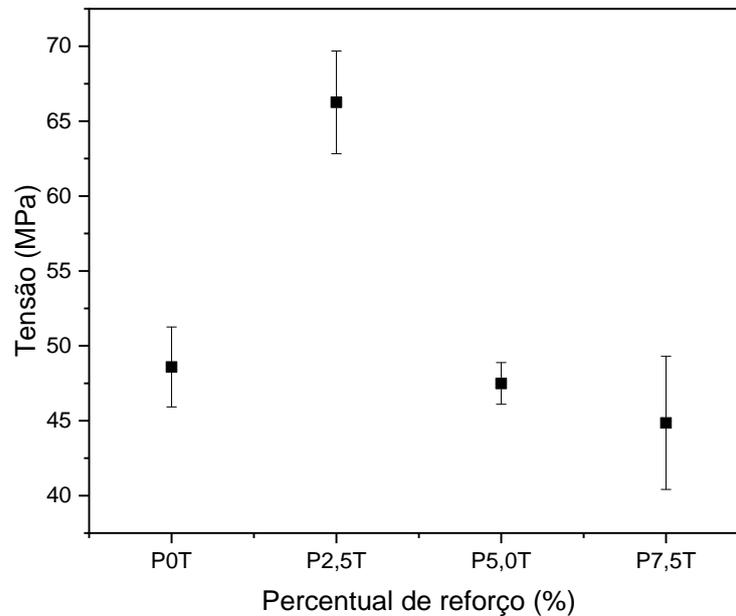
Tabela 13: Propriedades mecânicas obtidas no ensaio de flexão.

<b>Corpos de prova (%)</b>	<b>Resistência à flexão (MPa)</b>	<b>Módulo de elasticidade (GPa)</b>	<b>Deformação (mm/mm)</b>
<b>P0T</b>	49,7 ± (9,78)	2,59 ± (0,18)	0,07172 ± (0,005)
<b>P2,5T</b>	63,9 ± (14,7)	3,57 ± (0,34)	0,06548 ± (0,005)
<b>P5,0T</b>	46,66 ± (5,23)	2,07 ± (0,07)	0,08251 ± (0,001)
<b>P7,5T</b>	43,10 ± (15,10)	3,77 ± (0,29)	0,04290 ± (0,008)

Fonte: Próprio autor, (2023)

Na figura 36 é apresentado o gráfico de resistência à flexão a fim de complementar a tabela apresentada acima.

Figura 36: Gráfico de resistência à flexão dos corpos de prova ensaiados em flexão.



Fonte: próprio autor, (2023)

É possível observar que a composição P2,5T% apresenta o melhor resultado dentre todas as outras composições e a matriz, o que indica que o percentual ótimo de incorporação foi o de 2,5% nos compósitos de reforçados com tecido. A composição P5,0T% e P7,5T% apresentam desempenho inferior à matriz. Este fato, que também foi observado no teste de tração, pode estar associado a má adesão da fibra da matriz, fato este que pode ser resultado do processo de fabricação dos corpos de prova ou da presença elevada de matéria orgânica no corpo do tecido fibroso, o que dificulta o ancoramento do reforço na matriz. Outro fator que pode ter propiciado a diminuição da resistência é a presença concentradores de tensão no interior do corpo de prova, como poros e bolhas.

Em Prasad *et al.*, (2020) ao estudar a resistência mecânica de compósitos reforçados com tecido naturais observou uma diminuição na resistência dos compósitos. O fato foi associado à fraca ligação do emaranhado fibroso e inadequação no molhamento do tecido pela resina.

Em Dhibar *et al.*, (2018), ao estudar os compósitos reforçados com fibra de bagaço de cana de açúcar, observou que o aumento do percentual de reforço acarretou na diminuição da resistência à flexão dos compósitos. Os estudos apresentados reiteram que tanto a quantidade

de reforço quanto a interação entre matriz e reforço afetam diretamente a resistência dos compósitos.

A partir da observação do gráfico apresentado pela figura 36 foi realizada a análise de variância (ANOVA) para identificar com exatidão a existência de diferença entre as médias. A tabela 14 apresenta a ANOVA dos valores de resistência à flexão.

Tabela 14: ANOVA dos resultados de resistência à flexão.

<b>Fonte de variação</b>	<b>SQ</b>	<b>GL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>Valor-P</b>	<b>F-crítico</b>
<b>Entre os grupos</b>	1717,586	3	572,5286	9,411007	0,000439	3,098391
<b>Dentro dos grupos</b>	1216,721	20	60,83606			
<b>Total</b>	2934,307	23				

Fonte: Próprio autor, (2023)

A ANOVA apresentada na tabela 14 aponta valores F-calculado estimado em 9,4110 e o F-crítico estimado em 3,0983. Com o F-calculado sendo superior ao F-crítico rejeita-se a hipótese de igualdade entre as médias para um nível de significância de 5%. Este resultado aponta os percentuais de reforço do fibroso de tururi têm efeitos distintos na resistência à flexão dos corpos de prova ensaiados. A partir deste resultado foi realizado o teste de TUKEY com nível de segurança de 5%, a fim de realizar a comparação entre as médias, e a partir desta comparação identificar quais composições são responsáveis pelas diferenças nos resultados.

Para realizar o teste de TUKEY, inicialmente foi estimado o valor do d.m.s.: 12,609. De posse deste valor foi possível realizar a correta identificação da composição responsável pela diferença nos resultados. A tabela 15 apresenta o teste de TUKEY.

Tabela 15: Teste TUKEY para os dados obtidos a partir da resistência à flexão.

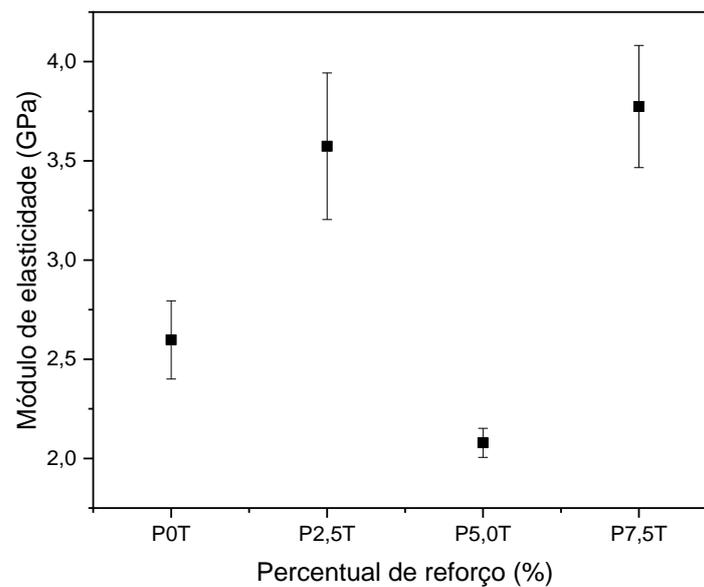
<b>Corpos de prova</b>	<b>P0T</b>	<b>P2,5T</b>	<b>P5,0T</b>	<b>P7,5T</b>
<b>P0T</b>	0,0	<b>17,67148</b>	1,098848	3,736908
<b>P2,5T</b>	<b>17,67148</b>	0,0	<b>18,77033</b>	<b>21,40839</b>
<b>P5,0T</b>	1,098848	<b>18,77033</b>	0,0	2,63806
<b>P7,5T</b>	3,736908	<b>21,40839</b>	2,63806	0,0

Fonte: Próprio autor, (2023)

Ao avaliar o resultado do teste de TUKEY foi possível identificar o nível onde estas diferenças estão ocorrendo, porém constatou-se que todas as composições apresentam diferença entre si. Contudo, é possível afirmar que a composição que mais ocasiona diferença é P2,5%.

A figura 37 apresenta o gráfico referente ao módulo de elasticidade dos corpos de prova ensaiados em flexão.

Figura 37: Gráfico do módulo de elasticidade dos corpos de prova ensaiados em flexão.



Fonte: Próprio autor, (2023)

O gráfico da figura 37 apresenta os valores médios para o módulo de elasticidade de cada composição estudada. É possível notar que duas composições tem seu módulo superior ao módulo exibido pela matriz. Uma terceira composição apresenta seu módulo inferior ao da matriz.

O melhor desempenho foi exibido pela composição P2,5%, semelhante ao comportamento observado no ensaio de tração. Esta melhora na resistência deve-se ao fato do tecido utilizado apresentava uniformidade em suas fibras, o que auxiliou a distribuição das cargas recebidas pela matriz. A composição P7,5% apresentou módulo bem próximo da composição P2,5%, contudo foi a composição que apresentou menor resistência. Isso pode estar associado baixa adesão e a falha no processo de confecção adotado neste trabalho, o que pode ter acarretado a presença de defeitos no interior do compósito.

Em vista dos resultados obtidos, foi realizada a análise de variância a fim de constatar a existência de diferença entre as medias obtidas. A tabela 16 apresenta a ANOVA do módulo de elasticidade.

Tabela 16: ANOVA do módulo de elasticidade dos corpos de prova ensaiados em flexão

<b>Fonte de variação</b>	<b>SQ</b>	<b>GL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>Valor-P</b>	<b>F-crítico</b>
<b>Entre os grupos</b>	15,50756	3	5,169186	9,38608	0,000186	2,946685
<b>Dentro dos grupos</b>	15,42041	28	0,550729			
<b>Total</b>	30,92797	31				

Fonte: Próprio autor, (2023)

A ANOVA apresentada na tabela 16 aponta valores F-calculado estimado em 9,38608 e o F-crítico estimado em 2,946685. Com o F-calculado sendo superior ao F-crítico rejeita-se a hipótese de igualdade entre as médias para um nível de significância de 5%. Este resultado aponta os percentuais de reforço do fibroso de tururi têm efeitos distintos na propriedade do módulo de elasticidade dos corpos de prova ensaiados. A partir deste resultado foi realizado o teste de TUKEY com nível de segurança de 5%, a fim de realizar a comparação entre as médias, e a partir desta comparação identificar quais composições são responsáveis pelas diferenças nos resultados.

Para realizar o teste de TUKEY, inicialmente foi estimado o valor do d.m.s.: 1,0127. De posse deste valor foi possível realizar a correta identificação da composição responsável pela diferença nos resultados. A tabela 17 apresenta o teste de TUKEY

Tabela 17: Teste de TUKEY para os dados obtidos a partir do módulo de elasticidade.

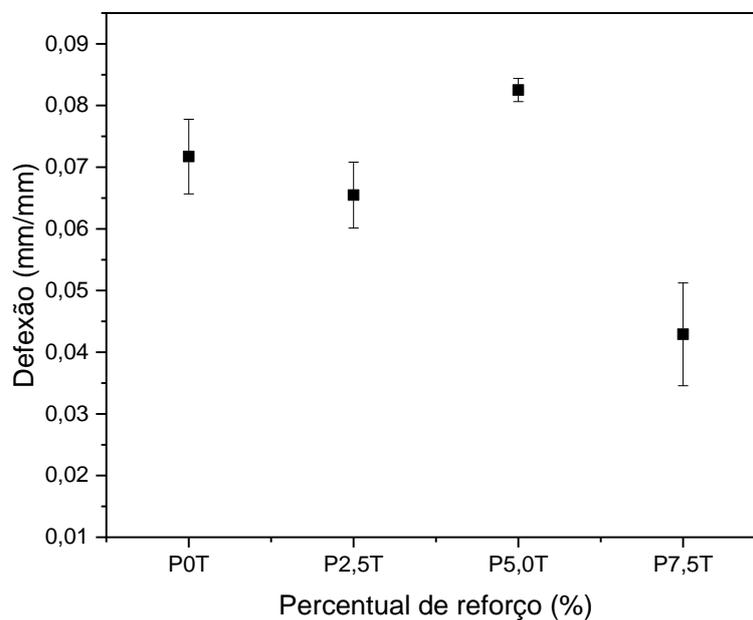
<b>Corpos de prova</b>	<b>P0T</b>	<b>P2,5T</b>	<b>P5,0T</b>	<b>P7,5T</b>
<b>P0T</b>	0,0	0,97625	0,51875	<b>1,17625</b>
<b>P2,5T</b>	0,97625	0,0	<b>1,495</b>	0,2000
<b>P5,0T</b>	0,51875	<b>1,495</b>	0,0	<b>1,695</b>
<b>P7,5T</b>	<b>1,17625</b>	<b>0,2000</b>	<b>1,695</b>	0,0

Fonte: Próprio autor, (2023)

Ao avaliar o resultado do teste de TUKEY foi possível identificar a existência de diferenças entre as médias em todas as composições. Confirmando assim a hipótese de diferença entre as médias, visto que em todas as composições exibidas apresentam um ponto onde o d.m.s. é ultrapassado.

A figura 38 apresenta o gráfico de deflexão obtido a partir dos corpos de prova ensaiados em flexão.

Figura 38: Gráfico de deflexão obtido a partir do ensaio de flexão.



Fonte: Próprio autor, (2023)

A análise do gráfico de deflexão permite observar que a deformação diminuiu em duas composições e aumentou em outras duas. Ao observar o gráfico de módulo de elasticidade é possível observar que as duas composições que apresentaram maior módulo, também, apresentaram menor deformação. Isso se deve ao fato de estas duas propriedades serem inversamente proporcionais. A composição P7,5% apresentou comportamento atípico ao observar os resultados de resistência à flexão e deflexão, este comportamento atípico está associado à ineficácia do processo de fabricação dos corpos de prova, o que afetou diretamente seu comportamento mecânico.

A ANOVA foi realizada para investigar possíveis diferenças entre as médias. A tabela 18 apresenta a esta análise.

Tabela 18: ANOVA dos resultados obtidos a partir dos dados de deflexão.

<b>Fonte de variação</b>	<b>SQ</b>	<b>GL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>Valor-P</b>	<b>F-crítico</b>
<b>Entre os grupos</b>	0,006711	3	0,002237	8,103084	0,000486	2,946685
<b>Dentro dos grupos</b>	0,00773	28	0,000276			
<b>Total</b>	<b>30,92797</b>	<b>31</b>				

Fonte: Próprio autor (2023)

A ANOVA apresentada na tabela 18 aponta valores F-calculado estimado em 8,103484 e o F-crítico estimado em 2,946685. Com o F-calculado sendo superior ao F-crítico rejeita-se a hipótese de igualdade entre as médias para um nível de significância de 5%. Este resultado aponta os percentuais de reforço do fibroso de tururi têm efeitos distintos na propriedade de deformação dos corpos de prova ensaiados. A partir deste resultado foi realizado o teste de TUKEY com nível de segurança de 5%, a fim de realizar a comparação entre as médias, e a partir desta comparação identificar quais composições são responsáveis pelas diferenças nos resultados.

Para realizar o teste de TUKEY, inicialmente foi estimado o valor do d.m.s.: 0,0277. De posse deste valor foi possível realizar a correta identificação da composição responsável pela diferença nos resultados. A tabela 19 apresenta o teste de TUKEY.

Tabela 19: Teste de TUKEY para os dados obtidos a partir da deflexão.

<b>Corpos de prova</b>	<b>P0T</b>	<b>P2,5T</b>	<b>P5,0T</b>	<b>P7,5T</b>
<b>P0T</b>	0,0	0,006237	0,010795	<b>0,028822</b>
<b>P2,5T</b>	0,006237	0,0	0,017032	<b>0,02258</b>
<b>P5,0T</b>	0,010795	0,017032	0,0	<b>0,039616</b>
<b>P7,5T</b>	<b>0,028822</b>	<b>0,22584</b>	<b>0,39616</b>	0,0

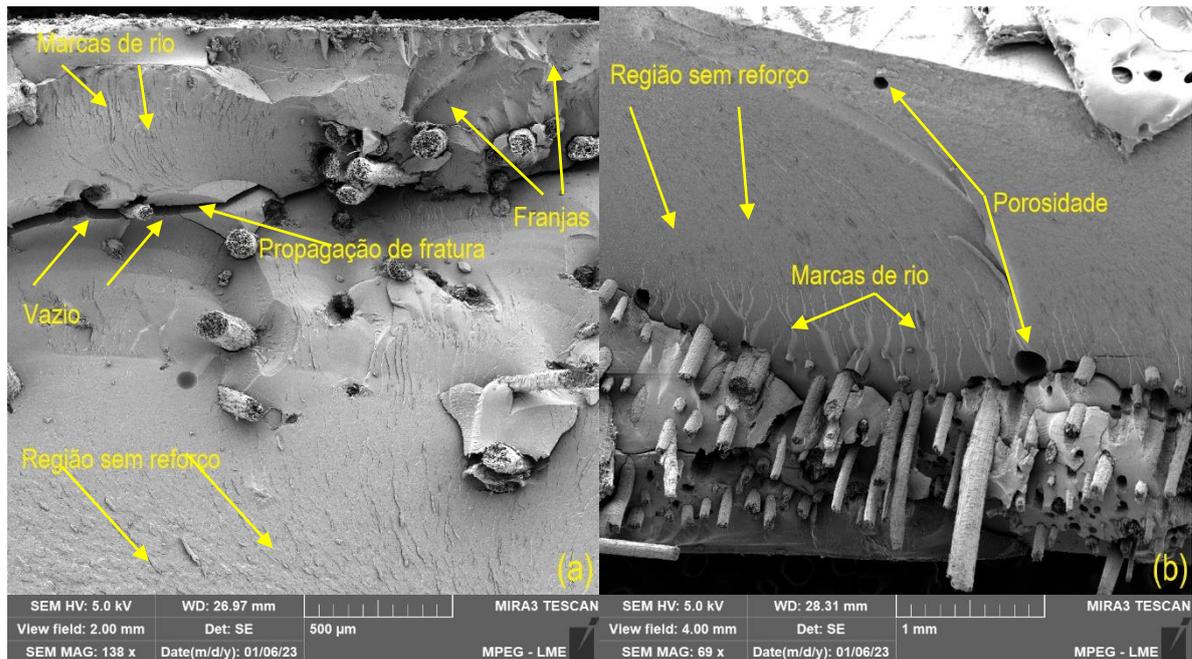
Fonte: Próprio autor (2023)

Ao avaliar a tabela 19 o teste de TUKEY possibilitou constatar que a diferença observada na tabela da análise de variância está localizada apenas na composição P7,5%. As outras composições não apresentam diferenças mínimas significativas entre si.

Ademais, o tecido fibroso de tururi atuou até o percentual de incorporação de 2,5% como agente de reforço para compósitos de matriz poliéster, tendo seu potencial como agente de reforço reduzido a partir do aumento do percentual de tecido.

A figura 39 apresenta uma série de micrografias obtidas por microscopia eletrônica de varredura dos compósitos fraturados em flexão.

Figura 39: Microscopia eletrônica de varredura dos corpos de prova ensaiados em flexão. Em (a) P2,5%T, e em (b) P7,5%T



Fonte: Próprio autor, (2023)

As micrografias apresentadas na figura 39 são referentes aos compósitos P2,5%T e P7,5%T, tendo em vista que as duas outras composições não fraturaram.

Em 39(a) é possível observar regiões de marcas de rio e franjas de fraturas. Por conta da presença destas duas características é possível afirmar que os compósitos sofreram fratura do tipo frágil. Comportamento semelhante foi observado no tipo de fratura que ocorreu nos corpos de prova ensaiados em tração. Ainda em 39(a) é possível observar regiões onde há ausência de reforço, o que pode explicar os resultados obtidos. Por se tratar de um tecido é esperado que a dispersão não ocorra de maneira uniforme, por conta do processo de fabricação utilizado.

Em 39(b) é possível observar regiões de marcas de rio e franjas de fratura, comportamento semelhante ao comportamento mecânico de fratura que ocorreu no corpo de prova apresentado em 39(a). Assim, é correto afirmar que os compósitos fraturaram por meio de fratura frágil. É notada uma região onde ocorre a livre propagação de uma fratura, o que é

um indício de que o tecido não promoveu tenacificação na matriz, permitindo que a fratura destacada se propagasse por todo o corpo de prova.

O baixo desempenho mecânico dos compósitos da composição P7,5% pode ser explicado pela micrografia apresentada em 39(b). Há a presença de concentradores de tensão, representado pela porosidade e região sem reforço. Os dois fatos ocasionaram o baixo desempenho mecânico apresentado pela composição P7,5%.

Simonassia *et al.*, (2017), ao estudar compósitos reforçados com fibra de rami obteve resultados típicos do comportamento apresentados neste trabalho.

Ademais, é possível concluir que a perda de resistência mecânica dos corpos de prova ensaiados em flexão não pode ser associada com o aumento do percentual de tecido. Esse comportamento ineficaz apresentado pelos compósitos pode ser associado ao processo de fabricação, uma vez que o método *Hand lay-up* aplicado na confecção de compósitos reforçados com tecido fibroso de tururi não apresentou resultados satisfatórios.

#### 4.2.3. Ensaio de impacto Charpy

A tabela 20 apresenta os dados acerca das propriedades mecânicas obtidas a partir do ensaio de impacto.

Tabela 20: Propriedade mecânica obtidas no ensaio de impacto charpy.

<b>Composição</b>	<b>Média (J/m)</b>	<b>Aumento da tenacidade (%)</b>
<b>P0T</b>	15,86 ± (1,27)	-
<b>P2,5T</b>	40,13 ± (6,91)	153
<b>P5,0T</b>	53,73 ± (18,05)	239
<b>P7,5T</b>	74,73 ± (8,24)	371

Fonte: Próprio autor, (2023)

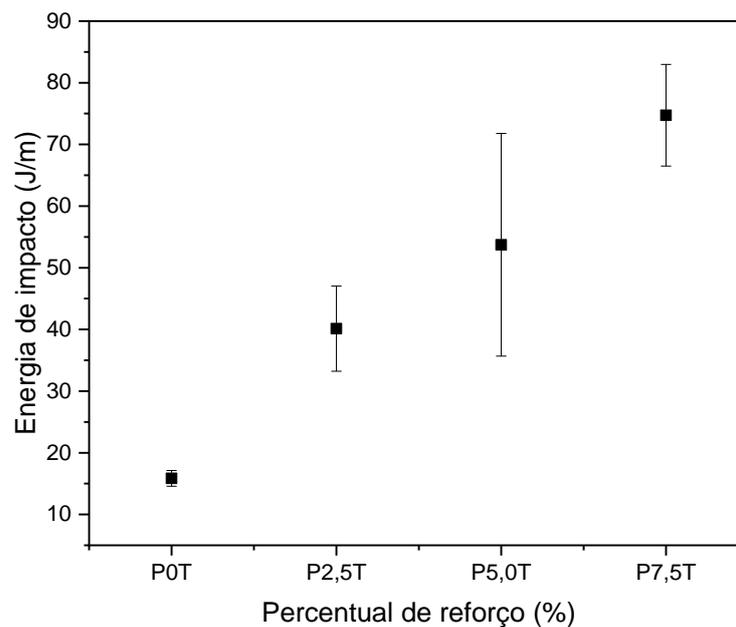
Os compósitos apresentaram um aumento significativo da tenacidade quando comparados à matriz de poliéster puro. Na tabela 20 nota-se que valores para energia aumentam conforme o teor de reforço fibroso é aumentado.

Em Pereira *et al.*, 2017 ao avaliar, entre outras propriedades, a tenacidade em compósitos poliéster reforçados com fibra de fique. Os autores observaram um comportamento

similar ao incorporar teor de 10, 20 e 30% de reforço. Os resultados variaram entre 109 J/m para compósitos com 10% de reforço, até 293 J/m para compósitos com até 30%. Os resultados apresentados reiteram os resultados obtidos neste trabalho, uma vez que ao incorporar 30% de fibra de fique, os autores obtiveram o maior valor de absorção de energia.

A figura 40 apresenta o gráfico de impacto charpy

Figura 40: Gráfico de absorção de energia em impacto Charpy



Fonte: Próprio autor, (2023)

É observado um grande aumento nos valores de absorção de energia conforme o percentual de reforço é aumentado.

Em Candido *et al.*, 2017 o estudo da incorporação de fibra do bagaço de cana-de-açúcar também constatou resultados semelhantes acerca do aumento da absorção de energia nos corpos de prova de acordo com a incorporação de reforço.

Foi observado por Pereira *et al.*, (2019) comportamento similar ao estudar a incorporação de fibra de juta incorporadas em matriz epóxi, os autores relatam que conforme foi aumentado o percentual de reforço a capacidade de absorção de energia foi aumentada.

É possível observar que a capacidade de absorção de energia apresenta constante aumento de acordo com cada composição. Este aumento está diretamente associado à quantidade de reforço que foi inserido na matriz.

No presente trabalho a incorporação de 7,5% de tecido de tururi ocasionou um aumento de resistência para valores próximos de 74 J/m, maior resistência entre as variações estudadas. Ao observar a resposta a impacto que os compósitos de tururi apresentaram tem-se valores médios de 55 J/m.

No trabalho de Pereira *et al.*, 2017 os autores apresentam resultados próximos de 50 J/m com compósitos de matriz epóxi incorporados com até 10% de reforço de fibra de juta. Resultados semelhantes foram obtidos neste trabalho utilizando menores percentuais de reforço, pois nota-se que com a incorporação de 5.0% em peso de reforço este apresentou resistências próximas de 53 J/m.

De posse dos resultados foi realizada a validação dos resultados por meio da análise de variância. A tabela 21 apresenta a análise de variância dos corpos de prova submetidos ao ensaio de impacto Charpy.

Tabela 21: ANOVA dos corpos de prova ensaiados em impacto

<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>GI</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>Valor-P</b>	<b>F crítico</b>
<b>Entre grupos</b>	7311,54296	3	2437,181	21,99876	3,62E-05	3,490295
<b>Dentro dos grupos</b>	1329,44616	12	110,7872			
<b>Total</b>	8640,98912	15				

Fonte: Próprio autor, (2023)

A ANOVA revelou que o F-calculado 21,99 foi superior ao F-crítico 3,49. Este resultado rejeita a hipótese de igualdade entre as composições quando se adota um nível de significância de 5%. Tal fato indica que existe diferença significativa entre os valores de energia de impacto absorvidas. A partir deste resultado é possível afirmar que os compósitos reforçados com tecido de tururi têm comportamentos diferentes quando submetidos ao ensaio de impacto.

Em vista dos resultados da ANOVA, fez-se necessária a realização do teste de TUKEY. Teste este que visa identificar qual composição de reforço fibroso que responsável pela diferença nos resultados.

Para identificar com exatidão a composição responsável pela diferença foi necessário calcular a diferença mínima significativa (d.m.s). O valor encontrado para o d.m.s foi de 44,20.

A tabela 22 apresenta o teste TUKEY, onde estão expostos os valores para as diferenças entre as médias do ensaio de impacto charpy.

Tabela 22: Teste TUKEY obtido a partir dos dados de resistência ao impacto charpy.

<b>Corpos de prova</b>	<b>P0T</b>	<b>P2,5T</b>	<b>P5,0T</b>	<b>P7,5T</b>
<b>P0T</b>	0,0	24,28	37,87	<b>58,86</b>
<b>P2,5T</b>	24,28	0,0	13,59	20,99
<b>P5,0T</b>	37,87	13,59	0,0	34,59
<b>P7,5T</b>	<b>58,86</b>	20,99	34,59	0,0

Fonte: Próprio autor, (2023)

De posse de tais dados foi possível constatar que a diferença se encontra nos compósitos reforçados com 7,5% de tecido fibroso em relação ao corpo de prova de poliéster puro. A composição que apresentou a diferença significativa, também, foi a que apresentou o melhor desempenho quando submetido ao ensaio de impacto charpy. Ademais, as outras composições não apresentam diferenças significativas.

Os melhores resultados, dentre os ensaios mecânicos, foram obtidos no ensaio de resistência ao impacto charpy. O aumento do percentual de reforço propiciou o aumento da absorção de energia pelos compósitos. Os valores para este aumento estão em torno de 370% para a incorporação de 7,5% de reforço. A partir dos resultados mecânicos obtidos neste trabalho, é possível sugerir a aplicação dos compósitos em áreas da construção civil e na indústria automobilísticas.

## 5. CONCLUSÃO

O tecido fibroso de tururi ao ser caracterizado revelou elevado potencial para ser utilizado como reforço.

A massa específica do tecido de tururi foi  $1,17 \text{ g/cm}^3$ . Por se tratar de um tecido, o valor indicar que este pode ser considerado um promissor reforço, pois o valor obtido se equipara com o de outras fibras naturais.

O teor de umidade do tecido ficou em torno de 16%. Quando comparado a valores de outras fibras naturais como fibra de abacá e coco, ele pode ser considerado elevado, mas por se tratar de um tecido o valor está dentro do limite para ser utilizado como reforço.

A gramatura do tecido foi de aproximadamente  $148 \text{ g/m}^2$ , este valor permite a aplicação do tecido em aplicações nobre, como a indústria automobilística.

A difratograma apresentou um padrão típico de um material lignocelulósicos, com picos e planos característicos. O índice de cristalinidade calculado foi de 57,45%, isso revela que o tecido de tururi apresenta elevado índice de cristalinidade.

A análise do FT-IR revelou picos da presença de grupos funcionais, característicos dos constituintes que compõem o tecido de tururi (celulose, hemicelulose e lignina).

O termograma revelou curvas comuns dos materiais lignocelulósicos, ocorrendo perdas de água e degradação dos constituintes que compõem o tecido de tururi. O tecido revelou boa estabilidade térmica, em tornou de  $220 \text{ }^\circ\text{C}$ . Vale ressaltar que a realização do tratamento de mercerização realizado na amostra alterou o percentual de alguns constituintes, essa alteração foi visualizada nas curvas do termograma.

A microscopia óptica e a microscopia eletrônica de varredura revelaram que o tecido de tururi é composto por um emaranhado de fibras de diferentes diâmetros. Notou-se características como regiões de bifurcação de fibras e um elevado grau de entrelaçamento entre as fibras que compõem o tecido. Essas características tornam o tecido fibroso de tururi promissor para ser utilizado como reforço para compósitos.

A caracterização mecânica revelou que ao serem solicitados e tração os compósitos com 2,5% de reforço apresentaram melhor desempenho mecânico, alcançando 30 MPa e 0,97 de resistência à tração e módulo de elasticidade, respectivamente. Para o ensaio de flexão, os compósitos com 2,5% de reforço apresentaram melhor desempenho, com 63,9 MPa e 3,57 GPa para a resistência à flexão e módulo de elasticidade, respectivamente. A microscopia eletrônica de superfície revelou que a resistência mecânica pode ter sido afetada por conta da presença de

imperfeições na microestrutura dos compósitos, como: porosidade e bolhas, oriundas da etapa de fabricação.

Ao serem solicitados em impacto charpy, todas as composições apresentaram valores de tenacidade superiores à matriz. A melhor composição foi a P7,5T%T alcançando um aumento de capacidade de absorção de energia em torno de 371% em relação à matriz. Constatou-se que a capacidade de absorção de energia aumenta conforme ocorre a incorporação de reforço fibroso.

A ocorrência da discrepância entre os resultados dos ensaios de tração, flexão e impacto pode ser justificada pelo comportamento que o tecido de tururi apresenta. O tecido apresenta um comportamento ortotrópico. Ao longo da extensão do tecido, são encontradas fibras orientadas em diferentes direções. Foi possível verificar o comportamento ortotrópico através das micrografias apresentadas na seção de resultados e discussões. Esta característica esta que inferiu diretamente no comportamento mecânico apresentado pelos corpos de prova ao serem solicitados em diferentes ensaios.

Ademais, os resultados obtidos são sugestivos para aplicação do material compósito produzido nesta pesquisa na indústria da construção civil, e na indústria automobilística, por apresentarem bom desempenho quando solicitados em flexão e impacto tipo charpy.

## 6. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Fundamentado pelos resultados obtidos neste trabalho algumas sugestões se fazem cabíveis:

- A fabricação de compósitos reforçados com tecido de tururi utilizando outra matriz polimérica;
- Produzir compósitos poliméricos reforçados com tecido de tururi utilizando outros percentuais de reforço;
- Confeccionar compósitos poliméricos reforçados com tecido de tururi através do método de infusão a vácuo e/ou prensagem;
- A realização de um tratamento na superfície do tecido, a fim de remover impurezas e matéria orgânica.

## 7. ANEXOS

Nesta seção serão apresentadas as comprovações de trabalhos oriundos desta pesquisa, e o pedido de patente realizado ao Instituto Nacional da Propriedade Intelectual (INPI).

Publicação no 75º congresso da Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração:

**Título** **CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DA FIBRA DE TURURI PARA AVALIAR SEU POTENCIAL USO COMO REFORÇO DE MATRIZ POLIMÉRICA**  
*MORPHOLOGICAL CHARACTERIZATION OF TURURI FIBER TO EVALUATE ITS POTENTIAL USE AS REINFORCEMENT IN POLYMERIC MATRIX COMPOSITE*

**Autoria** Santos, Avenir Gleidson Andrade; Matos, Taiana de Sousa; Nascimento, Damares da Cruz Barbosa; Monteiro, Sérgio Neves; Silva, Alisson Clay Rios da; Candido, Verônica Scarpini

 Santos, Avenir Gleidson Andrade 88 Artigos, Baixados 14088 Vezes	 Matos, Taiana de Sousa <a href="#">Eu sou esse autor</a>	 Nascimento, Damares da Cruz Barbosa <a href="#">Eu sou esse autor</a>	 Monteiro, Sérgio Neves <a href="#">Eu sou esse autor</a>
 Silva, Alisson Clay Rios da <a href="#">Eu sou esse autor</a>	 Candido, Verônica Scarpini <a href="#">Eu sou esse autor</a>		

**DOI** 10.5151/2594-5327-34973

Apresentação de trabalho “I Simpósio de Ciência e Engenharia de Materiais na Amazônia”:

**I SIMPÓSIO NACIONAL EM CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS NA AMAZÔNIA**

*Os caminhos da pesquisa na Amazônia*

**Avenir Gleidson Andrade Santos**

Apresentou o trabalho "CARACTERIZAÇÃO DO TECIDIO FIBROSO DE TURURI E AVALIAÇÃO DO SEU POTENCIAL USO COMO REFORÇO EM COMPÓSITOS DE MATRIZ POLIMÉRICA", durante o I Simpósio Nacional em Ciência e Engenharia de Materiais na Amazônia, realizado nos dias 3 e 4 de novembro de 2022 (Pará, Brasil).

*Verônica Scarpini Candido*  
**Prof<sup>a</sup>. Dra. Verônica Scarpini Candido**  
 Coordenadora

**PROPESP**  
 Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação | UFPA




Pedido de patente ao Instituto Nacional de Propriedade Intelectual:



21/12/2021 870210119093  
15:34  
29409161944085784

**Pedido nacional de Invenção, Modelo de Utilidade, Certificado de Adição de Invenção e entrada na fase nacional do PCT**

Número do Processo: BR 10 2021 025966 3

**Dados do Depositante (71)**

**Depositante 1 de 1**

**Nome ou Razão Social:** ARTUR CAMPOSO PEREIRA

**Tipo de Pessoa:** Pessoa Física

**CPF/CNPJ:** 12079226762

**Nacionalidade:** Brasileira

**Qualificação Física:** Pesquisador

**Endereço:** Rua Sylvio da Rocha Poliss

**Cidade:** Rio de Janeiro

**Estado:** RJ

**CEP:** 22793395

**País:** Brasil

**Telefone:** 2238643195

**Fax:**

**Email:** camposo.artur@gmail.com

**Nome:** AVENER GLEIDSON ANDRADE SANTOS

**CPF:** 02244939227

**Nacionalidade:** Brasileira

**Qualificação Física:** Pesquisador

**Endereço:** Conjunto Jardim Jader Barbalho, quadra: 05, n° 20, bairro: Aurá

**Cidade:** Ananindeua

**Estado:** PA

**CEP:** 67033-855

**País:** BRASIL

**Telefone:** (91) 987 344319

**Fax:**

**Email:** avener.santos@ananindeua.ufpa.br

**Dados do Pedido**

**Natureza Patente:** 10 - Patente de Invenção (PI)

**Título da Invenção ou Modelo de Utilidade (54):** PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE PLACAS PLANAS DE COMPOSITO DE RESINA EPÓXI REFORÇADA COM FIBRA DE TURURI EM TEMPERATURA AMBIENTE COM ALTA PRESSÃO

**Resumo:** A presente invenção descreve um processo de fabricação de placa plana de um material compósito obtido por reforço fibra de tururi dentro de matriz polimérica de epóxi. Este compósito tem características adequadas para aplicação de placas estruturais utilizadas nas diversas áreas de engenharia. A presente invenção revela também o processo para a fabricação do material que caracterizado por ser de temperatura ambiente e de alta pressão. A aplicação de materiais específicos na indústria aeronáutica, automobilística e naval vem sendo ao longo do tempo amplamente desenvolvida. No que se refere a novos materiais, o principal objetivo da indústria é a necessidade de incrementar a resistência mecânica e reduzir a densidade, tomando-os cada vez mais leves para aplicações que podem variar desde peças estruturais, até isolantes térmicos, acústicos e acabamentos internos.

## 8. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

ADHIKARI, R.K.; KEETHI, G.B.S. **Exploration of Mechanical Properties of banana/jute Hybrid Polyester Composite**. *Materials Today: Proceedings* 4 (2017) 7171–7176p.

AISYAH, H.A.; PARIDAH, M.T.; SAPUAN, B.C. *et al.* **Uma Revisão Abrangente em Tecido Sustentável Avançado Compósitos de polímeros de fibra natural**. *Polímeros* 2021, 13, 471. <https://doi.org/10.3390/polym13030471>

ANISH K.; VIJAY, R.; SINGARAVELU, D.L. *et al.* **Extraction and Characterization of Natural Fiber from *Eleusine Indica* Grass as Reinforcement of Sustainable fiber-Reinforced Polymer Composites**, *Journal of Natural Fibers*, DOI: 10.1080/15440478.2019.1697993 (2019)

ANISH K.; VIJAY, R.; SINGARAVELU, D.L. *et al.* **Characterization of Natural Fibers from *Cortaderia Selloana* Grass (Pampas) as Reinforcement Material for the Production of the Composites**, *Journal of Natural Fibers*, DOI: 10.1080/15440478.2019.1709110 (2020)

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS, D 1348 **Standard Test Methods for Moisture in Cellulose**. ASTM, Pennsylvania, 2008

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS, D 3776 **Standard Test Method for Mass Per Unit Area (Weight) of Fabric**. ASTM, Pennsylvania, 2002

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS, D 6110 **Standard Test Method for Determining the Charpy Impact Resistance of Notched Specimens of Plastics**. ASTM, Pennsylvania, 2010

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS, D 570 **Standard Test Method for Water Absorption of Plastics**. ASTM, Pennsylvania, 2018

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. D 638 – **Standard Test Method**

**for Tensile Properties of Plastics.** Pennsylvania: ASTM, 2010

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS, D 790 – **Standard Test Method for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating.** ASTM, Pennsylvania: 2017.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS, D 792 – **Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement.** ASTM, Pennsylvania, 2020

ARUL, M.; SASIKUMAR, K.S.K.; SAMBATHKUMAR, M. *et al.* **Mechanical and fracture study of hybrid natural fiber reinforced composite – Coir and sugarcane leaf sheath,** Materials Today: Proceedings, Volume 33, Part 7, 2020, Pages 2795-2797, ISSN 2214-7853, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.677>

BALACHANDAR M.; VIJAY, A.R.; BHARATH S. **Mechanical Characterization of Natural Fiber Polymer Composites.** Materials Today: Proceedings Processos 16 (2019) 1006-1012

BAHAR TIBER.; BALCIOGLU H.E. **Flexural and Fracture Behavior of Natural Fiber Knitted Fabric Reinforced Composites.** POLIM. COMPOS., 40: 217–228, 2019. 00:000–000, 2017.

BALLA, V.K.; KATE K.H.; SATYAVOLU, J. **Additive manufacturing of natural fiber reinforced polymer composites:** Processing and prospects. Composites Part B 174 (2019) 106956

CAPES PERIÓDICOS. Disponível em: <https://www-periodicos-capes-gov-br.ez1.periodicos.capes.gov.br/> Acessado dia 15 de dezembro de 2022.

CAVALCANTI, D.K.K.; BANEJA, M.D.; NETO, J.S.S. **Comparative analysis of the mechanical and thermal properties of polyester and epoxy natural fibre-reinforced**

**hybrid composites.** Journal of Composite Materials 2021, Vol. 55(12) 1683-1692. DOI: 10.1177/0021998320976811

CANDIDO V.S.; SILVA A.C.R.; SIMONASSI N.T. *et al.* **Toughness of polyester matrix composites by Charpy impact tests reinforced with sugarcane bagasse fibers evaluated.** Journal of Materials Research and Technology. 2017; 6(4):334–338.

CHENG C.; YANCAI Y.; YINGWU Z. **Comparative analysis of natural fiber reinforced polymer and carbon fiber reinforced polymer in strengthening of reinforced concrete beams.** Journal of Cleaner Production 263 (2020) 121572.

DALMIS R.; KILIC G. B.; SEKI, Y. *et al* **Characterization of a novel natural cellulosic fiber extracted from the stem of Chrysanthemum morifolium.** Cellulose (2020) 27:8621–8634 <https://doi.org/10.1007/s10570-020-03385-2>.

DEMÓSTENES L.C.C.; NASCIMENTO L.F.C.; MONTEIRO S.N. *et al.* **Thermal and structural characterization of buriti fibers and their relevance in the fabric.** reinforced composites. Journal of Materials Research and Technology. 2020; 9(1):115–12

DE LA ROSA, P.; GONZÁLEZ, M.D.L.N.; PRIETO, M.I.; *et al.*, **Compressive Behavior of Pieces of Wood Reinforced with Fabrics Composed of Carbon Fiber and Basalt Fiber.** *Appl. Sci.* **2021**, *11*, 2460. <https://doi.org/10.3390/app11062460>

DHIBAR B.; SINGH S.V.; ANWAR S. *et al.* **Sugarcane Bagasse Reinforced Polyester Composites.** *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. Volume: 05 Edição: 05 | Maio-2018.

DING L.; HAN X.; LI, H. *et al.* **Characterization of novel natural fiber from manau rattan (Calamus manan) as a potential reinforcement for polymer-based composites,** 10 May 2021, PREPRINT (Version 1) available at Research Square [<https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-463693/v1>].

DIPEN, K.R.; DURGESH, D.P.; RAVINDER, K. **Recent progress of reinforcement materials: a comprehensive overview of composite materials.** Journal of Materials Research and Technology, Volume 8, Issue 6, 2019, Pages 6354-6374, ISSN 2238-7854, <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.09.068>.

EGALA, R.; JAGADEESH, G.V.; SETTI, S.G. **Experimental investigation and prediction of tribological behavior of unidirectional short castor oil fiber reinforced epoxy composites.** *Friction* **9**, 250–272 (2021). <https://doi.org/10.1007/s40544-019-0332>

FERREIRA, J.A.; JUNIOR, A.I.O.; SOUZA, J.R.P. **Comparison of Mechanical Resistances of Composite Polyester Resin/ Coconut Fiber and Brazilian Woods Of Structural Uses.** ENGEVISTA, V. 19, n.5, p. 1364-1375, dezembro 2017.

<HTTP://fuchicbrasil.blogspot.com/2014/02/tururi-um-tecido-natural.html>. **Acessado em 03 de janeiro, 2023**

**FLORA DO BRASIL.** Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/listaBrasil>. **Acessado em 03 de Jan, 2023.**

GEDIK, G. **Extraction of new natural cellulosic fiber from *Trachelospermum jasminoides* (star jasmine) and its characterization for textile and composite uses.** *Cellulose* **28**, 6899–6915 (2021). <https://doi.org/10.1007/s10570-021-03952-1>

GIRALDELLI, M.P.; PEREIRA, O.A.; SANTOS, S.F dos.; BRASIL, M.A *et al.* **Propriedades da fibra de coco: Uma revisão sistemática.** UNICIÊNCIA, volume 25, nº: 01, 2021 ISSN: 1415-5141. <https://doi.org/10.17921/1415-5141.2020v24n1p34-38>

HOSSAIN, M.D.S.; MOBARAK, M.B.; RONY, F.K. *et al.* **Fabrication and Characterization of Banana Fiber Reinforced Unsaturated Polyester Resin Based Composites.** NHC 29, 84–92. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/nhc.29.84> (2020)

<https://indexindetalhe.files.wordpress.com/2011/06/uburu.jpg?w=225&h=300>. **Acessado em 03 de janeiro, 2023.**

KHALID, M.Y.; RASHID A.A.; ARIF, Z.U. *et al.* **Natural fiber reinforced composites: Sustainable materials for emerging applications**, Results in Engineering, Volume 11, 2021, 100263, ISSN 2590-1230, <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2021.100263>.

KOODALINGAM, B.; SENTHILKUMAR, P.; BABU S.R. **Study of mechanical properties of the polymer matrix composite materials using pistachio shells**. Materials Today: Proceedings, Volume 33, Part 7, 2020, Pages 2912-2916, ISSN 2214-7853, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.876>.

KOTIK, H.G. **Fibras naturais e compósitos reforçados com fibras naturais: a motivação para sua pesquisa e desenvolvimento**. Matéria (Rio de Janeiro) [online]. 2019, v. 24, n. 3 [Acessado 2 janeiro 2023], e12477. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1517-707620190003.0801>>. Epub 26 Ago 2019.

KUMAR, S.S. **Effect of Natural Fiber Loading on Mechanical Properties and Thermal Characteristics of Hybrid Polyester Composites for Industrial and Construction Fields**. *Fibras Polym* **21**, 1508–1514 (2020). <https://doi.org/10.1007/s12221-020-9853-4>

KUMAR, S.; PRASAD, L.; PATEL, V.K. *et al.* **Physical and Mechanical Properties of Natural Leaf Fiber-Reinforced Epoxy Polyester Composites**. *Polymers* **2021**, *13*, 1369. <https://doi.org/10.3390/polym13091369>

LAKSONO, A.D.; ISMAL, I.; NINGRUM, C.R. **Studi Pengaruh Komposisi Pengisi Serat Alam Kayu Galam (Melalucea Leucadendra) Bentuk Serutan pada Sifat Mekanik e Mikrostruktur Komposit Poliester Sebagai Material Untuk Aplikasi Bilah Kincir Angin**. JurnalSaintis, Volume 19 Num. 01, April 2019:9, 14, DOI: 10.25299/saintis.2019.vol19(1).2629

LOPES, B.L.S. **Polímeros reforçados por fibras vegetais – um resumo sobre esses compósitos**. ISBN: 9788580392920. EBOOK 1ª edição 44p. 2017.

MADHU, P.; SANJAY, M.R.; SENTHAMARAIKANNAN, P. *et al.* **Effect of Various Chemical Treatments of *Prosopis juliflora* Fibers as Composite Reinforcement:**

**Physicochemical, Thermal, Mechanical, and Morphological Properties.** Journal of Natural Fibers 2020, 17:6, 833-844, DOI: [10.1080/15440478.2018.1534191](https://doi.org/10.1080/15440478.2018.1534191)

MAHESHWARAN, M.V.; HYNES, N.; RAJESH, J. *et al.* **Characterization of natural cellulosic fiber from *Epipremnum aureum* stem.** Journal of Natural Fibers 2017, DOI: [10.1080/15440478.2017.1364205](https://doi.org/10.1080/15440478.2017.1364205).

MANNAI, F.; ELHLELI, H.; DUFRESNE, A. *et al.* ***Opuntia* (Cactaceae) Fibrous Network-reinforced Composites: Thermal, Viscoelastic, Interfacial Adhesion and Biodegradation Behavior.** *Fibers Polym* **21**, 2353–2363 (2020). <https://doi.org/10.1007/s12221-020-9675-4>

MANIMARAN, P.; SENTHAMARAIKANNAN, P.; SANJAY, M.R. *et al.* **Study on characterization of *Furcraea foetida* new natural fiber as composite reinforcement for lightweight applications,** Carbohydrate Polymers, Volume 181, 2018, Pages 650-658, ISSN 0144-8617, <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.11.099>.

MELO, E.C.R.d; CAMILO, Md.O.; MARCELINO, R.P.C. *et al.*, **Influência do Tratamento de Silanização de Fibras de Cabaça Esponja ( *Luffa cylindrica* ) no Reforço de Compósitos de Poliéster: Um Breve Relato.** *Polímeros* **2022** , *14* , 3311. <https://doi.org/10.3390/polym14163311>.

MEKONNEN, B.Y.; MANO, Y.J. **Tensile and Flexural Analysis of a Hybrid Bamboo/Jute Fiber-reinforced Composite with Polyester Matrix as a Sustainable Green Material for Wind Turbine Blades.** International Journal of Engineering (IJE), IJE TRANSACTIONS B: Applications Vol. 33, No. 2, (February 2020) 314-319.

MONTEIRO, S.N.; DRELICH J.W.; LOPERA H.A.C. *et al.* **Natural Fibers Reinforced Polymer Composites Applied in Ballistic Multilayered Armor for Personal Protection—An Overview.** In: Ikhmayies, S., Li, J., Vieira, C., Margem (Deceased), J., de Oliveira Braga, F. (eds) Green Materials Engineering. The Minerals, Metals & Materials Series. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-10383-5\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-030-10383-5_4). (2019)

MONTEIRO, A.S.; DANTAS, D.; YOJO, T. **Preparation of Amazonian Palm Tree Fiber (*Manicaria saccifera* Gaertn.) for Composite Materials.** U.Porto Journal of Engineering, 7:2 (2021) 31-36 ISSN 2183-6493 DOI: 10.24840/2183-6493\_007.002\_0005.

NAYAK, S.Y.; SULTAN M.T.H.; SHENOY, S.B. *et al.* **Potential of Natural Fibers in Composites for Ballistic Applications – A Review,** Journal of Natural Fibers, 2022, 19:5, 1648-1658, DOI: [10.1080/15440478.2020.1787919](https://doi.org/10.1080/15440478.2020.1787919)

NAQVI, S.Z.; RAMKUMAR, J.; KAR, K. - **Fly ash-reinforced polyester composites,** Editor(s): Kamal K. Kar, Handbook of Fly Ash, Butterworth-Heinemann, 2022, Pages 357-372, ISBN 9780128176863, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817686-3.00015-3>.

NEVES, A.C.C.; ROHEN L.A.; MANTOVANI D.P. *et al.* **Comparative mechanical properties between biocomposites of Epoxy and polyester matrices reinforced by hemp fiber,** Journal of Materials Research and Technology, Volume 9, Issue 2, 2020, Pages 1296-1304, ISSN 2238-7854, <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.11.056>.

OLIVEIRA, A.K.F.; D'ALMEIDA, J.R.M. **Characterization of Ubuçu (*Manicaria saccifera*) Natural Fiber Mat.** Polymers from Renewable Resources, Smithers Information Ltd., 2014 Vol. 5, No. 1, 2014.

OLIVEIRA, J.R.; KOTZEBUE, L.R.V.; FREITAS, D.B. *et al.* **Towards novel high-performance bio-composites: Polybenzoxazine-based matrix reinforced with *Manicaria saccifera* fabrics,** Composites Part B: Engineering, Volume 194, 2020, 108060, ISSN 1359-8368, <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2020.108060>.

OUARHIM, W.; ZARI N.; BOUHFID, R. *et al.* **Mechanical performance of natural fibers-based thermosetting composites,** Editor(s): Mohammad Jawaid, Mohamed Thariq, Naheed Saba, In Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering, Mechanical and Physical Testing of Biocomposites, Fibre-Reinforced Composites and Hybrid Composites, Woodhead Publishing, 2019, Pages 43-60, ISBN 9780081022924, <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102292-4.00003-5>

PAULA, E. A. DE O.; MENDES, R. B. A.; COSTA, C. Y. M. **Mechanical Characterization Of A Polyester Matrix Composite Reinforced With Natural Fibers From *Luffa Cylindrica* Hoen.** *Nativa*, 9(5), 558-562. (2021). <https://doi.org/10.31413/nativa.v9i5.12830>

PATEL, U.; RAY, R.; MOHAPATRA, A. *et al.* **Effect of Different Chemical Treatments on Surface Morphology, Thermal and Traction Strength of *Bauhinia Vahlii* (BV) Stem Fibers**, *Journal of Natural Fibers*, DOI:10.1080/15440478.2020.1739591

PEREIRA, A.C.; MONTEIRO, S.N.; ASSIS, F.S. **Charpy Toughness Behavior of Figue Fabric Reinforced Polyester Matrix Composites.** *The Minerals, Metals & Materials Society 2017 S. Ikhmayies et al. (eds.), Characterization of Minerals, Metals, and Materials 2017, The Minerals, Metals & Materials Series*, DOI 10.1007/978-3-319-51382-9\_1

PEREIRA, A. C.; ASSIS, F., de S.; FILHO, F. C. G. **Evaluation of the Projectile's loss of Energy in Polyester Composite Reinforced with Figue Fiber and Fabric.** *Mat. Res.* 22 (supl 1) 2019, <https://doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2019-0146>

PEREIRA, W.A.; CERON, I.; SILVA, M.S. *et al.* **Development of polymeric composites reinforced with buriti leaf fiber**, *revista Matéria*, v.26, n.1, ISSN 1517-7076 artigos e12932, 2021.

PINHEIRO, M. A.; GOMES, L. G.; SILVA, A. C. R. DA. *et al.* **Guaruman: a Natural Amazonian Fiber with Potential for Polymer Composite Reinforcement**, *Materials Research*. 2019; 22(suppl.1): e20190092, DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2019-0092>.

PONCE-MEDINA, M. E.; SÁNCHEZ-VALDÉS, S.; MARTIN, M. E. Á. *et al.* **Composites of polypropylene/Candelilla fiber (*Euphorbia antisiphilitica*): Synergic of wax-polypropylene grafted Maleic anhydride**, *Cogent Engineering*, 2018, 5:1, DOI:[10.1080/23311916.2018.1526861](https://doi.org/10.1080/23311916.2018.1526861)

PORRAS, A.; MARANON, A.; ASHCROFT, I.A. **Characterization of a novel natural cellulose fabric from *Manicaria saccifera* palm as possible reinforcement of composite**

**materials**, Composites Part B: Engineering, Volume 74, 2015, Pages 66-73, ISSN 1359-8368, <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2014.12.033>

PORRAS, A.; MARANON, A.; ASHCROFT, I.A **Thermo-mechanical characterization of Manicaria Saccifera natural fabric reinforced poly-lactic acid composite lamina**, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, Volume 81, 2016, Pages 105-110, ISSN 1359-835X, <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2015.11.008>

PRASAD, L.; SINGH, V.; PATEL, R. V. *et al.* **Physical and Mechanical Properties of Rambans (Agave) Fiber Reinforced with Polyester Composite Materials 2021**, Journal of Natural Fibers, DOI: 10.1080/15440478.2021.1904481

PRASAD, L.; KUMAIN A.; PATEL R.V. *et al.* (2020): **Physical and Mechanical Behavior of Hemp and Nettle Fiber-Reinforced Polyester Resin-based Hybrid Composites**, Journal of Natural Fibers, DOI: 10.1080/15440478.2020.1821284

RAJESH, M.; SINGH, S.P.; PITCHAIMANI, J. **Mechanical behavior of woven natural fiber fabric composites: Effect of weaving architecture, intra-ply hybridization and stacking sequence of fabrics.** Journal of Industrial Textiles. 2018;47(5):938-959. doi:10.1177/1528083716679157

REDDY, M. I.; KUMAR, M. A.; RAJU, CH. *et al.* **Tensile and Flexural properties of Jute, Pineapple leaf and Glass Fiber Reinforced Polymer Matrix Hybrid Composites**, Materials Today: Proceedings, Volume 5, Issue 1, Part 1, 2018, Pages 458-462, ISSN 2214-7853, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.11.105>

REIS, R.H.M.; CÂNDIDO, V.S.; NUNES, L.F. *et al.* **Chemical and Morphological Characterization of Guaruman Fiber.** Green Materials Engineering. (2019). Série Minerais, Metais e Materiais. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-10383-5\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-030-10383-5_12)

RIBEIRO, M.P.; NEUBA, L.M.; SILVEIRA, P.H.P.M. *et al.* **Mechanical, thermal and ballistic performance of epoxy composites reinforced with Cannabis sativa hemp fabric**, Journal of Materials Research and Technology, Volume 12, 2021, Pages 221-233, ISSN 2238-7854, <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.02.064>

RIBEIRO, M.M.; PINHEIRO, M.A.; RODRIGUES, J.D.S. *et al.* **Comparison of Young's Modulus of Continuous and Aligned Lignocellulosic Jute and Mallow Fibers Reinforced Polyester Composites Determined Both Experimentally and from Theoretical Prediction Models.** *Polymers* **2022**, *14*, 401. <https://doi.org/10.3390/polym14030401>

SALEEM, A.; MEDINA, L.; SKRIFVARIS, M. **Improvement of Performance Profile of Acrylic Based Polyester Bio-Composites by Bast/Basalt Fibers Hybridization for Automotive Applications.** *J. Compos. Sci.* **2021**, *5*, 100. DOI:10.3390/jcs5040100

SARIKAYA, E.; ÇALLIOĞLU, H.; DEMIREL, H. **Production of epoxy composites reinforced by different natural fibers and their mechanical properties,** *Composites Part B: Engineering*, Volume 167, 2019, Pages 461-466, ISSN 1359-8368, <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.03.020>

SELVAN, M.T.G.A.; BINOJ, J.S.; MOSES, J.T.E.J. *et al.* **Extraction and characterization of natural cellulosic fiber from fragrant screw pine prop roots as potential reinforcement for polymer composites,** *Polymer Composites.* 2022; 43:320–329. DOI: 10.1002/pc.26376

SELVARAJ R.; MANEENGAM A., SATHIYAMOORTHY M. **Characterization of mechanical and dynamic properties of natural fiber reinforced laminated composite multiple-core sandwich plates,** *Composite Structures*, Volume 284, 2022, 115141, ISSN 0263-8223, <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2021.115141>

SEYAM, A.M.; MONTEIRO, A.S.; MIDANI, M. *et al.* **Effect of structural parameters on the tensile properties of multilayer 3D composites from Tururi palm tree (*Manicaria saccifera* Gaertn) fibrous material,** *Composites Part B: Engineering*, Volume 111, 2017, Pages 17-26, ISSN 1359-8368, <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.11.040>

SHEEDEV, A.; CHEROUAT, A.; MONTAY, G. **Experimental Investigation of the Temperature Effect on the Mechanical Properties of Hemp Woven Fabrics Reinforced Polymer.** *Appl. Mech.* **2021**, *2*, 239-256. <https://doi.org/10.3390/applmech2020015>

SETHURAMAN, B.; SUBRAMANI, S. P.; PALANIAPPAN, S. K. **Experimental investigation on dynamic mechanical and thermal characteristics of *Coccinia indica* fiber reinforced polyester composites.** Journal of Engineered Fibers and Fabrics. 2020;15. doi:10.1177/1558925020905831

SETTY, V.K.S.N.; GOUD, G.; CHIKKEGOWDA, S.P. *et al.* **Characterization of Chemically Treated *Limonia Acidissima* (Wood Apple) Shell Powder: Physicochemical, Thermal, and Morphological Properties,** Journal of Natural Fibers, 2020, 19:11, 4093-4104, DOI: [10.1080/15440478.2020.1853925](https://doi.org/10.1080/15440478.2020.1853925)

SIMONASSIA, N.T.; PEREIRA A.C.; MONTEIRO. S.N. *et al.* **Reinforcement of Polyester with Renewable Ramie Fibers.** Articles Materials research, 20 (Suppl 2) 2017. <https://doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2016-1046>

SOUNDARRAJAN K.; KAUSHIK N.; SHANTHI C. *et al.* **Unravelling the Tribological Behaviour of Mercerized Coconut Inflorescence Fiber Fortified Unsaturated Polyester Composites.** Materials and Technology 2022; 56 (3): 271–277. Disponível em: <https://mater-tehnol.si/index.php/MatTech/article/view/410>

SUBRATA, C. DAS.; DEBASREE, P.; SOTIRIOS, A.I. *et al.* **Effect of stacking sequence on the performance of hybrid natural/synthetic fiber reinforced polymer composite laminates,** Composite Structures, Volume 276, 2021, 114525, ISSN 0263-8223, <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2021.114525>

TABORDA-RIOS, J.A.; CANAS-MENDOZA, L.A.; TRISTANCHO-REYES, J.L. **Comparative study of the mechanical properties of the polyester resin reinforced with bamboo fiber as the substitute material fiberglass.** *Dyna rev.fac.nac.minas* [online]. 2017, vol.84, n.202, pp.35-41. ISSN 0012-7353. <https://doi.org/10.15446/dyna.v84n202.57334>

TALREJA R.; WAAS, A.M. **Concepts and definitions related to mechanical behavior of fiber reinforced composite materials,** Composites Science and Technology, Volume 217, 2022, 109081, ISSN 0266-3538, <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2021.109081>

TAMANNA, T.A.; BELAL, S.A.; SHIBLY, M.A.H. *et al.* **Characterization of a new natural fiber extracted from *Corypha taliera* fruit.** *Sci Rep* 11, 7622 (2021).  
<https://doi.org/10.1038/s41598-021-87128-8>

TAUANOV, Z.; ZAKIRULY, O.; BAIMENOVA, Z. *et al.* **Antimicrobial Properties of the Triclosan-Loaded Polymeric Composite Based on Unsaturated Polyester Resin: Synthesis, Characterization and Activity.** *Polymers* 2022, 14, 676.  
<https://doi.org/10.3390/polym14040676>

TAVARES, F.F.C.; ALMEIDA, M.D.C.; SILVA, J.A.P. **Thermal treatment of açai (*Euterpe oleracea*) fiber for composite reinforcement.** *Polímeros* 30 (1), ISSN 1678-5169 (online) 2020,  
 Doi: <https://doi.org/10.1590/0104-1428.09819>

ULLAH, I.; WASIF, M.; TUFAIL, M. *et al.* **Experimental Investigation of Cutting Parameters Effects on the Surface Roughness and Tools Wear during the Drilling of Fiber Reinforced Composite Materials.** *Mehran University Research Journal of Engineering and Technology*, [S.l.], v. 38, n. 3, p. 717-728, july 2019. ISSN 2413-7219.

VIJAY, R.; SINGARAVELU, D. L.; VINOD, A. *et al.* **Characterization of Novel Natural Fiber from Saccharum Bengalense Grass (Sarkanda),** *Journal of Natural Fibers*. 2019,  
[doi.org/10.1080/15440478.2019.1598914](https://doi.org/10.1080/15440478.2019.1598914)

WANG, B.; HUANG, S.; YAN, L. **Natural/Synthetic Fiber-Reinforced Bioepoxy Composites** Book Editor(s):Jyotishkumar Parameswaranpillai, Sanjay Rangappa, Suchart Siengchin, Seno Jose First published: 01 February 2021, Doi:  
<https://doi.org/10.1002/9783527823604.ch2>

YEN, B.S.; MUHAMAD, M.; MOHAMED, S.B. *et al.* **Effect of Alkaline Treatment on Structural Characterisation, Thermal Degradation and Absorption Ability of Coir Fibre Polymer Composite.** *Sains Malaysiana* 48 (3) (2019) 653-659. Doi:  
<https://dx.doi.org/10.17576/jsm-2019-4803-19>.