



**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA  
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA  
PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS**



**CLAUDIO ALVARES MENCHISE**

**DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAL COMPÓSITO COM  
MATRIZ POLIMÉRICA REFORÇADO COM FIBRA DE COCO**

Volta Redonda - RJ  
2021

**CLAUDIO ALVARES MENCHISE**

**DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAL COMPÓSITO COM  
MATRIZ POLIMÉRICA REFORÇADO COM FIBRA DE COCO**

Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em Materiais do Centro Universitário de Volta Redonda – UniFOA, como requisito obrigatório para obtenção do título de Mestre em Materiais, na área de concentração de processamento e caracterização de materiais reciclados, compósitos, nanomateriais e biomateriais, linha de pesquisa em materiais compósitos.

Orientador: Alexandre Alvarenga Palmeira

Coorientador: Sérgio Roberto Montoro

### FICHA CATALOGRÁFICA

Bibliotecária: Alice Tação Wagner - CRB 7/RJ 4316

M536d Menchise, Claudio Alvares

Desenvolvimento e caracterização de material compósito com matriz polimérica reforçado com fibra de coco. / Claudio Alvares Menchise. - Volta Redonda: UniFOA, 2021. 123 p. II

Orientador (a): Prof. Dr. Alexandre Alvarenga Palmeira

Dissertação (Mestrado) – UniFOA / Mestrado Profissional em Materiais, 2021

1. Materiais - dissertação. 2. Coco nucifera. 3. Poliéster. 4. Sustentabilidade. I. Palmeira, Alexandre Alvarenga. II. Centro Universitário de Volta Redonda. III. Título.

CDD – 620.1



FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA  
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA  
PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS



**CLAUDIO ALVARES MENCHISE**


Desenvolvimento e Caracterização de Material Compósito com Matriz  
Polimérica reforçado com Fibra de Côco.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Alvarenga Palmeira

Coorientador: Prof. Dr. Sérgio Roberto Montoro

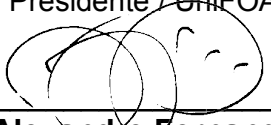
**ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO  
TÍTULO DE  
“MESTRE EM MATERIAIS”**


**APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE MESTRADO  
PROFISSIONAL EM MATERIAIS**

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Roberto de Oliveira Magnago  
Coordenador

**BANCA EXAMINADORA:**

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Alexandre Alvarenga Palmeira  
Presidente / UniFOA

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Alexandre Fernandes Habibe  
Examinador interno / UniFOA

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Márcio Teodoro Fernandes  
Examinador externo / UFF

dezembro de 2021.

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha esposa,  
filhos e a todos que contribuíram para  
a conclusão desta jornada.

## **AGRADECIMENTOS**

Em especial a minha esposa Denise Campos Telles Menchise por ter sido a inspiradora de minha Tese, além de parceira e incentivadora e aos meus familiares, pelo apoio, incentivo e parceria para que os objetivos fossem alcançados.

Ao meu orientador Dr. Alexandre Alvarenga por sua dedicação, orientação e suporte, mas principalmente por ter me direcionado para a realização deste sonho.

Ao Instituto de Cultura Técnica, pelo apoio e pela disponibilidade das instalações e a Faculdade Sul Fluminense - FaSF, pela disponibilidade de instalações, laboratórios e a Revista Valore da FaSF.

Ao Dr. Prof. Alexandre Fernandes Habibe, por suas orientações e excelência em suas aulas.

Aos profissionais técnicos dos laboratórios do UniFOA, Luciano Monteiro Rodrigues e Dirceu Hartung Camargo Coutinho, pelo profissionalismo e disponibilidade.

A Coordenação do MEMAT, Dr. Prof. Roberto de Oliveira Magnago e sua equipe, pelo estímulo e ajuda no desenvolvimento desta pesquisa, e a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste sonho.

## EPÍGRAFE

“Estudar é para sempre...”

O autor

MENCHISE, C. A. **Desenvolvimento e Caracterização de Material Compósito com Matriz Polimérica Reforçado com Fibra de Coco**. 2020 Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais) – Fundação Oswaldo Aranha. Centro Universitário de Volta Redonda, 2021.

## RESUMO

O emprego de fibras vegetais em materiais compósitos como material de reforço vem despertando o interesse de pesquisadores que se propõem a atuar em áreas de pesquisas que caracterizem compósitos para o desenvolvimento sustentável. Existe uma tendência mundial para estudos que identifiquem possibilidades do uso de fibras vegetais de baixo custo em substituição das fibras sintéticas e materiais poliméricos. Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo desenvolver e caracterizar compósitos reforçados com fibras de coco (*Cocos nucifera*) e resina poliéster, visando buscar uma estratégia entre desenvolvimento sustentável e viabilidade econômica, e também uma alternativa para reaproveitamento do resíduo agrícola da fibra de coco e redução no consumo de materiais poliméricos sintéticos. A metodologia de experimento adotada consistiu na confecção dos corpos de prova pelo processo de modelagem por contato manual, empregando as proporções percentuais de 10%, 20%, 25% e 30% de fibra de coco em relação a massa de resina poliéster. A caracterização mecânica dos corpos de prova foi realizada através de ensaios mecânicos de tração, flexão e dureza, e a caracterização microestrutural através da microscopia óptica e microscopia eletrônica de varredura, MEV. Os melhores resultados obtidos nos ensaios mecânicos foram com corpos de prova com composição de 25% de fibra de coco apresentando uma média para dureza de 79,26 (SHORE D), média para tração de 27,43 MPa e média para flexão de 35,91 MPa. Concluiu-se a viabilidade técnica para produção de compósitos com base polimérica de resina poliéster reforçados com fibra de coco para serem empregados na confecção de materiais diversos como: utensílios organizadores, componentes para indústria automobilística e componentes para construção civil.

**PALAVRAS-CHAVE:** Cocos Nucifera, Poliéster, Sustentabilidade.



MENCHISE, C. A. **Development and Characterization of the Coconut Fiber Polyester Resin Composite**. 2020 Dissertation (Professional Master of Materials) – Fundação Oswaldo Aranha. Centro Universitário de Volta Redonda, 2021.

### **ABSTRACT**

The use of plant fibers in composite materials as reinforcement material has been arousing the interest of researchers who propose to work in research areas that characterize composites for sustainable development. There is a worldwide tendency for studies that identify possibilities of using low cost vegetable fibers to substitute synthetic fibers and polymeric materials. In this context, the present work aimed to develop and characterize composites reinforced with coconut fibers (*Cocos nucifera*) and polyester resin, seeking a strategy between sustainable development and economic viability, and also an alternative for reusing the agricultural residue of coconut fiber and reducing the consumption of synthetic polymeric materials. The experiment methodology adopted consisted in the production of specimens by the process of molding by manual contact, using the proportions of 10%, 20%, 25% and 30% of coconut fiber in relation to the mass of polyester resin. The mechanical characterization of the specimens was done through tensile, flexural and hardness tests, and the microstructural characterization through optical and scanning electron microscopy, SEM. The best results obtained in the mechanical tests were with specimens with 25% coconut fiber composition presenting an average for hardness of 79,26 (SHORE D), average for traction of 27,43 MPa and average for flexion of 35,91 MPa. It was concluded the technical feasibility for production of composites with polyester resin polymeric base reinforced with coconut fiber to be used in the confection of various materials such as: utensils organizers, components for automotive industry and components for civil construction.

**KEYWORDS:** Nusiferous Coconuts, Polyester, Sustainability.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b> – Espécie <i>Cocos nucifera</i> .....	24
<b>Figura 2</b> – Fruto de <i>Cocos nucifera</i> com polpa comestível.....	25
<b>Figura 3</b> – Coqueiro e corte longitudinal do coco verde e suas partes .....	26
<b>Figura 4</b> – Estrutura química de constituintes de fibras vegetais: celulose .....	27
<b>Figura 5</b> – Microestrutura da fibra de coco. A) Ilustração da fibra de coco; B) e C) MEV da fibra de coco in natura .....	29
<b>Figura 6</b> – Modelo estrutural das paredes das fibras vegetais .....	30
<b>Figura 7</b> – Fibras de coco .....	31
<b>Figura 8</b> – Moagem da fibra de coco. A) Fibras; B) Moinho; C) Fibra de coco moída .....	34
<b>Figura 9</b> – Fibras vegetais .....	35
<b>Figura 10</b> – Fórmula da resina epóxi .....	38
<b>Figura 11</b> – Fórmula Química do Poliestireno de Alto Impacto.....	38
<b>Figura 12</b> – Fórmula da resina poliestireno de alto impacto .....	39
<b>Figura 13</b> – Fórmula da resina poliéster insaturada .....	41
<b>Figura 14</b> – Fórmula da resina poliéster ortoftálica.....	41
<b>Figura 15</b> – Principais tipos de Compósitos.....	43
<b>Figura 16</b> – Representação de diferentes tipos reforço com fibras .....	44
<b>Figura 17</b> – Compósitos de fibra manta na forma de caixa. A) matéria prima; B) manta em forma de caixa; C) Caixa compactada.....	45
<b>Figura 18</b> – Ensaio de tração de compósito fibra de coco .....	48
<b>Figura 19</b> – Ensaio de tração de compósito com 0%, 30%, 35%, e 40% de fibra de coco.....	49
<b>Figura 20</b> – Ensaio de tração de compósito com 0%, 10%, 20%, e 30% de fibra de coco.....	49
<b>Figura 21</b> – Ensaio de tração de compósito com 0%, 13%, 23%, 30% e 40% de fibra de caroá e coco .....	50
<b>Figura 22</b> – Ensaio de tração de compósito com 0%, 10%, 20%, e 30% de fibra de coco.....	51
<b>Figura 23</b> – Ensaio de tração de compósito com 12% de fibra de banana.....	51
<b>Figura 24</b> – Ensaio de tração de compósito com 7,5% de fibra de coco e 7,5% de fibra de vidro.....	52

<b>Figura 25</b> – Ensaio de tração de compósito com 30% de fibra de coco. ....	53
<b>Figura 26</b> – Ensaio de flexão de compósito fibra de coco .....	54
<b>Figura 27</b> – Ensaio de flexão de compósito com 0%, 30%, 35%, e 40% de fibra de coco.....	55
<b>Figura 28</b> – Ensaio de flexão de compósito com 0%, 4% e 10%, de fibra de coco .....	55
<b>Figura 29</b> – Ensaio de flexão de compósito com 0%, 13%, 23%, 30% e 40% de fibra de caroá e coco .....	56
<b>Figura 30</b> – Ensaio de flexão de compósito com 0%, 10%, 20%, e 30% de fibra de coco.....	57
<b>Figura 31</b> – Ensaio de flexão de compósito com 12%, de fibra de banana .....	57
<b>Figura 32</b> – Ensaio de flexão de compósito com 30%, de fibra de coco .....	58
<b>Figura 33</b> – Imagem da fibra de coco com poliéster .....	59
<b>Figura 34</b> – Secção transversal de uma fibra de coco.....	60
<b>Figura 35</b> – Fluxograma das Etapas experimentais deste trabalho.....	63
<b>Figura 36</b> – A) Fibra de coco longa; B) Moinho de polímeros; C) Fibras de coco triturada; D) Fibra de coco peneirada.....	65
<b>Figura 37</b> – Preparação dos moldes.....	66
<b>Figura 38</b> – Preparação do molde borracha de silicone .....	67
<b>Figura 39</b> – Secagem do molde.....	67
<b>Figura 40</b> – Molde de silicone.....	68
<b>Figura 41</b> – A) Confeção dos Cp's; B) Eliminação de bolhas de ar; C) Cp's 0% fibra .....	69
<b>Figura 42</b> – Preparação e Pesagem do material .....	71
<b>Figura 43</b> – Mistura da resina com fibra. A) 10% de fibra; B) 20% de fibra; C) 25% de fibra; D) 30% de fibra .....	71
<b>Figura 44</b> – A) Adição do endurecedor a mistura renina/fibra; B) Conformação dos Cp's nos moldes; C) Molde.....	72
<b>Figura 45</b> – Cp's desmoldados após período de cura .....	73
<b>Figura 46</b> – A) Micrômetro Digimess; B) Paquímetro .....	74
<b>Figura 47</b> – Cp's de ensaio de dureza.....	75
<b>Figura 48</b> – Aparelho Durômetro modelo TH210 e ensaio de dureza .....	76
<b>Figura 49</b> – Máquina de Ensaio EMIC DL-10.000 100 KN .....	76
<b>Figura 50</b> – Corpos de prova de Tração.....	77

<b>Figura 51</b> – Máquina de flexão .....	78
<b>Figura 52</b> – Corpos de prova de Flexão .....	78
<b>Figura 53</b> – Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV - ZEISS EVO-10) .....	79
<b>Figura 54</b> – Gráfico obtido dos resultados de dureza dos Cp's com 0, 10, 20, 25 e 30% de fibra de coco.....	82
<b>Figura 55</b> – Curva de Tração x Deformação Obtida no Ensaio de Tração com Resina Pura.....	83
<b>Figura 56</b> – Curva de Tração x Deformação Obtida no Ensaio de Tração com Resina Pura Reforçada com 10% de Fibra no Compósito .....	84
<b>Figura 57</b> – Curva de Tração x Deformação Obtida no Ensaio de Tração com Resina Pura Reforçada com 20% de Fibra no Compósito .....	85
<b>Figura 58</b> – Curva de Tração x Deformação Obtida no Ensaio de Tração com Resina Pura Reforçada com 25% de Fibra no Compósito .....	86
<b>Figura 59</b> – Curva de Tração x Deformação Obtida no Ensaio de Tração com Resina Pura Reforçada com 30% de Fibra no Compósito .....	87
<b>Figura 60</b> – Gráfico com a curva de tendência da média dos valores máximos de tração versus percentual de fibra 0, 10, 20, 25 e 30% .....	89
<b>Figura 61</b> – Curva de Flexão x Deformação Obtida no Ensaio de Flexão com Resina Pura.....	90
<b>Figura 62</b> – Curva de Flexão x Deformação Obtida no Ensaio de Flexão com Resina Pura Reforçada com 10% de Fibra no Compósito .....	91
<b>Figura 63</b> – Curva de Flexão x Deformação Obtida no Ensaio de Flexão com Resina Pura Reforçada com 20% de Fibra no Compósito .....	92
<b>Figura 64</b> – Curva de Flexão x Deformação Obtida no Ensaio de Flexão com Resina Pura Reforçada com 25% de Fibra no Compósito .....	93
<b>Figura 65</b> – Curva de Flexão x Deformação Obtida no Ensaio de Flexão com Resina Pura Reforçada com 30% de Fibra no Compósito .....	94
<b>Figura 66</b> – Gráfico com a curva de tendência da média dos valores máximos de flexão versus percentual de fibra 0, 10, 20, 25 e 30%.....	96
<b>Figura 67</b> – Microscopia óptica CP com 10% de fibra de coco .....	97
<b>Figura 68</b> – Microscopia óptica CP com 20% de fibra de coco .....	97
<b>Figura 69</b> – Microscopia óptica CP com 25% de fibra de coco .....	98
<b>Figura 70</b> – Microscopia óptica CP com 30% de fibra de coco .....	98
<b>Figura 71</b> – Cp de resina poliéster pura .....	99

<b>Figura 72</b> – MEV-Imagens da Fibra de Coco com 10% de fibras.....	100
<b>Figura 73</b> – MEV-Fibra de coco com 20% de fibras .....	101
<b>Figura 74</b> – MEV-Matriz de resina bem uniforme (Fibra de coco com 25% de fibras) .....	102
<b>Figura 75</b> – Gráficos Obtidos das Médias de 0, 10, 20, 25 e 30% dos Ensaio de Dureza, Flexão e Tração .....	103
<b>Figura 76</b> – Forma de acetado para manete .....	107
<b>Figura 77</b> – Preparo do compósito do produto .....	107
<b>Figura 78</b> – Moldagem do produto.....	108
<b>Figura 79</b> – Carcaça frontal do manete de vídeo game.....	108
<b>Figura 80</b> – Circuito interno de um manete.....	109
<b>Figura 81</b> – Manete com bateria.....	109
<b>Figura 82</b> – Temperatura da bateria no manete .....	110

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Composição química de algumas fibras naturais.....	28
<b>Tabela 2</b> – Composição química da fibra de coco .....	31
<b>Tabela 3</b> – Comparação das propriedades mecânicas das fibras .....	32
<b>Tabela 4</b> – Polímeros Termoestáveis .....	42
<b>Tabela 5</b> – Porcentagens e a massa de fibra de coco .....	70
<b>Tabela 6</b> – Média dos resultados de dureza .....	81
<b>Tabela 7</b> – Média dos resultados de tração .....	88
<b>Tabela 8</b> – Média dos resultados de Flexão .....	95
<b>Tabela 9</b> – Comparação entre as concentrações de 10, 20, 25 e 30%, de fibra de COCO.....	104
<b>Tabela 10</b> – Discussão dos resultados deste trabalho a luz da teoria .....	105

## LISTA DE ABREVIATURAS

Cp's	Copos de Prova
CNPq	Conselho Nacional de Pesquisa Científica e Tecnológica
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPA	Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia
ONU	Organização das Nações Unidas
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>18</b>
1.1	MOTIVAÇÃO .....	19
1.2	OBJETIVOS.....	20
1.3	JUSTIFICATIVA.....	20
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>22</b>
2.1	COCO NUCIFERA.....	22
2.2	CARACTERÍSTICAS DAS FIBRAS NATURAIS .....	26
<b>2.2.1</b>	<b>Vantagens das fibras vegetais</b>	<b>32</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Utilização de fibras vegetais</b>	<b>33</b>
2.3	ASPECTOS SUSTENTÁVEIS DAS FIBRAS NATURAIS .....	35
2.4	RESINAS .....	37
<b>2.4.1</b>	<b>Resina epóxi</b>	<b>37</b>
<b>2.4.2</b>	<b>Resina polipropileno</b>	<b>38</b>
<b>2.4.3</b>	<b>Resina poliestireno de alto impacto</b>	<b>39</b>
<b>2.4.4</b>	<b>Resina poliéster</b>	<b>40</b>
<b>2.4.5</b>	<b>Matrizes Termoestáveis</b>	<b>42</b>
2.5	COMPÓSITOS POLIMÉRICOS.....	43
<b>2.5.1</b>	<b>Matriz polimérica com fibras naturais</b>	<b>45</b>
2.6	ENSAIOS MECÂNICOS .....	46
<b>2.6.1</b>	<b>Ensaio de dureza</b>	<b>46</b>
<b>2.6.2</b>	<b>Ensaio de tração</b>	<b>47</b>
<b>2.6.3</b>	<b>Ensaio de flexão</b>	<b>53</b>
2.7	MICROSCOPIA ÓPTICA .....	58
2.8	MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA .....	60
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODO DE PESQUISA .....</b>	<b>62</b>
3.1	MATERIAIS UTILIZADOS NO PROCESSO .....	64
<b>3.1.1</b>	<b>Resina</b>	<b>64</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Fibra de coco</b>	<b>64</b>
<b>3.1.3</b>	<b>Desmoldante</b>	<b>65</b>
3.2	PREPARAÇÃO DOS MOLDES .....	66
3.3	PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA .....	68
<b>3.3.1</b>	<b>Preparação dos corpos de prova sem reforço de fibra de coco</b>	<b>69</b>



<b>3.3.2</b>	<b>Preparação dos corpos de prova com reforço de fibra de coco</b>	<b>70</b>
<b>3.4</b>	<b>ENSAIOS MECÂNICOS .....</b>	<b>73</b>
<b>3.4.1</b>	<b>Procedimentos do ensaio de dureza</b>	<b>74</b>
<b>3.4.2</b>	<b>Procedimentos do ensaio de tração</b>	<b>76</b>
<b>3.4.3</b>	<b>Procedimentos do ensaio de flexão</b>	<b>77</b>
<b>3.5</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL .....</b>	<b>79</b>
<b>3.5.1</b>	<b>Procedimentos do ensaio de Microscopia Óptica</b>	<b>79</b>
<b>3.5.2</b>	<b>Procedimentos do ensaio de MEV</b>	<b>79</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>81</b>
<b>4.1</b>	<b>RESULTADOS DOS ENSAIOS DE DUREZA .....</b>	<b>81</b>
<b>4.2</b>	<b>RESULTADOS DOS ENSAIOS DE TRAÇÃO .....</b>	<b>83</b>
<b>4.3</b>	<b>RESULTADOS DOS ENSAIOS DE FLEXÃO .....</b>	<b>90</b>
<b>4.4</b>	<b>ENSAIO DE MICROSCOPIA ÓPTICA.....</b>	<b>96</b>
<b>4.5</b>	<b>RESULTADOS DO ENSAIO DE MEV .....</b>	<b>99</b>
<b>4.6</b>	<b>ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS A LUZ DA TEORIA .....</b>	<b>102</b>
<b>4.7</b>	<b>APLICAÇÕES PRÁTICAS .....</b>	<b>106</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>111</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>112</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As fibras naturais, quando aplicadas na produção de novos produtos, como uma substituição as fibras sintéticas, contribui de maneira socioeconômica gerando novas áreas de trabalho, e de maneira socioambiental contribuindo para diminuição do impacto ambiental, pois as fibras naturais são materiais abundantes que estão presentes na natureza e nos resíduos agroindustriais, são de fonte renovável, podendo ser aproveitada em escala industrial (SARIKAYA; ÇALLIOĞLU; DEMIREL, 2019; TOWNSEND, 2020).

Nos processos de utilização de reforços em compósitos, a fibra vegetal tem sido uma boa indicação para utilização nas indústrias de materiais, devido às suas várias vantagens em relação as fibras sintéticas como baixo: custo, baixa densidade, biodegradabilidade dentre outras (DEBNATH, 2016; SEKI et al., 2017; TOWNSEND, 2020).

Foram realizados estudos envolvendo a evolução do cultivo de coco em municípios do estado do Pará e nos principais estados brasileiros com produtores agroindustriais (ALVES et al., 2018).

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) apontou no Relatório de Avaliação dos Impactos Ambientais a necessidade no desenvolvimento e aprimoramento de materiais desenvolvidos a partir de matérias primas renováveis. Este interesse se deu principalmente pela preocupação em se pensar na melhoria econômica por meio da utilização de produtos naturais e pela preservação do meio ambiente (EMBRAPA, 2019).

As fibras naturais têm sido utilizadas por vários pesquisadores, visando reduzir a utilização de materiais provenientes de fontes não renováveis, devido as diversas vantagens que promovem ao meio ambiente, principalmente no que tange a diminuição dos impactos ambientais se comparados com algumas fibras sintéticas (CALEGARI; OLIVEIRA, 2016).

No Brasil, o interesse para desenvolver estudos com fibras vegetais se tornou fortemente crescente devido à necessidade de uma resposta a preservação ambiental (DE OLIVEIRA et al., 2016; EMBRAPA, 2019).

A planta *Cocos nucifera* é uma palmeira tropical originária do Sudeste Asiático. É um cultivo em grande expansão, e seu plantio representa um fator relevante na

economia de mais de 90 países (FERREIRA et al., 2016; JAWAD et al., 2017; XIAO et al., 2017).

Vale ressaltar que, no Brasil, é uma planta muito encontrada da região litorânea do Nordeste. Entretanto, pode ser cultivada também em outras regiões de clima tropical com temperaturas acima de 22<sup>o</sup>.C, e com elevada umidade e chuvas sazonais. Dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) mostraram que em 2007 a produção foi de aproximadamente 1,9 bilhões de frutos (MARTINS; JÚNIOR, 2011).

O consumo do coco vem apresentando constante crescimento, assim contribui para o aumento da geração resíduos que vem sendo descartados em locais inapropriados, provocando um enorme problema ambiental, uma vez que, o meio ambiente leva de 8 a 12 anos para decompor o rejeito do fruto (CAVALCANTE, 2015).

A resina poliéster insaturada apresenta boas propriedades mecânicas de tração, flexão e impacto, transparência, possui estabilidade contra raios UV, sendo a mais empregada na fabricação de compósitos poliméricos termorrígidos, como por exemplo em parte estruturais de automóveis, materiais elétricos, na construção civil e em materiais utilizados em revestimentos (BHATTI et al., 2016; OUADIL et al., 2017; XU; WEN; WU, 2018).

Neste contexto, buscar novas alternativas de reutilização da casca de coco verde rica em fibras contribui para reduzir a quantidade desse resíduo sólido nos aterros sanitários e também possibilita a implementação de uma nova atividade comercial.

## 1.1 MOTIVAÇÃO

A utilização de materiais biodegradáveis tem aumentado nos últimos anos. Neste cenário, os compósitos poliméricos com fibras naturais surgem como uma boa alternativa para novas aplicações.

Portanto, o desenvolvimento do estudo foi motivado devido à crescente evolução tecnológica e a necessidade de novos desafios e estratégias que permitam aprimorar técnicas, produzindo novos materiais e novos conceitos de caracterizações de fibras, para o desenvolvimento de novos materiais em diversos níveis de estrutura, microestrutura que são parâmetros importantes para se determinar o comportamento de materiais em diversas aplicações industriais.

## 1.2 OBJETIVOS

Tendo em vista a importância do desenvolvimento sustentável, a relevância da aplicação de fibras vegetais e os desafios para implementação efetiva de ações que buscam viabilizar esse desenvolvimento, a presente dissertação tem como objetivo geral caracterizar compósitos usando resina poliéster ortoftálica como matriz polimérica e reforçados com fibras de coco (*Cocos nucifera*), tendo como meta aplicar em materiais diversos utilizados atualmente nas indústrias.

Objetivos específicos:

- Definição do tipo de fibra vegetal e matriz polimérica mais adequados para a aplicação;
- Definição da rota de beneficiamento da fibra vegetal;
- Preparação dos corpos de prova para caracterização mecânica e microestrutural;
- Verificação das propriedades mecânicas do compósito estudado de acordo com a porcentagem de fibra na matriz e os tipos de distribuição da fibra; e
- Identificação dos melhores resultados de dureza e resistência à tração e à flexão.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

Existe uma tendência mundial para o estudo e o desenvolvimento da aplicação de fibras vegetais em substituição das fibras sintéticas, poliméricas, com intuito de reduzir o uso desses materiais de fontes não renováveis.

Veloso et al. (2013), afirmam que com o advento desta tecnologia, a utilização de compósitos poliméricos reforçados com fibra de coco, estão competindo com os demais tipos de materiais poliméricos reforçados com fibra de vidro ou outras fibras sintéticas.

Conforme estudos de Pimenta et al. (2015), a utilização da fibra de coco para obtenção de compósitos, é importante, pois além de diminuir a quantidade de

resíduos, é um processo barato, natural e renovável. Sendo assim, sua utilização em larga escala se justifica por ter baixo custo, boas propriedades mecânicas e proporcionam a diminuição de resíduos.

Vale ressaltar, que a utilização de fibra vegetal, tem sido muito estudada para a utilização de reforço em polímeros, como por exemplo, o poliéster o polipropileno e polímeros biodegradáveis (FERREIRA et al., 2016; JAWAD et al., 2017).

Atualmente, constata-se que o país se destaca na produção de diversas fibras naturais, sendo o maior produtor mundial de Sisal (*Agave sisalana*) e o quarto maiores produtores de coco (BARBOSA et al., 2018; FERREIRA et al., 2016; JAWAD et al., 2017).

Estudos realizados por pesquisadores da FAPESP demonstram que a Floresta Amazônica coloca o Brasil no centro das principais discussões de políticas de manutenção e desenvolvimento sustentável. Devido à gigantesca biodiversidade de plantas lenhosas e fibrosas, pesquisas têm explorado de forma sustentável o potencial de fibras vegetais naturais nas indústrias e para a fabricação de polímeros (MARINELLI et al., 2008).

Pesquisas estão sendo conduzidas para desenvolver materiais ecológicos para diversos fins. No Brasil, a Coordenação de Pós-Graduação em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (Coppe - UFRJ) desenvolveu alternativas ecológicas para matérias-primas do concreto e de produtos de fibrocimento, como caixas d'água e telhas com o objetivo de reduzir ou até mesmo substituir os materiais tradicionais utilizados por materiais sustentáveis (VIVAGREEN, 2015).

Conforme Cavalcante (2016) além do fruto do coco ser um material de difícil decomposição, chegando a levar mais de 8 anos para se decompor. Nessas condições, fica claro a importância de se fazer a reutilização da casca do coco verde. Pois além da importância das propriedades da fibra dessa casca, existe a importância econômica, já que esses resíduos seriam descartados por não terem mais utilidade e a importância ambiental. Assim reforçando a importância de pesquisas que reaproveitem a fibra de coco.

Neste contexto, é possível identificar tendências de pesquisas para novas aplicações das fibras naturais em compósitos e também lacunas científicas a serem preenchidas sobre as possibilidades de desenvolver produtos economicamente e ambientalmente responsáveis.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção a literatura científica é revisada para introduzir os fundamentos teóricos dos temas *Cocos Nucifera*, características das fibras naturais, aspectos sustentáveis das fibras naturais, resinas, compósitos poliméricos, ensaios mecânicos, microscopia óptica e microscopia eletrônica de varredura. Foram priorizados os artigos de revistas científicas.

### 2.1 COCO NUCIFERA

O coqueiro (*Cocos nucifera*) é uma planta da espécie pertencente à classe Monocotyledoneae, ordem Palmales, da família Arecaceae e subfamília Coccoideae, sendo a única espécie aceita no gênero *Cocos*. O termo é derivado da palavra portuguesa e espanhola do século XVI, que significa "cabeça" ou "crânio", das três marcas na casca de coco que se assemelham a características humanas (SILVA JUNIOR, 2013; VELOSO et al., 2013).

Apalavra "coco" foi criada pelos portugueses no território Asiático de Malabar, na viagem de Vasco da Gama à Índia. Vale ressaltar que botanicamente, é considerado uma drupa, não uma noz (HASAN et al., 2021; SILVA JUNIOR, 2013; VELOSO et al., 2013).

A espécie (*Cocos nucifera*), chegou primeiramente no estado da Bahia e se espalhando por todo o litoral brasileiro. Hoje podemos encontrar dois tipos principais, a variedade *Typica* e a *Nana* (ALVES et al., 2018; MARTINS; JÚNIOR, 2011).

Neste cenário, destaca-se o crescimento do plantio no Brasil nos anos 90, onde o Brasil ocupava a 10º lugar no ranking mundial, com uma produção de 477 mil toneladas de coco. Vale ressaltar, que o Brasil é o quarto maior produtor de coco, sendo detentor de aproximadamente 30% da produção mundial. Sendo assim, possuímos um elevado potencial de geração de cascas de coco, gerando matéria prima para inúmeras aplicações (ALVES et al., 2018).

O Brasil apresenta uma área de colheita de 287 mil ha de coqueiros, assumindo assim uma posição de relevância mundial de produção de coco. Esta posição se agiganta no contexto dos países da América do Sul, onde a produção brasileira é superiora 80% (MARTINS; JÚNIOR, 2011).

As fibras de coco são lignocelulósicas, e as da camada externa do exocarpo do fruto do coco, apresentam o maior potencial de uso em compósitos de matriz polimérica (ALVES et al., 2018; DE OLIVEIRA et al., 2016; XIAO et al., 2017).

O cultivo e a produção de coco, se intensificou, estando totalmente inserida no contexto de reestruturação produtiva nos últimos vinte anos e que a partir desse período observa-se seu cultivo ser completamente reestruturado e melhorado (NAVEEN et al., 2019; VAINSENER, 2019).

Evoluiu-se de uma produção de coco não estruturada no país, onde o mesmo era cultivado em pequenas propriedades, tendo classificação de semiextensiva (CAVALCANTE, 2016; VAINSENER, 2019).

Atualmente se tem uma nova geografia da produção brasileira de coco, tendo como marco o aumento do cultivo do fruto nos padrões da agricultura de mercado e da agricultura científica (CAVALCANTE, 2016).

Nota-se, que a planta é conhecida por sua grande versatilidade, como evidenciado por muitos usos tradicionais, que vão desde alimentos a cosméticos. Eles formam uma parte regular das dietas de muitas pessoas nos trópicos e subtropicais. Os cocos são distintos de outras frutas por sua grande quantidade de água, e quando imaturos, são conhecidos como nozes ou geleias e podem ser colhidos por sua água de coco, e ser empregado em diversas indústrias (NAVEEN et al., 2019; VAINSENER, 2019).

O crescente consumo do fruto, liderados pelo consumo de água de coco e em seguida sua polpa, os rejeitos do fruto do coco vêm trazendo relevantes problemas ao meio ambiente, ao que se deve fazer com o subproduto do uso (NAVEEN et al., 2019; VAINSENER, 2019).

Tendo um olhar para os aspectos de adaptação da planta, no Brasil, mais de 90% da espécie *Cocos nucifera* localizam-se no Nordeste, nessa região existem variações edafo-climáticas que interferem no ritmo de crescimento, podendo, também, ocasionar modificações na morfologia e aspectos da planta (ADENIYI et al., 2019; NETO et al., 2013).

A espécie *Cocos nucifera* apresenta caule do tipo estipe que atinge em média 18 m de altura; raízes do tipo fasciculado, podendo atingir uma profundidade de 1,20 m; as folhas são do tipo penada, e emitem de 12 a 18 folhas por ano conforme observamos na Figura 1 (ADENIYI et al., 2019; NETO et al., 2013).

**Figura 1 – Espécie *Cocos nucifera***



Fonte: Lopes (2012).

Com relação ao fruto, o endocarpo possui três poros de germinação que são facilmente visíveis no exterior dos frutos, quando a casca é removida. O coqueiro pode atingir até 20 metros de altura e seu tronco um diâmetro de até 30 cm. As folhas em número de até 25 são pinadas tendo 6 metros de comprimento no máximo (ALVES et al., 2018; FERREIRA et al., 2016).

Os frutos quando maduros contêm água e podem ser usados como nozes ou processados para dar óleo a partir da semente, carvão da casca dura e fibra de coco da casca fibrosa. Quando seca, a polpa do coco é chamada de copra. As cascas e folhas podem ser usadas como material para fazer uma variedade de produtos nas indústrias (CAVALCANTE, 2016; FERREIRA et al., 2016; LOPES, 2012).

Na Figura 2 a seguir, observa-se o fruto do coco em estágio de comercialização e consumo, seu albúmen líquido e a morfologia de suas folhas.



**Figura 2** – Fruto de *Cocos nucifera* com polpa comestível



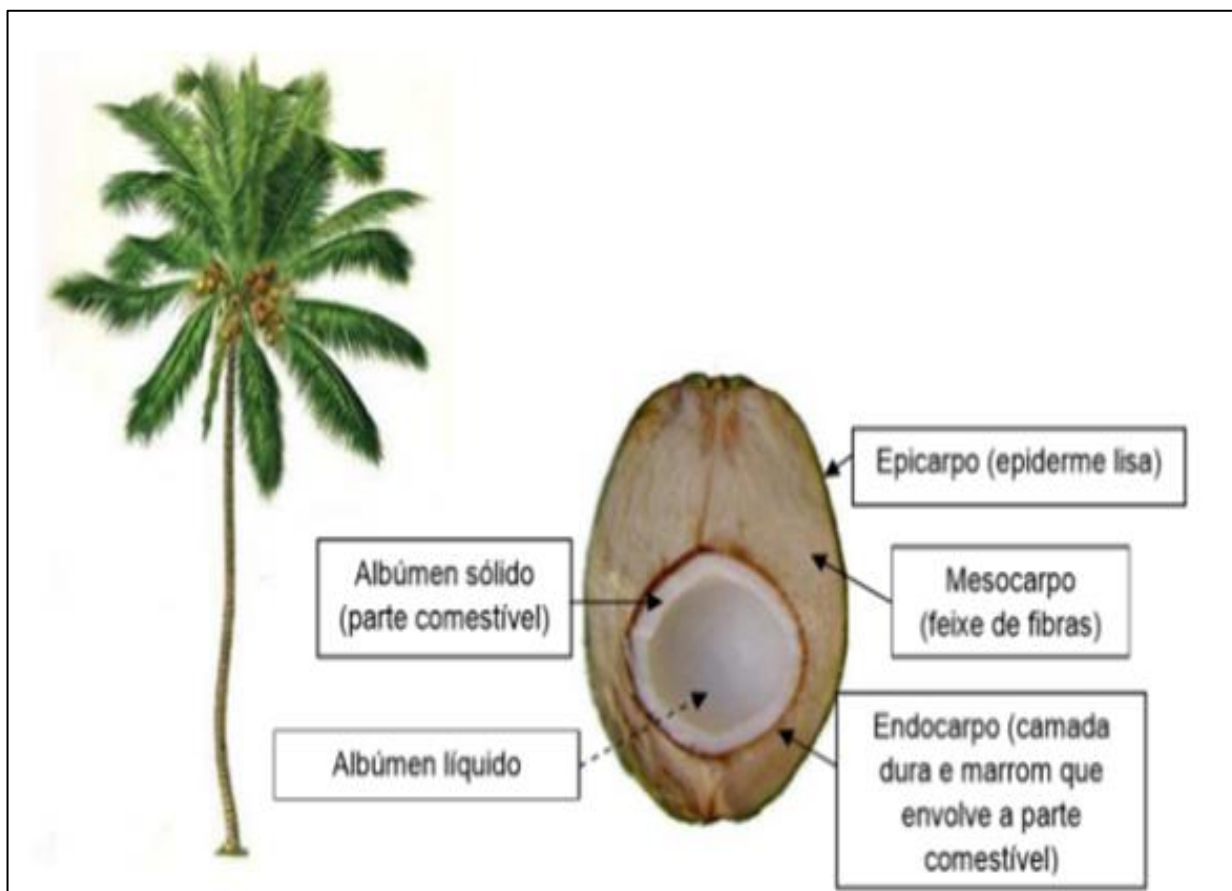
Fonte: Lopes (2012).

O coco é classificado pelo formato do fruto e pelo padrão de crescimento da planta. Portanto, são dois grupos de variedades como a niukafa, a qual se caracteriza por frutos triangulares e com boa proporção de fibra na casca; e de frutos arredondados e cores brilhantes com grande quantidade de endosperma líquido (BENASSI; FANTON; SANTANA, 2013; HASAN et al., 2021).

O fruto é composto por um epicarpo, na qual a casca é formada por uma camada externa delgada e lisa; a camada intermediária constituída por fibra é denominada mesocarpo, e o endocarpo camada que envolve o albúmen, que pode ser sólido ou líquido que representa a parte de valor comercial para a indústria alimentícia (KAMARAL et al., 2016; TEOH et al., 2021).

Os principais constituintes do coco estão representados da seguinte forma e demonstrados na Figura 3.

**Figura 3** – Coqueiro e corte longitudinal do coco verde e suas partes



Fonte: Benassi (2013).

Epicarpo (epiderme lisa): parte mais externa do fruto; casca verde; Mesocarpo: feixe de fibras; Pericarpo: é a parte do fruto que envolve a semente; Albúmen (endosperma): são os elementos nutritivos da semente, podendo ser encontrado no estado sólido ou líquido (KAMARAL et al., 2016; NURAI SYAH; NUGROHO; FATIMAH, 2021).

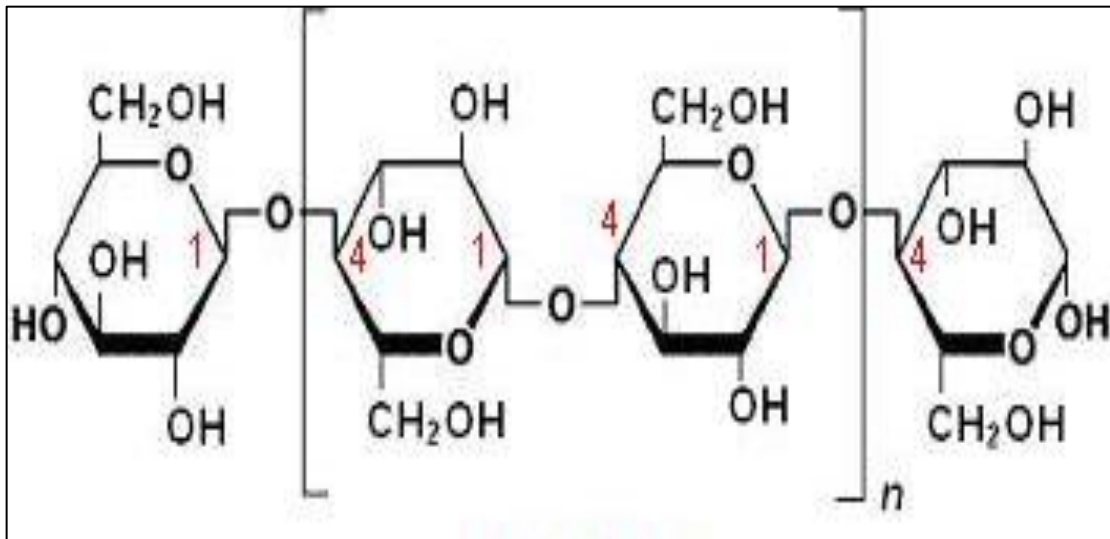
## 2.2 CARACTERÍSTICAS DAS FIBRAS NATURAIS

Ressalta-se, que as fibras naturais, conhecidas como fibras vegetais, também são denominadas de fibras lignocelulósicas, tem forma tipicamente proenquimatosa, ou seja, de comprimento igual a muitas vezes a largura. Em comparação às fibras sintéticas, se destacam ecologicamente por serem biodegradáveis e renováveis (BENASSI; FANTON; SANTANA, 2013).

Percebe-se, que cada fibra é constituída por um lúmen central, responsável pelo transporte de água e nutrientes na planta, rodeado por uma parede primária, três paredes secundárias (S1, S2 e S3). Podem-se ainda encontrar compostos inorgânicos

e moléculas extraíveis com solventes orgânicos, como pectinas, carboidratos simples, terpenos, alcalóides, saponinas, polifenólicos, gomas, resinas, gorduras e graxas, entre outros (Figura 4) (ALBINANTE; PACHECO; VISCONTE, 2013).

**Figura 4** – Estrutura química de constituintes de fibras vegetais: celulose



Fonte: Adaptado de Albinante; Pacheco; Visconte (2013).

Uma fibra vegetal contém diversas células, que se agrupam na parede celular contendo hemicelulose, pectina e lignina. Os autores dissertam que é possível encontrar também, uma região porosa que, junto com os lúmens possibilitam a absorção de água, essa região fica na parte central da fibra, denominada lacuna (ALBINANTE; PACHECO; VISCONTE, 2013).

Ressalta-se, que as fibras naturais podem ser empregadas como reforço de produtos especialmente para aplicações cuja condição de uso sejam menos severas, em substituição parcialmente ou total das fibras sintéticas. Essas fibras se classificam por base na sua origem, que pode ser de origem vegetal, animal ou mineral (LOPES, 2012; MACHADO et al., 2020).

As fibras vegetais são as mais empregadas como reforços em compósitos sendo provenientes das árvores ou não, tendo como principais componentes a celulose, a hemicelulose, a lignina, as pectinas e as ceras, sua utilização depende dos fins e métodos de processamentos que serão empregados (LOPES, 2012; MACHADO et al., 2020; NURAI SYAH; NUGROHO; FATIMAH, 2021).

Algumas das fibras mais aplicadas com reforço em compósitos de matriz polimérica estão quimicamente representadas na Tabela 1.

**Tabela 1 – Composição química de algumas fibras naturais**

	Celulose %	Hemicelulose %	Lignina %	Extrativos %
Linho	71	18,6-20,6	2,2	1,5
Cânhamo	68	15	10	0,8
Juta	61-71	14-20	12-13	0,5
Rami	68,6-76,2	13-16	0,6-0,7	0,3
Sisal	65	12	9,9	2
Coco	32-43	0,15-0,25	40-45	-

Fonte: Farias (2012).

É relevante apontar no estudo, que fatores relacionados à resistência das fibras, a elasticidade é uma das vantagens mais analisadas, uma vez que, vem sendo avaliada quando pretende-se utilizar de fibras naturais.

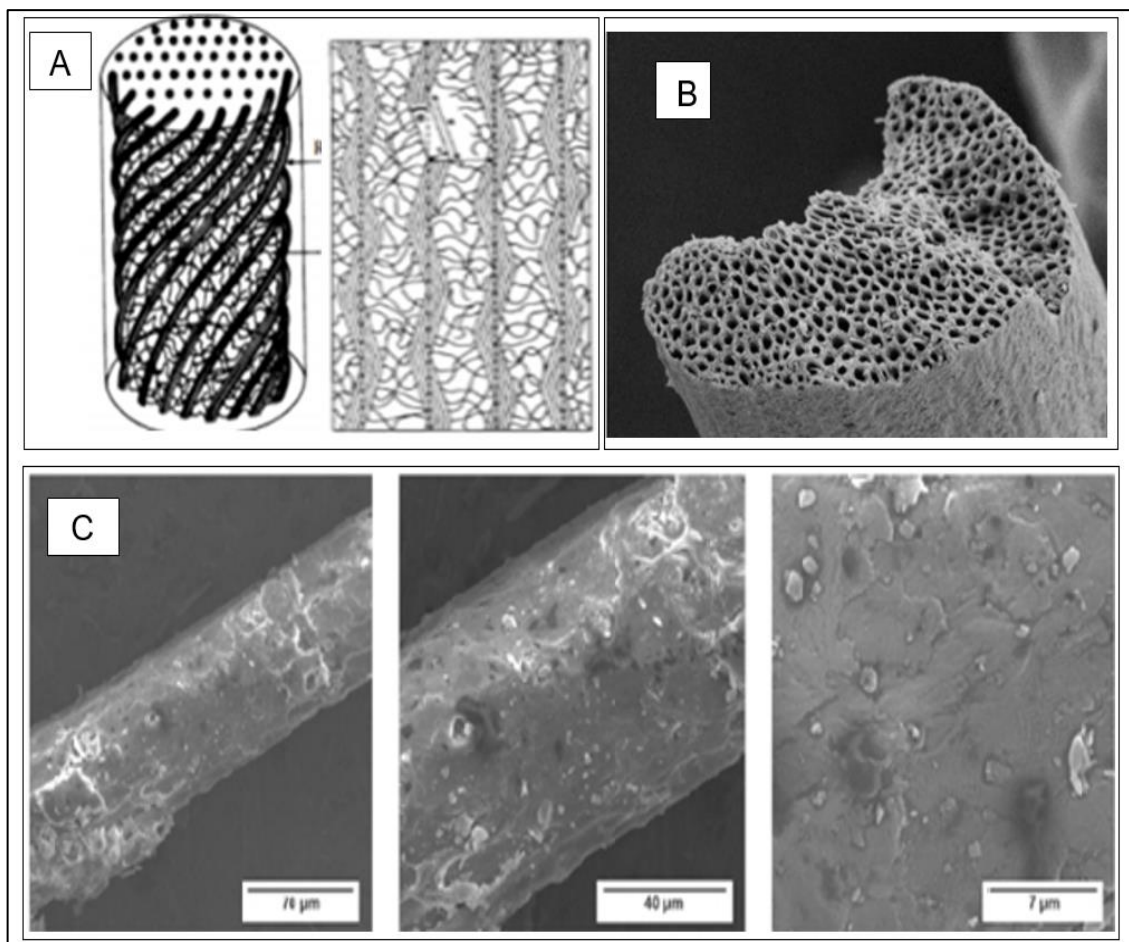
Os componentes químicos das fibras como a celulose sendo o principal constituinte estruturante, responsável pela estabilidade e resistência das fibras. A lignina é responsável pela formação da parede celular (BAMIGBOYE et al., 2020; XIAO et al., 2017).

Sua concentração está diretamente relacionada a sua estrutura, impactando na morfologia, na sua flexibilidade. Quanto maior a concentração de lignina maior é a sua qualidade e flexibilidade (BAMIGBOYE et al., 2020; ZAMZANI; MYDIN; GHANI, 2019).

Os principais componentes a celulose e hemicelulose possuem grupos hidroxila fortemente polarizados. Com isso concluiu que utilização é pouco restrita e limitada em aplicações industriais. Os autores afirmam ainda que suas principais características são: baixa densidade, boa flexibilidade e biodegradáveis (ALHARBI et al., 2020; T et al., 2019).

Alguns estudos tem utilizado de microscopia MEV para caracterizar as fibras vegetais, sendo assim, com base nos estudos realizados por Farias (2012), pode-se acrescentar que a composição das fibras vegetais é formada por células individuais compostas por micro fibrilas acomodadas em camadas com espessuras e ângulos de orientações. Conforme representado na Figura 5.

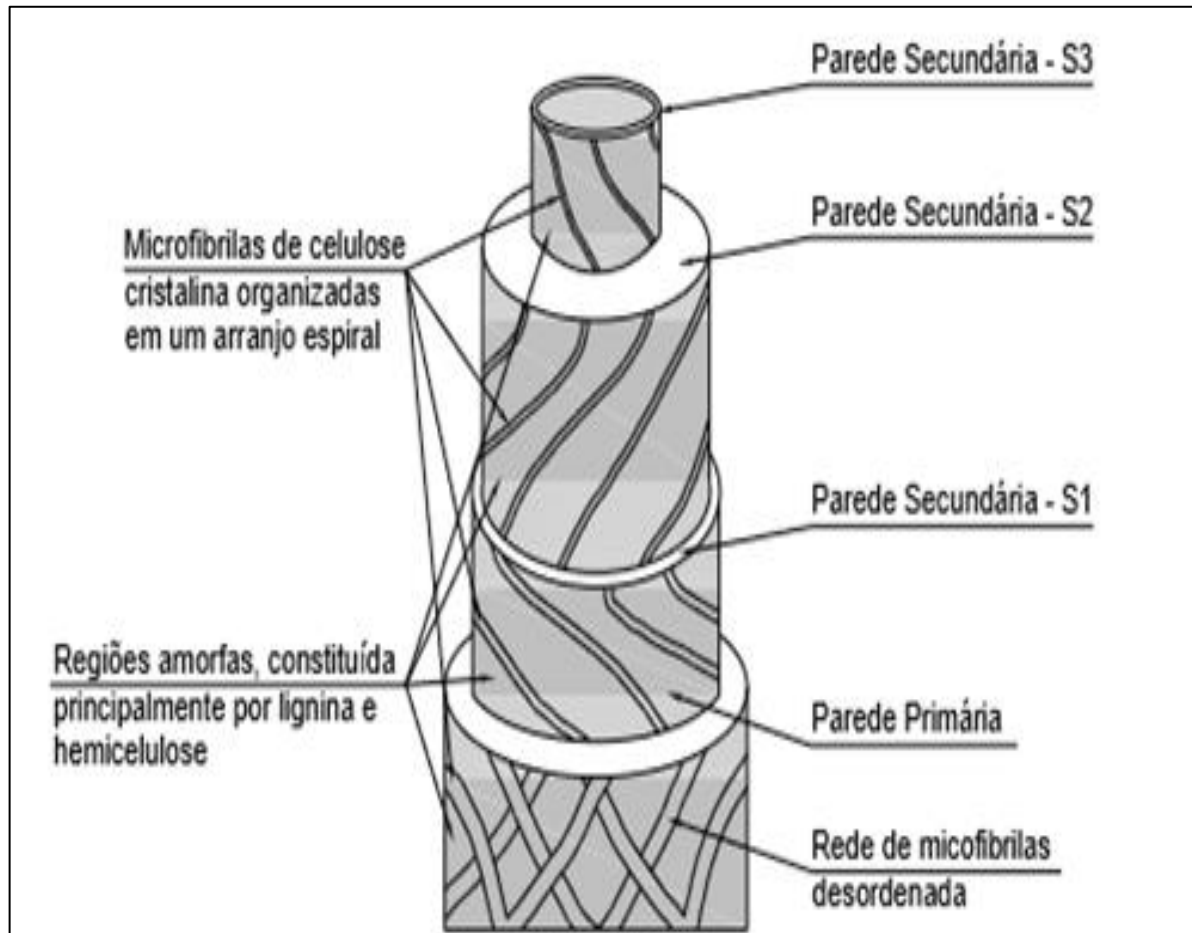
**Figura 5** – Microestrutura da fibra de coco. A) Ilustração da fibra de coco; B) e C) MEV da fibra de coco in natura



Fonte: Adaptado de Santos, (2010) e Gonçalves (2010).

Segundo Santos (2010) a empregabilidade de fibras vegetais nas indústrias da construção civil, tem sua aplicação no reforço em compostos cimentícios e como também são aplicados substituindo as fibras minerais e sintéticas (Figura 6).

**Figura 6** – Modelo estrutural das paredes das fibras vegetais



Fonte: Adaptado de Santos, (2010) e Gonçalves (2010).

Conforme Farias (2012) é necessário conhecer as características químicas e potenciais aplicações das fibras naturais, a fim de impulsionar sua utilização e torná-las mais eficientes em comparação com as fibras sintéticas, assim como também é necessário enfatizar sua importância econômica para que se possa promover o cultivo de plantas fibrosas. Na Figura 7 está representada a fibra de coco para utilização industrial.

**Figura 7 – Fibras de coco**

Fonte: Cohibra (2019).

A composição da fibra de coco apresenta muitas variações em função de fatores relacionados à colheita e também, com relação a influência do solo (JAWAD et al., 2017; XIAO et al., 2017).

Sendo assim, composições diferentes foram citadas por outros pesquisadores, sendo demonstrado na Tabela 2.

**Tabela 2 – Composição química da fibra de coco**

Celulose %	Hemicelulose %	Lignina %
43,4	0,25	45,4
43,4-53	14,1	38,3-40,7
32-43	0,15-0,25	40-45
44,2	12,1	32,8
35-60	15-28	20-48

Fonte: Adaptado de Nuraisyah, Nugroho e Fatimah, 2021 e Santos, (2010).

O aprimoramento das propriedades mecânicas é o principal ponto quando se utiliza como de reforço de estruturas, as fibras vegetais que podem alcançar propriedades com níveis superiores a várias fibras sintéticas comumente empregadas na indústria, agregando a isso ao seu baixo valor econômico como já citado. Vários

fatores corroboram a substituição das fibras sintéticas pelas de origem vegetal para fabricação de compósitos em várias aplicações e setores industriais. As mais utilizadas são: juta, sisal, coco, abacaxi e curauá, empregados como reforço em matrizes poliméricas (BARBOSA et al., 2018).

### 2.2.1 Vantagens das fibras vegetais

O emprego das fibras de coco apresenta inúmeras vantagens por ser natural e de fonte renovável e reciclável classificada como fibra dura, tem como importantes componentes a celulose e o lenho que lhe propiciam altos índices de rigidez e dureza, sendo possível sua utilização nos mercados de isolamento térmico e acústico, se tornando assim um material resistente e durável (ADENIYI et al., 2019; VELOSO et al., 2013).

As fibras da casca de coco apresentam vantagem valiosas para reaproveitamento e principalmente em sua utilização nas indústrias que desenvolvem projetos como mecânicas de materiais (NAVEEN et al., 2019; VELOSO et al., 2013). Algumas destas vantagens estão sendo demonstradas na Tabela 3.

**Tabela 3** – Comparação das propriedades mecânicas das fibras

Fibras	Densidade	Alongamento	Resistência à tração	Módulo de Elasticidade
Coco	1,2	30,0	175	4.0 -6,0
Algodão	1,5-1,6	7,0 =8,0	287-597	5,5-12,6
Juta	1,3	1,5-1,8	393-773	26,5
Linho	1,5	2,7-3,2	345-1035	27,6
Cânhamo	-	1,6	690	-
Rami	-	3,6-3,8	400-938	614-128
Sisal	1,5	2,0-2,5	511-635	9,4-22,0
Kraft <sup>a</sup>	1,5	-	1000	40,0
E- vidro	2,5	2,5	2000-3500	70,-
Carbono (padrão)	1,4	3,3-3,7	3000-3150	63,0-67,0

Fonte: Adaptado de Veloso et al. (2013).



A tendência internacional denominada de desmaterialização, caracterizada pela diminuição da utilização de recursos naturais ou geração de resíduos, vem corroborar a utilização das fibras naturais nos processos produtivos (VELOSO et al., 2013).

Torna-se relevante abordar, que com relação às propriedades mecânicas da fibra do coco, pode-se observar que a densidade é bem menor em relação às outras fibras. A sua mistura a outros materiais vai proporcionar um baixo aumento na densidade da mistura e proporcionar um alongamento vantajoso.

### **2.2.2 Utilização de fibras vegetais**

Na América do Sul o Brasil encontra-se em posição de destaque em sua agricultura, contando com uma área de aproximadamente 85 milhões ha, das quais 5-6% são terras aráveis, 22% são pastagens permanentes e 58% florestas. Os órgãos Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), o Conselho Nacional de Pesquisa Científica e Tecnológica (CNPq) e a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), tem desenvolvido no país estudos sobre a exploração e o uso deste rico recurso natural renovável. Estes órgãos comprovam a riqueza de nosso potencial agrícola e em especial o cultivo de fibras naturais (EMBRAPA, 2019; MARTINS; JÚNIOR, 2011).

Nota-se que o potencial e projetos para a exploração das fibras naturais no Brasil é enorme, o que justifica a crescente demanda por pesquisas na área. Neste contexto, observa-se que pesquisadores vêm desenvolvendo estudos com utilização de fibras naturais, e descrevem que as mesmas vem sendo uma alternativa sócio econômica, visando materiais que apresentem vantagens a conservação do meio ambiente (EMBRAPA, 2019; MARTINS; JÚNIOR, 2011).

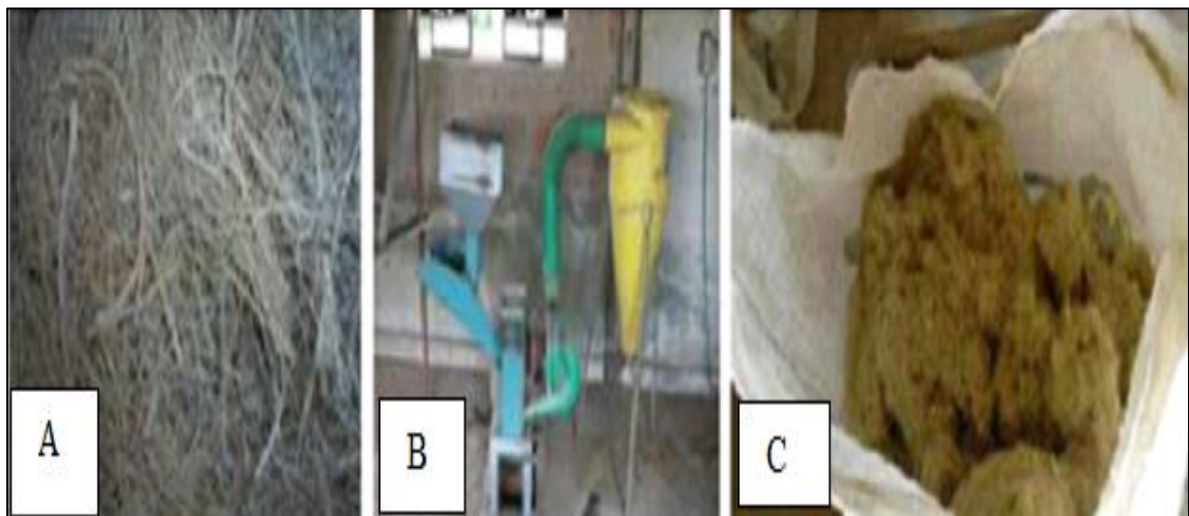
Vale enfatizar, que há vários anos, as fibras naturais vêm sendo demonstradas como importantes para o processo de crescimento industrial, onde em 2006 a Assembleia Geral das Nações Unidas proclamou o ano de 2009 como “Ano Internacional das Fibras Naturais”. Quando sediamos o Congresso Internacional de Fibras Naturais, realizado em Salvador - BA (FIEB, 2018).

Neste sentido, diversos projetos e estudos se concentram em encontrar uma opção para o cultivo e utilização de fibras naturais para fabricação de produtos amplamente empregados no desenvolvimento de novos materiais.

Do ponto de vista industrial e tecnológico, o emprego das fibras de cocos na produção de compósitos poliméricos, pode contribuir para evitar problemas de poluição ambiental, uma vez que a mistura de fibras naturais com plásticos reciclados pós-consumo representa uma menor agressão ao meio ambiente, sendo aplicável em vários setores industriais (CASTILHOS, 2011; LOPES, 2012; NURAISSYAH; NUGROHO; FATIMAH, 2021).

A Figura 8 mostra a fibra de coco longa preparada para moagem com objetivo de diminuir seu tamanho para facilitar seu emprego em processos industriais.

**Figura 8** – Moagem da fibra de coco. A) Fibras; B) Moinho; C) Fibra de coco moída



Fonte: Pires (2009).

Pires (2009), demonstra em sua análise com fibras de coco, banana, curauá, fique, piteira, sisal e taboa, que as fibras vegetais estão sendo utilizadas como reforço em materiais compósitos poliméricos, em especial os compósitos de matriz termorrígida.

Torna-se relevante apontar, que as fibras vegetais têm ampla vantagem e as variedades de utilização são amplas, estando normalmente associadas a baixo custo de produção e processamento, como já citadas anteriormente neste estudo. As fibras além de ser biodegradáveis, atóxicos, passíveis de reciclagem, ter baixas densidades, e possuem boas características mecânicas (DEBNATH, 2016; MACHADO et al., 2020; SANTOS, 2010). A Figura 9 mostra as fibras trituradas.

**Figura 9 – Fibras vegetais**

Fonte: Pires (2009).

### 2.3 ASPECTOS SUSTENTÁVEIS DAS FIBRAS NATURAIS

O desenvolvimento sustentável passa pela redução dos impactos ambientais, redução da poluição ambiental, uso responsável de recursos, responsabilidade financeira e inclusão social. O desenvolvimento sustentável consiste no uso inteligente dos recursos disponíveis, sendo o único caminho para a permanência da vida no planeta (DERNBACH; MINTZ, 2011; LOZANO, 2020).

As fibras naturais são um recurso renovável por excelência, onde absorvem a mesma quantidade de dióxido de carbono que produzem. Durante seu processamento, geram resíduos essencialmente orgânicos e deixam escórias que podem ser utilizados na geração de energia elétrica e são biodegradáveis (BAMIGBOYE et al., 2020; MACHADO et al., 2020).

A questão da sustentabilidade está muito presente nas discussões atuais. Muitos especialistas têm apontado o Brasil como um dos candidatos a ser a grande potência mundial do futuro, mas, isso só será possível através de desenvolvimento sustentado e sustentável. O desenvolvimento sustentável compreende um triângulo

de trabalho composto por biodiversidade, biomassa e biotecnologia (FERREIRA, 2018).

A partir de meados da década de 1990 a produção agrícola brasileira passa a receber com mais intensidade influência direta da tecnologia, da ciência e da informação, signos do atual período histórico técnico-científico informacional, que tem na globalização da produção e do consumo um de seus pilares fundamentais em estratégias sustentáveis (CAVALCANTE, 2015).

O desenvolvimento sustentável, a redução da demanda por materiais de origem fóssil e a redução da produção de resíduos contaminantes são fatores que se relacionam entre si e que, bem conduzidos, podem resultar em benefícios importantes para o meio ambiente (CAVALCANTE, 2015; FERREIRA, 2018).

Neste contexto, o interesse nos estudos do uso de fibras de coco na preparação de compósitos poliméricos constitui uma alternativa de obtenção de novos materiais com menor impacto ambiental porque permite substituir parte dos polímeros obtidos a partir de material fóssil por fibras de origem agrícola, de caráter renovável e biodegradável (GELFUSO et al., 2011).

Observa-se, que nos últimos anos vem crescendo a possibilidade de reaproveitamento das fibras, havendo necessidade de novas pesquisas nesta área, com o desenvolvimento de novos produtos que fazem o uso sustentável das fibras, assim como pesquisas que explicam o comportamento desses materiais (FERREIRA, 2018; VELOSO et al., 2013).

Vale ressaltar, que se insere a exploração de fibras naturais, pois, por se tratar de um recurso natural renovável, biodegradável e que auxilia o desenvolvimento socioeconômico de áreas rurais, atende aos conceitos de sustentabilidade tão buscados atualmente (VELOSO et al., 2013).

Existe assim a possibilidade de utilizar essas fibras pelas suas propriedades físico-químicas, que podem ser utilizadas na confecção de diversos materiais como: embalagens, adição da fibra em concreto não estrutural, uso da fibra em compósitos, adição da fibra em misturas asfálticas, mantas de fibra de coco, objetos para jardinagem, dentre outros (FERREIRA, 2018).

As propostas de desenvolvimento sustentável apresentadas por alguns pesquisadores, trazem alternativas para o desenvolvimento socioeconômico, sem que haja um esgotamento de recursos naturais ou queda nos padrões de qualidade de vida devido à degradação ambiental (CAZETTA et al., 2011; FERREIRA, 2018).

A preocupação ambiental tem gerado interesse na pesquisa de novos materiais que estejam alinhados com os princípios da sustentabilidade. Entre esses materiais, atualmente, encontram-se os compósitos produzidos a partir de recursos de fontes renováveis (CAZETTA et al., 2011).

Neste contexto, os recursos naturais possuem um papel importante em atividades econômicas, com sua utilização podendo contribuir para o desenvolvimento econômico e social de áreas rurais e regiões subdesenvolvidas, entre estes recursos as fibras naturais se destacam para alcançar o desenvolvimento sustentável (GELFUSO et al., 2011).

Produzir materiais com compósito polimérico reforçado com fibras naturais ajuda o desenvolvimento sustentável, porque são eficientes não poluem o ambiente de trabalho (CAZETTA et al., 2011; GELFUSO et al., 2011).

## 2.4 RESINAS

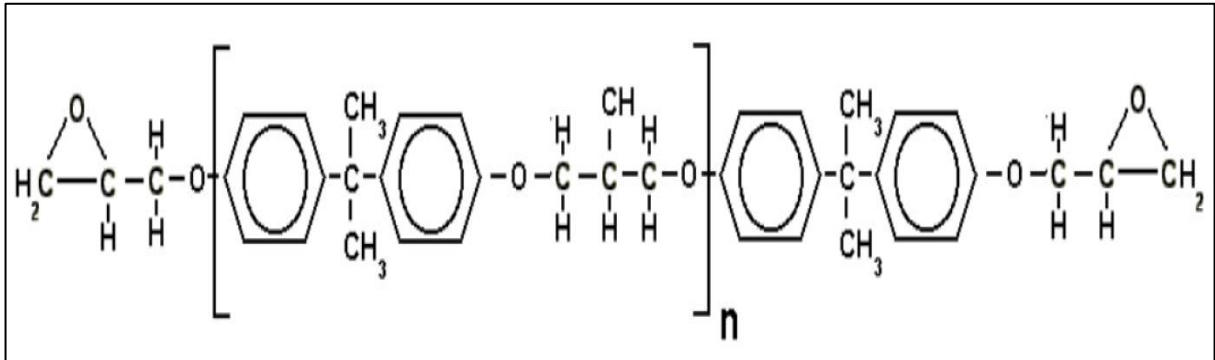
Nesta subseção a literatura científica é revisada para introduzir os fundamentos teóricos dos temas resina epóxi e resina poliestireno de alto impacto e pôr fim a resina utilizada poliéster. Foram priorizados os artigos de revistas científicas.

### 2.4.1 Resina epóxi

As resinas epóxi tem a propriedade termorrígida, que endurece quando se misturada a um agente catalisador. Essas propriedades são obtidas à partir de uma reação entre epícloridrina e Bisfenol-A (LIU et al., 2018; LUZURIAGA et al., 2016; OKABE et al., 2016).

As resinas epóxi fazem parte dos polímeros termoestáveis usados para aplicações estruturais ou como adesivos. Esses polímeros pois detém boa resistência química, alta força de tensão e módulo e térmica além de baixo custo (GAO et al., 2017; KUMAR et al., 2018; LIU et al., 2018).

As resinas epóxi à de Bisfenol-A são as mais utilizadas dentre as resinas epóxi, pela versatilidade e baixo custo. Essa resina é proveniente da reação de Epícloridrina e Bisfenol-A (Figura 10), podem ser líquidas, semissólidas ou sólidas de acordo com o peso molecular (GONÇALVES, 2010; LUZURIAGA et al., 2016; RAVI KUMAR; KIRAN; SREEBALAJI, 2017b).

**Figura 10 – Fórmula da resina epóxi**

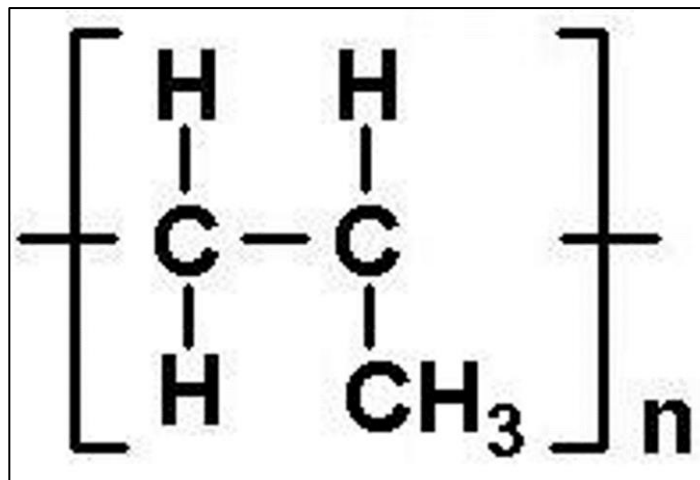
Fonte: Adaptado de Silaex (2019b).

As resinas epóxi podem ser utilizadas na manutenção industrial como: solda a frio adesivo, calafetante, primer anticorrosivo, revestimento com resistência química, etc. Na construção civil elas são utilizadas para: adesão de concreto novo com velho, reconstituição de concreto, remenda de fissuras, junta de dilatação e rejunte de piso industrial (SILAEX, 2019a).

Essa resina pode ser utilizada também como como adesivos de metais e madeiras para colagem automotivas, lazer, naval, entre outras possibilidades (SILAEX, 2019a).

#### 2.4.2 Resina polipropileno

O Polipropileno (PP) é uma resina termoplástica polimerizado a partir do gás propileno. O PP ao lado do polietileno (Figura 11), é uma das principais poliolefinas existentes no mercado (DIAS et al., 2021; SILVA et al., 2019).

**Figura 11 – Fórmula Química do Poliestireno de Alto Impacto**

Fonte: Adaptado de Silva et al. (2019).

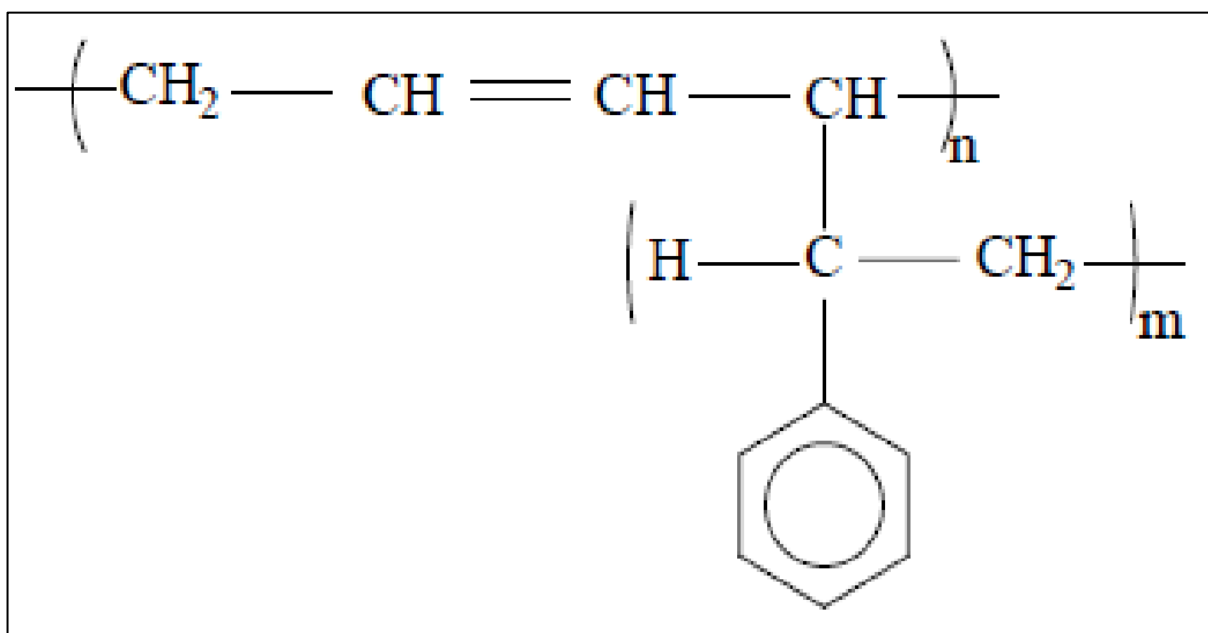
As principais características da resina PP é a capacidade de fazer dobras, sendo assim tem ampla aplicação industrial na fabricação de embalagens e recipientes de diferentes formas (ALTEZ BASALDÚA et al., 2020; AMARAL, JR; MORAVIA, 2020).

Por sua sensibilidade a agentes oxidantes e raios UV, o polipropileno resina possui fácil moldagem e coloração, tendo entre suas características a absorção de pouca umidade e uma grande resistência química, sendo também atóxico (DOMINGUES et al., 2020; MANICA et al., 2019; SCHNEIDER et al., 2020).

### 2.4.3 Resina poliestireno de alto impacto

O Poliestireno de Alto Impacto, popularmente conhecido como como HIPS (High Impact Polystyrene) é um polímero de estireno que contém os elementos butadieno como agente tenacificante (Figura 12) (LI; XU, 2021; SOUZA; BORGES, 2011).

**Figura 12** – Fórmula da resina poliestireno de alto impacto



Fonte: Adaptado de Souza e Borges (2011).

O HIPS é obtido por meio da polimerização in situ de estireno na do polibutadieno, essa resina possui desempenho superior ao homopoliestireno. O HIPS é resistente a líquidos orgânicos, óleos e graxas. O HIPS é um homopolímero amorfo que tem como característica a transparência cristalina e elevado brilho (PEREIRA, 2016; SOUZA; BORGES, 2011).

O HIPS é utilizado em peças industriais que exigem maior resistência, como armários de geladeira, produtos eletrônicos, peças industriais, grades de ar condicionado, brinquedos, acessórios de móveis, entre outros (LI; XU, 2021; PEREIRA, 2016).

#### **2.4.4 Resina poliéster**

As resinas poliéster são polímeros formados a partir da reação de ácidos orgânicos dicarboxílicos (anidrido maleico ou ftálico) e glicóis, dando origem a moléculas de cadeia longas e lineares. Na qual o poliéster é obtido em etapas através da reação de polimerização por condensação, onde ocorre a reação de um álcool com um ácido gerando uma reação de esterificação, produzindo um éster e água (POILLUCCI; HANSEN, 2013).

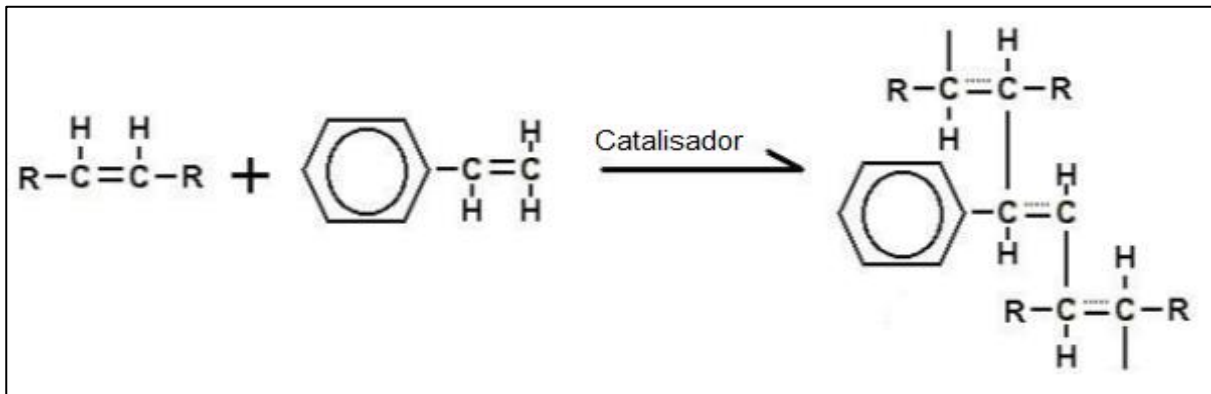
O polímero termorrígido pode ser obtido pela reação entre um ácido saturado, um ácido insaturado e um diol, resultando como produto as resinas poliésteres insaturadas. Esse tipo de resina apresenta ligações simples e duplas em cadeia molecular. Em temperatura ambiente é encontrada no estado líquido, necessitando da aditivos para que ocorra sua solidificação (BOGIATZIDIS; ZOUMPOULAKIS, 2021; STEVENS; GUTHRIE, 2021).

Quando se solidificam assumem uma estrutura termorrígida irreversível apresentando propriedades mecânicas, resistência à corrosão, propriedades elétricas, e ataques químicos (BOGIATZIDIS; ZOUMPOULAKIS, 2021; STEVENS; GUTHRIE, 2021).

Apesar de suas vantagens como estabilidade térmica, resistência química, trabalhabilidade, baixo custo, este tipo de resina apresenta baixa resistência à fratura necessitando da incorporação de um material de reforço capaz de melhorar essa propriedade (SANCHEZ et al., 2010). A Figura 13 mostra o processo de cura da resina poliéster insaturada.



**Figura 13 – Fórmula da resina poliéster insaturada**



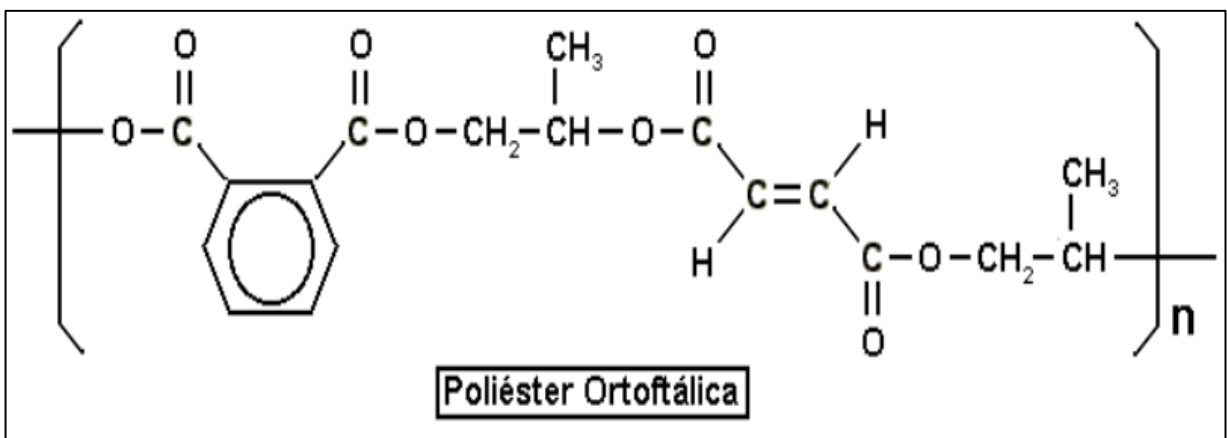
Fonte: Rodrigues (2008).

Os tipos de reforços empregados podem ser em partículas ou fibras, sendo distribuídos na resina em direções e tamanhos diversos. As fibras podem ser aplicadas de forma curta ou longas (RODRIGUES, 2008).

As propriedades das resinas de poliéster variam de acordo com seu processo de obtenção, podendo variar de rígidas a quebradiças e de macio a flexível. Sua baixa viscosidade, solidificação rápida e baixo custo contribuem para que seja vantajosa em relação as outras resinas (RODRIGUES, 2008).

Dentre as resinas poliésteres são divididas em ortoftálica, isoftálicas e tereftálicas. As resinas ortoftálicas são formadas a partir do ácido ftálico e seu anidrido, devido à dificuldade de obtenção de polímeros com alta massa molecular. As suas propriedades mecânicas e químicas são inferiores às resinas isoftálicas (Figura 14).

**Figura 14 – Fórmula da resina poliéster ortoftálica**



Fonte: Silaex (2019a).

A regeneração do anidrido ftálico a partir de ésteres e ácido ftálico contribui para formação de compostos com baixa massa molecular e quimicamente instáveis.

As propriedades e métodos de obtenção das resinas ortoftálicas tornam seu uso mais comuns e de menor custo para usos básicos não nobres (SANCHEZ et al., 2010; SILAEX, 2019b).

#### 2.4.5 Matrizes Termoestáveis

Os polímeros termoestáveis têm uma estrutura do tipo treliça baseada em ligações covalentes, com entrelaçamento transversal de cadeias geradas pelo calor ou por uma combinação de calor e pressão durante a reação de polimerização. São geralmente obtidas sob a forma de duas resinas líquidas, a primeira contendo agentes de cura, endurecedores e plastificantes, enquanto a outra contém cargas e materiais de reforço, que podem ser orgânicos ou inorgânicos. Portanto, não podem ser reaquecidos e refundidos como os termoplásticos (BOGIATZIDIS; ZOUMPOULAKIS, 2021; RODRIGUES, 2008; STEVENS; GUTHRIE, 2021).

Na Tabela 4 podem ser conferidos os polímeros termoestáveis com suas principais características e algumas de suas aplicações.

**Tabela 4 – Polímeros Termoestáveis**

<b>Termoestáveis</b>	<b>Características</b>	<b>Aplicações</b>
Epóxi	Excelente combinação de propriedades mecânicas e resistência à corrosão, relativamente barato e boas propriedades elétricas.	Tomadas, colas, revestimentos, folhas reforçadas com fibra de vidro, entre outros
Polipropileno	Capacidade de fazer dobras, sendo assim tem ampla aplicação industrial na fabricação de embalagens e recipientes de diferentes formas e atóxico	Embalagens e recipientes de diferentes formas
Poliestireno de Alto Impacto	Elevada resistência mecânica, transparência cristalina e elevado brilho	Armários de geladeira, produtos eletrônicos, peças industriais, grades de ar-condicionado, brinquedos, acessórios de móveis
Poliéster	Excelentes propriedades elétricas, podem ser utilizadas a temperaturas ambientes ou elevadas, frequentemente reforçadas com fibras e elevado custo-benefício	Barcos pequenos, painéis de automóveis, cadeiras, ventiladores, entre outros.

Fonte: Autor (2021).

A resina de poliéster é utilizada em grande escala pela indústria, pois tem baixo custo em relação a outras resinas, versátil, de fácil trabalho, baixa viscosidade e cura rápida. Essa resina tem um teor de monômero de estireno entre 30 e 50% em peso (POILLUCCI; HANSEN, 2013). A matriz polimérica de poliéster reforçada com fibra de coco tem grande aplicação em produtos, pois além do seu baixo custo em relação as outras ela possibilita o desenvolvimento de produtos *ecofriends*, ou seja, ecologicamente responsável. Esses produtos ajudam no aumento da parcela de

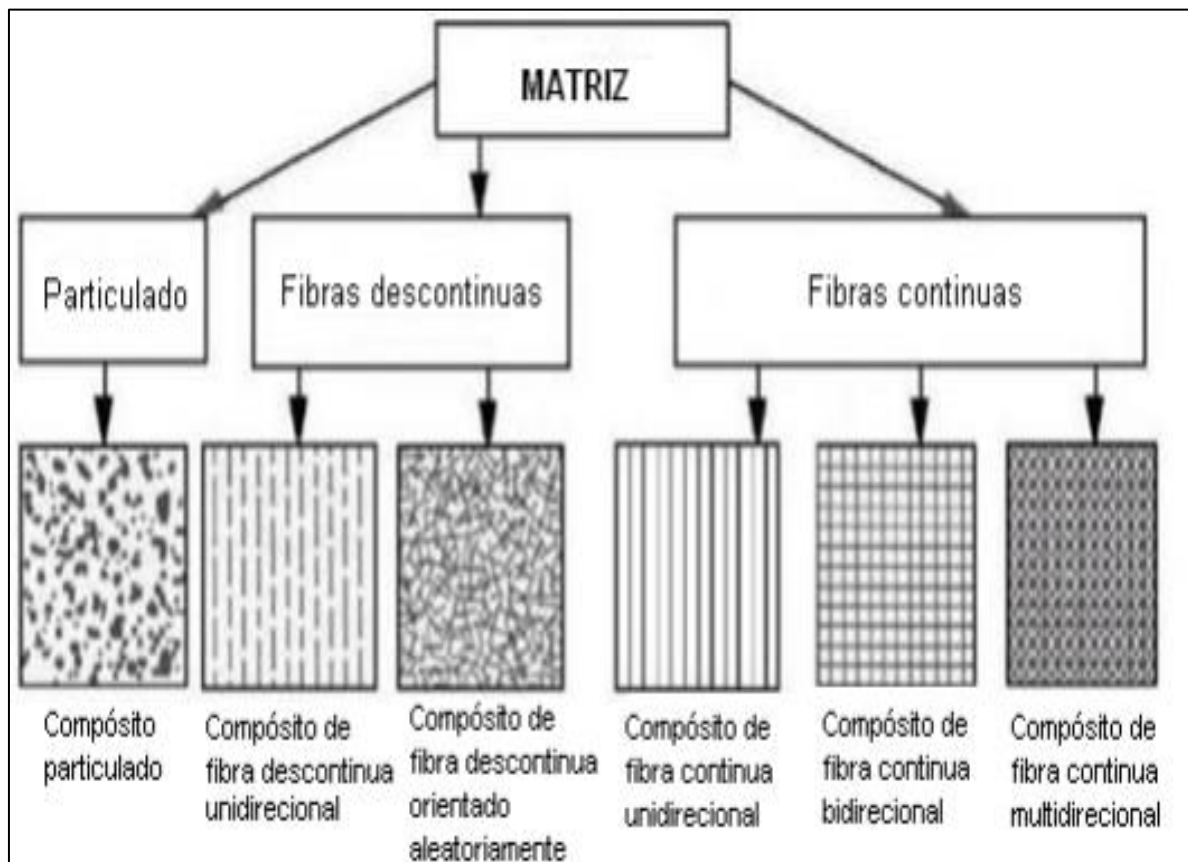
*marketshare*, ou seja dentre as resinas Epóxi, Polipropileno Poliestireno de Alto Impacto e Poliéster, ela proporciona uma escolha mais sustentável para produtos (BOGIATZIDIS; ZOUMPOULAKIS, 2021; POILLUCCI; HANSEN, 2013; STEVENS; GUTHRIE, 2021).

## 2.5 COMPÓSITOS POLIMÉRICOS

Os Materiais compósitos fazem parte da classe de materiais compostos por uma fase contínua e uma fase dispersa, onde suas propriedades constituem a combinação das características dos constituintes individuais (CALLISTER; RETHWISCH, 2016; MARINELLI et al., 2008).

A Figura 15, apresenta que os compósitos podem ser classificados em compósitos carregados com partículas ou compósitos particulados, compósitos carregados com fibras descontínuas, e compósitos carregados com fibras contínuas (CALLISTER; RETHWISCH, 2016).

**Figura 15 – Principais tipos de Compósitos**

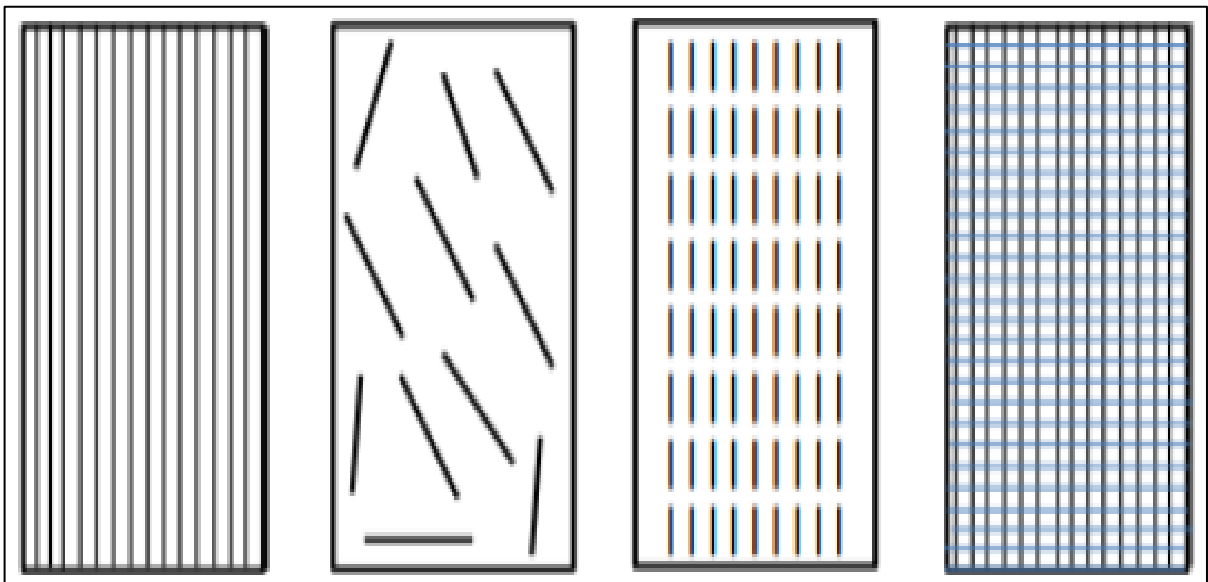


Fonte: Adaptado de Callister e Rethwisch, (2016).

Vale ressaltar, que nos últimos anos houve um grande avanço tecnológico no desenvolvimento de materiais compósitos reforçados com fibras naturais, proveniente do aumento do interesse de grupos de pesquisa e de indústrias em desenvolver e utilizar materiais feitos a partir de matérias primas renováveis (MARINELLI et al., 2008; PEREIRA et al., 2017; ZAMZANI; MYDIN; GHANI, 2019)

Existem pesquisas voltadas para a produção de novos materiais que utilizem as fibras de coco e sejam capazes de atender as necessidades do mercado, como os materiais compósitos da Figura 16 (GELFUSO et al., 2011; SANTOS et al., 2018; ZAMZANI; MYDIN; GHANI, 2019).

**Figura 16** – Representação de diferentes tipos reforço com fibras



Fonte: Adaptado de Callister e Rethwisch, (2016).

As fibras possibilitam o aumento da mecânica do compósito através da transferência de tensão entre fibra e matriz, sendo geralmente empregadas como reforço em matrizes poliméricas. Estudos indicam que as fibras naturais possuem características que possibilitam a substituição das fibras sintéticas em compósitos (CALLISTER; RETHWISCH, 2016; GELFUSO et al., 2011).

A utilização dos de materiais compósitos poliméricos nas indústrias, teve um aumentando considerável. Os compósitos poliméricos podem ser formados com matrizes constituídas por polímeros termorrígidos, termoplásticos e elastômeros. Para utilização em compósitos, deve ser considerada o caráter apolar dos polímeros, pois definem propriedades e aspectos relacionados à baixa dispersão com cargas

inorgânicas de natureza polar (GELFUSO et al., 2011; MARINELLI et al., 2008; SANTOS, 2010).

A combinação de técnicas de injeção e de fibras para fabricar produtos industriais, especialmente de fibra de coco, foi estudada mais intensivamente, utilizando manta em forma de caixas à base de compósitos contendo fibras vegetais para aplicação na área de materiais (Figura 17). Os materiais com alta taxa de reciclagem estão sendo adotados na indústria, a grande aplicação de resinas poliméricas (GELFUSO et al., 2011; WEARN; MONTAGNA; PASSADOR, 2020).

**Figura 17** – Compósitos de fibra manta na forma de caixa. A) matéria prima; B) manta em forma de caixa; C) Caixa compactada



Fonte: Gelfuso et al. (2011).

### 2.5.1 Matriz polimérica com fibras naturais

O uso das fibras naturais não exige muita energia para o seu processamento e apresenta baixo custo, tendo um rendimento econômico melhor do que as fibras sintéticas. O uso dessas fibras em materiais compósitos é fortemente promissor, visando um futuro que utilize materiais sustentáveis, resistentes e com baixo custo (BALLA et al., 2019).

O material compósito polimérico é feito de uma matriz termorrígida ou termoplástica, que tem a função de reter adequadamente a fase dispersa e transferir

a tensão aplicada a ela. Para aplicações estruturais, os polímeros termorrígidos são os mais comumente usados para produzir produtos de alta resistência. Verifica-se que materiais compósitos reforçados com fibras naturais apresentam melhor resistência elétrica, alta resistência à fratura, boas propriedades mecânicas e boas propriedades térmicas (SANJAY et al., 2018).

Os materiais compósitos mais comumente usados e tecnicamente importantes são aqueles que possuem uma fase de reforço na forma de fibras. O objetivo principal é combinar boa rigidez e resistência com fibras e matriz de baixa densidade. (JR; RETHWISCH, 2016).

A qualidade da interface fibra-matriz é fundamental para o uso de fibras naturais como reforço de materiais plásticos. Isso afetará diretamente as propriedades mecânicas finais do material composto (ADENIYI et al., 2019; SARIKAYA; ÇALLIOĞLU; DEMIREL, 2019)

A interface entre a fibra e a matriz é responsável pela transferência de carga da matriz para o material de reforço. Essas características são particulares em cada sistema. Fibras resistentes com elevada deformação à fratura aumentam o índice de energia da fratura compósito. O comportamento tensão-deformação das fibras afeta a tenacidade dos materiais compósitos reforçados pelas mesmas (CALLISTER; RETHWISCH, 2016).

## 2.6 ENSAIOS MECÂNICOS

Na presente dissertação são realizados experimentos de dureza, tração e flexão com foco em compósitos reforçados com fibra de coco. Os estudos a seguir são baseados nas normas de *American Society for Testing and Materials* (ASTM).

### 2.6.1 Ensaio de dureza

Por definição, a dureza é uma medida da capacidade de um material em resistir à deformação plástica local. Portanto, o objetivo do teste de dureza é compreender a resistência mecânica e ao desgaste, o controle de qualidade do processo de conformação do plástico e a verificação das condições de tratamento químico (CORKUM et al., 2018; RUBIO et al., 2019; WANG; MA; SUN, 2015).

O ensaio de dureza Shore mede a resistência à penetração ou ao risco. Esse ensaio consiste na altura de rebote ou perda de energia cinética quando uma barra

de massa com um padrão de ponta de diamante circular cai de uma altura predeterminada, atinge a superfície da amostra e retorna. Portanto, o princípio do impacto elástico parcial é usado (CORKUM et al., 2018; RUBIO et al., 2019).

A dureza para polímeros pode ser medida em escalas Shore A (menos duros), e Shore D (mais duros). A Dureza Shore A é utilizada em ensaios com materiais mais flexíveis, com cargas de 1Kg, já a dureza Shore D é utilizada para materiais mais rígidos com cargas de 5Kg (HUSSIAN SIYAL et al., 2021; JAVNI et al., 2015).

Uma das principais vantagens na realização do ensaio de dureza Shore é a praticidade dos equipamentos de mesa como também equipamentos portáteis, que fácil aquisição, possibilitando o uso para medir durezas de peças de grandes dimensões (HUSSIAN SIYAL et al., 2021; JAVNI et al., 2015; RAVI KUMAR; KIRAN; SREEBALAJI, 2017a).

Existe a necessidade de outras características para quantificar e representar o material. Sendo assim a utilização de outros parâmetros como tensão de ruptura e alongamento complementam amplamente as características de um material ou compósito (MAHMOUDI et al., 2017; RAVI KUMAR; KIRAN; SREEBALAJI, 2017b).

### **2.6.2 Ensaio de tração**

O ensaio de tração consiste na aplicação de carga de tração uniaxial em um corpo de prova até sua ruptura. Ao fixar o corpo em um equipamento de ensaios, este pode ser alongado ou torcido até sua ruptura. O corpo de prova precisa ser previamente padronizado conforme normas, para que os resultados obtidos possam ser mensurados e avaliados sistematicamente (D'ANTINO; PAPANICOLAOU, 2018; FERRARA et al., 2016).

Existe também a possibilidade de modificar a intensidade com que as forças são exercidas sobre esse, a fim de obter a verificação dos resultados desejados. O ensaio de tração é caracterizado por ser destrutivo ou seja incapacitar o corpo de prova (D'ANTINO; PAPANICOLAOU, 2018; FERRARA et al., 2016; TRETYAKOVA et al., 2019).

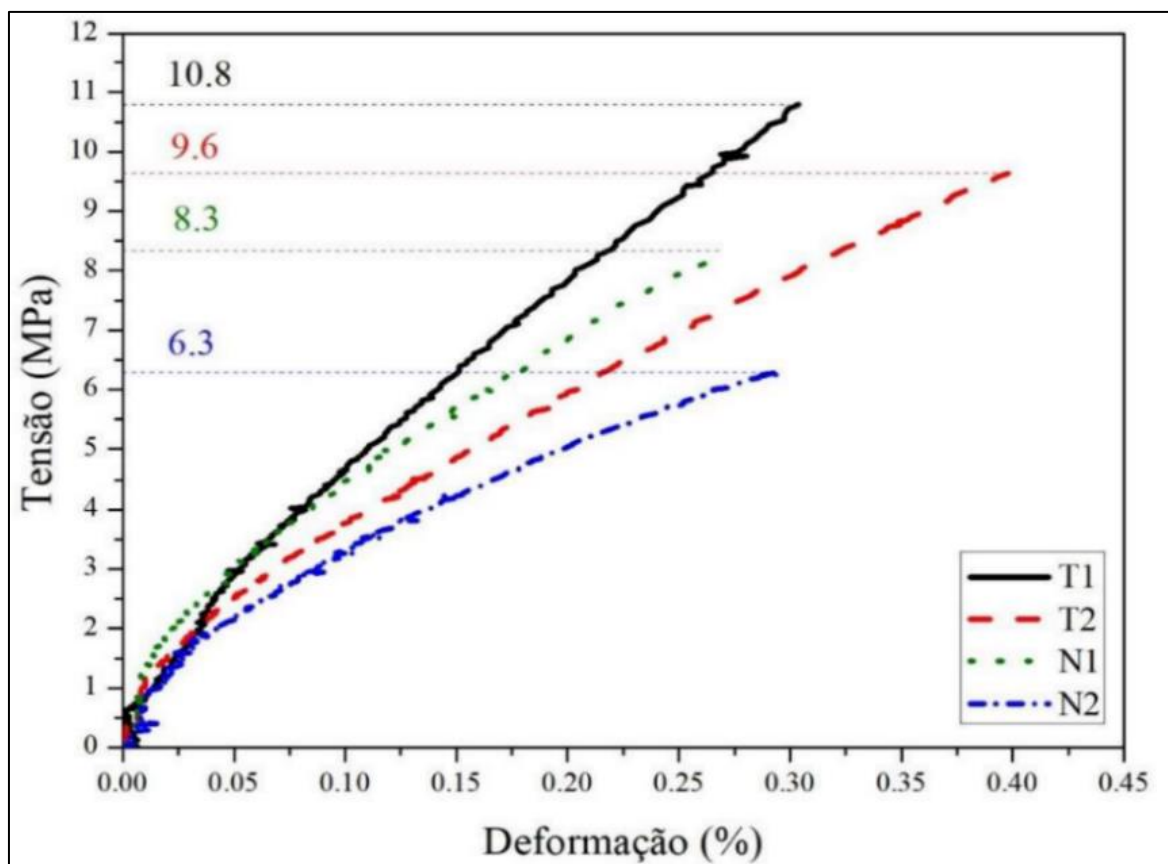
A pesquisa dos limites de tração de compósitos, leva em conta a interação entre matriz e fibra, pois é sua interação que estabelece a adesão da fibra sobre a matriz. Quando realizado adequadamente o ensaio de tração tem o resultado no levantamento da curva de tensão de tração pela deformação sofrida pelos Copos de

Prova (Cp's), que quantifica as características mecânicas (módulo de elasticidade e a resistência à tração) (CALLISTER; RETHWISCH, 2016; FERRARA et al., 2016).

A resistência máxima de tração  $\sigma_{máx}$  é medida com a carga máxima  $F_{máx}$  atingida durante o ensaio por unidade de área no momento de ruptura. O módulo de elasticidade  $E$  é medido pela razão entre a tensão  $\sigma$  e a deformação  $\epsilon$ , no regime elástico. Ele identifica a rigidez do material ou a resistência do material a deformação plástica (CALLISTER; RETHWISCH, 2016; FERRARA et al., 2016; HIBBELER, 2019).

A Figura 18 mostra o gráfico do ensaio de tração de Oliveira (2018), utilizando resina poliéster com diferentes teores de fibra de coco e tratamentos superficiais.

**Figura 18** – Ensaio de tração de compósito fibra de coco



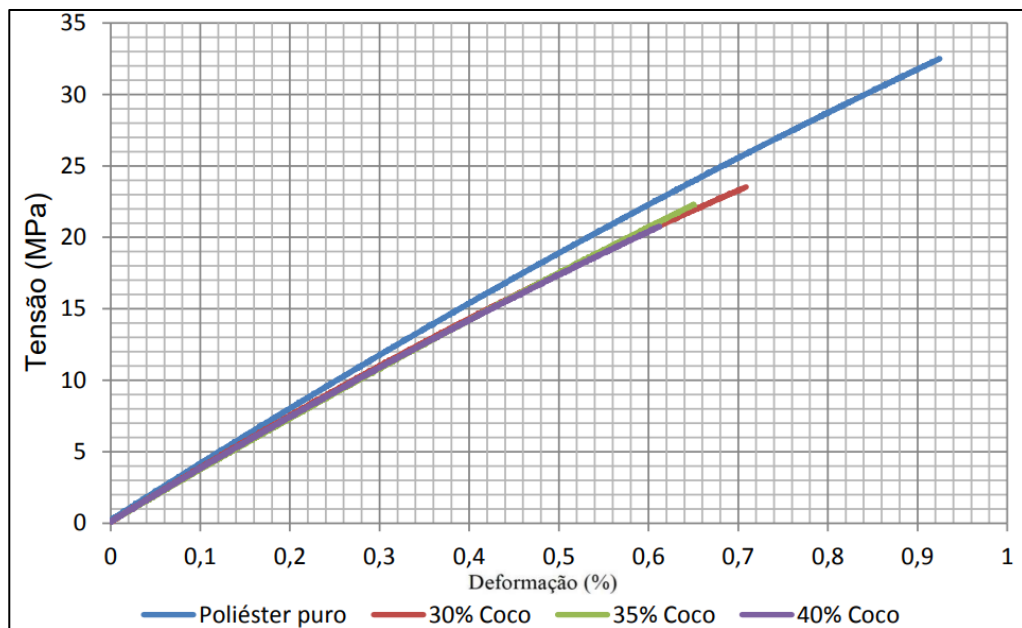
Fonte: Oliveira (2018).

Analisando o gráfico é possível observar os resultados com 40% de fibra de coco obteve o melhor desempenho. O limite de resistência à tração foi de aproximadamente 11 MPa (OLIVEIRA, 2018).

A Figura 19 mostra o gráfico do ensaio de tração de Taborda (2014), utilizando resina poliéster com 0%, 30%, 35% e 40% de fibra de coco.



**Figura 19** – Ensaio de tração de compósito com 0%, 30%, 35%, e 40% de fibra de COCO

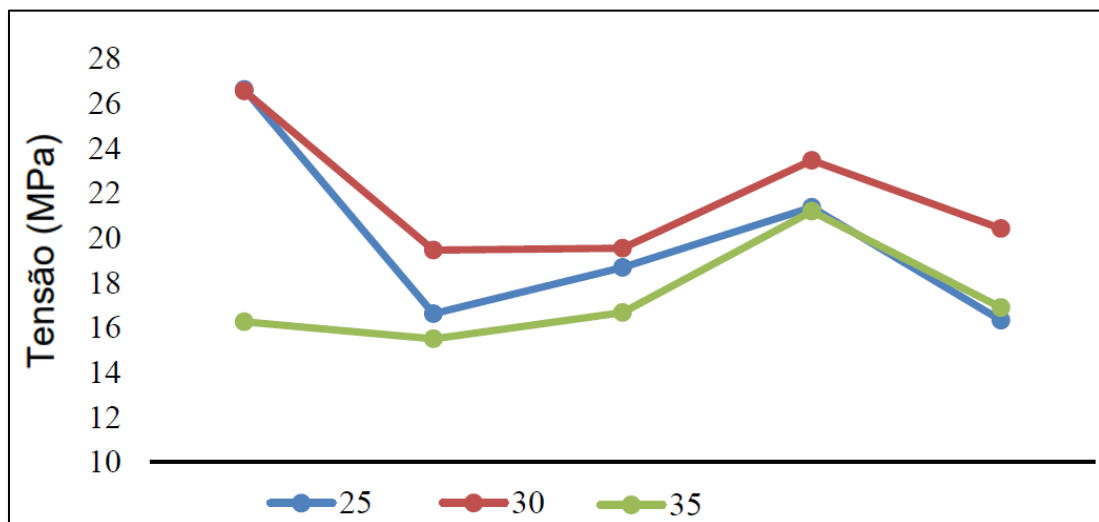


Fonte: Adaptado de Taborda (2014).

Analisando o gráfico é possível observar os resultados com 30% de fibra de coco obteve o melhor desempenho. O limite de resistência à tração foi de aproximadamente 24 MPa (TABORDA, 2014).

A Figura 20 mostra o gráfico do ensaio de tração de Ortiz (2017), utilizando 5 Cp's conforme destacam os pontos no gráfico. Foi utilizado a poliéster com 25%, 30% e 35% de fibra de coco.

**Figura 20** – Ensaio de tração de compósito com 0%, 10%, 20%, e 30% de fibra de COCO

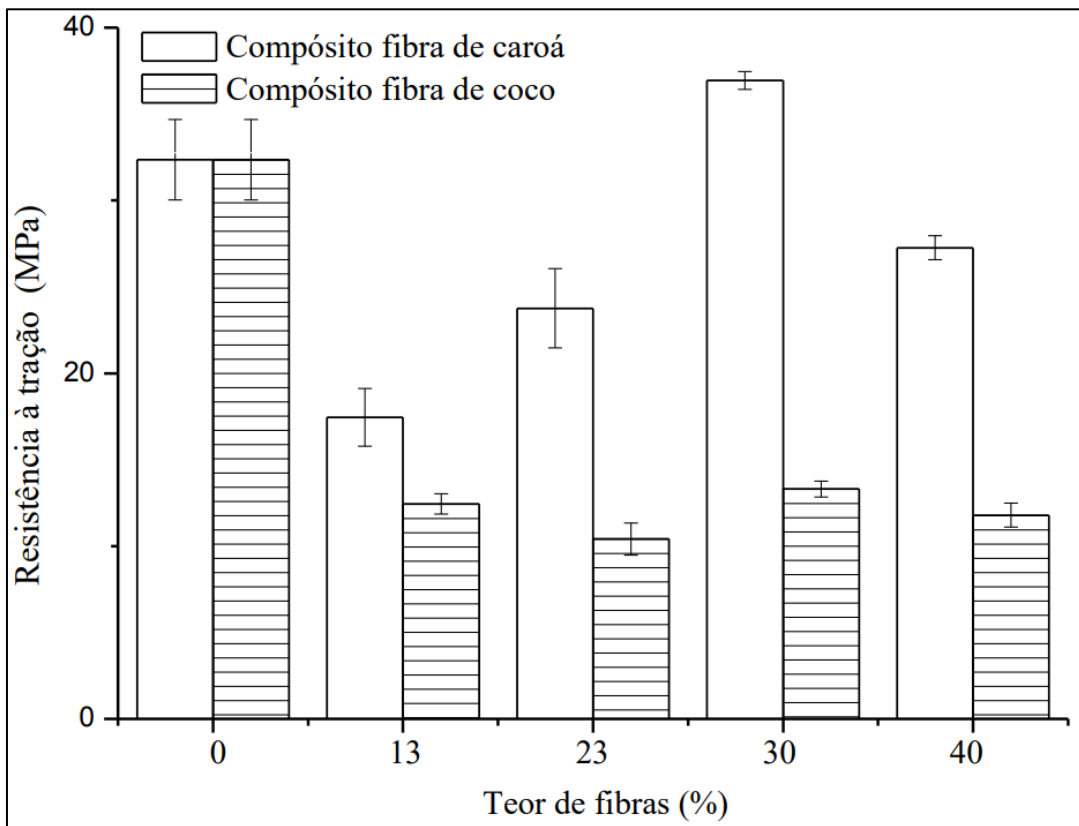


Fonte: Adaptado de Ortiz (2017).

Analisando o gráfico é possível observar os resultados com 30% de fibra de coco obteve o melhor desempenho da média dos 5 corpos de prova. O limite de da média dos Cp's na resistência à tração foi de aproximadamente 21,88 MPa (ORTIZ, 2017).

A Figura 21 mostra o gráfico do ensaio de tração de Bezerra (2014), utilizando resina poliéster com 0%, 30%, 35% e 40% de fibra de coco.

**Figura 21** – Ensaio de tração de compósito com 0%, 13%, 23%, 30% e 40% de fibra de caroá e coco

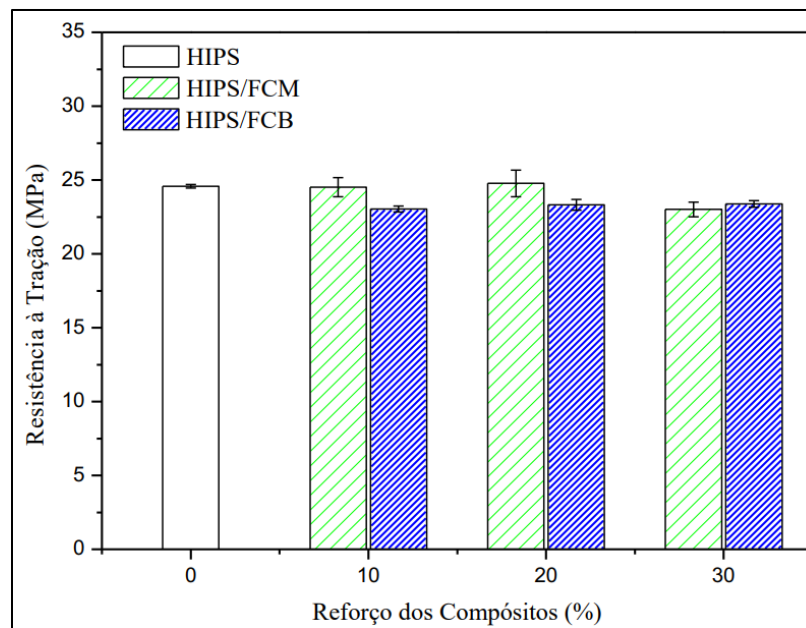


Fonte: Adaptado de Bezerra (2014).

Analisando o gráfico é possível observar os resultados com 30% de fibra de coco apresentam o melhor rendimento com adição da fibra de coco. O limite de resistência à tração foi de aproximadamente 18 MPa (BEZERRA, 2014)

A Figura 22 mostra o gráfico do ensaio de tração de Benini (2011), utilizando resina poliestireno de alto impacto com 0%, 10%, 20% e 30% de fibra de coco.

**Figura 22** – Ensaio de tração de compósito com 0%, 10%, 20%, e 30% de fibra de COCO

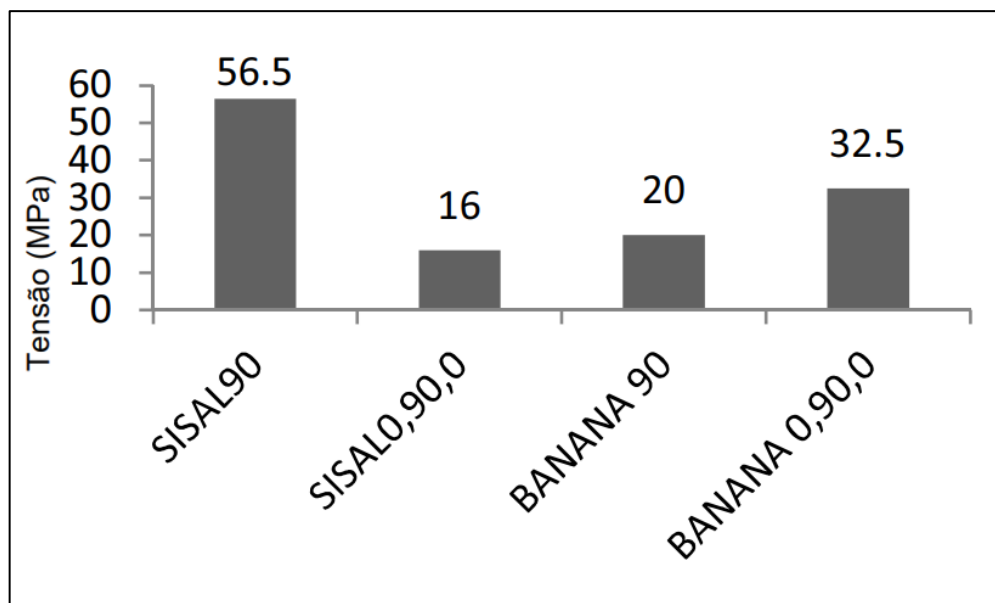


Fonte: Benini (2011).

Analisando o gráfico é possível observar os resultados com 20% de fibra de coco obteve o melhor desempenho. O limite de resistência à tração foi de aproximadamente 25 MPa (BENINI, 2011).

A Figura 23 mostra o gráfico do ensaio de tração de Badrinath e Senthilvelan (2014), utilizando resina epóxi com 12% de fibra de banana.

**Figura 23** – Ensaio de tração de compósito com 12% de fibra de banana

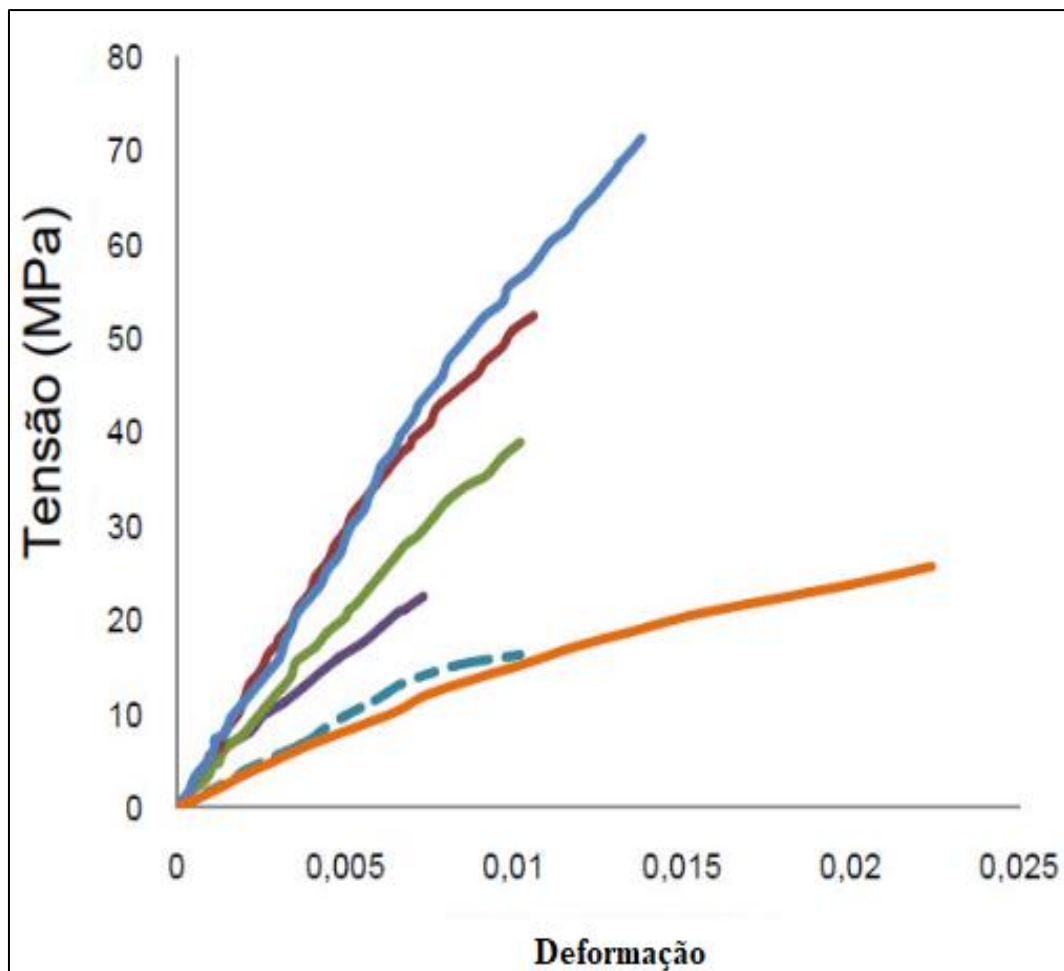


Fonte: Badrinath e Senthilvelan (2014).

Analisando o gráfico é possível observar os resultados com 12% de fibra de coco obteve o melhor desempenho. O limite de resistência à tração foi de aproximadamente 20 MPa (BADRINATH; SENTHILVELAN, 2014).

A Figura 24 mostra o gráfico do ensaio de tração de Guerrero et al. (2013), utilizando resina poliéster com 7,5% de fibra de coco e 7,5% de fibra de vidro.

**Figura 24** – Ensaio de tração de compósito com 7,5% de fibra de coco e 7,5% de fibra de vidro.

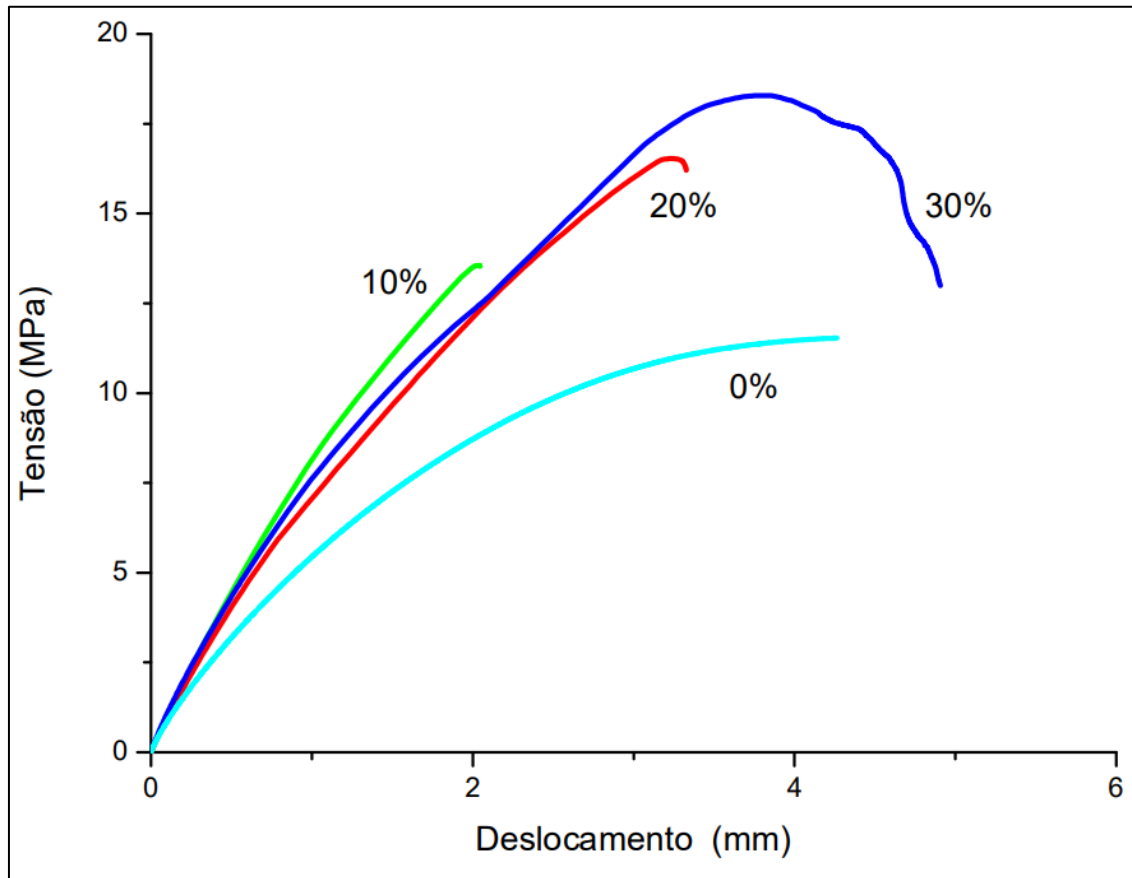


Fonte: Adaptado de Guerrero et al. (2013).

Analisando o gráfico é possível observar os resultados com 7,5% de fibra de coco e 7,5% (linha laranja) de fibra de vidro obteve o melhor desempenho. O limite de resistência à tração foi de aproximadamente 38,6 MPa (GUERRERO et al., 2013).

A Figura 25 mostra o gráfico do ensaio de tração de Gonçalves (2010), utilizando resina epóxi com 30% de fibra de coco.

**Figura 25** – Ensaio de tração de compósito com 30% de fibra de coco.



Fonte: Adaptado de Gonçalves (2010).

Analisando o gráfico é possível observar os resultados com 30% de fibra de coco e obteve o melhor desempenho. O limite médio de resistência à tração foi de aproximadamente 17,7 MPa (GONÇALVES, 2010).

### 2.6.3 Ensaio de flexão

O ensaio de flexão consiste na resposta de um material sobre forças de dobragem longitudinais, realizadas de maneira crescentes em determinados pontos de uma corpo de prova (MICCOLI et al., 2020; SCUTARU et al., 2019).

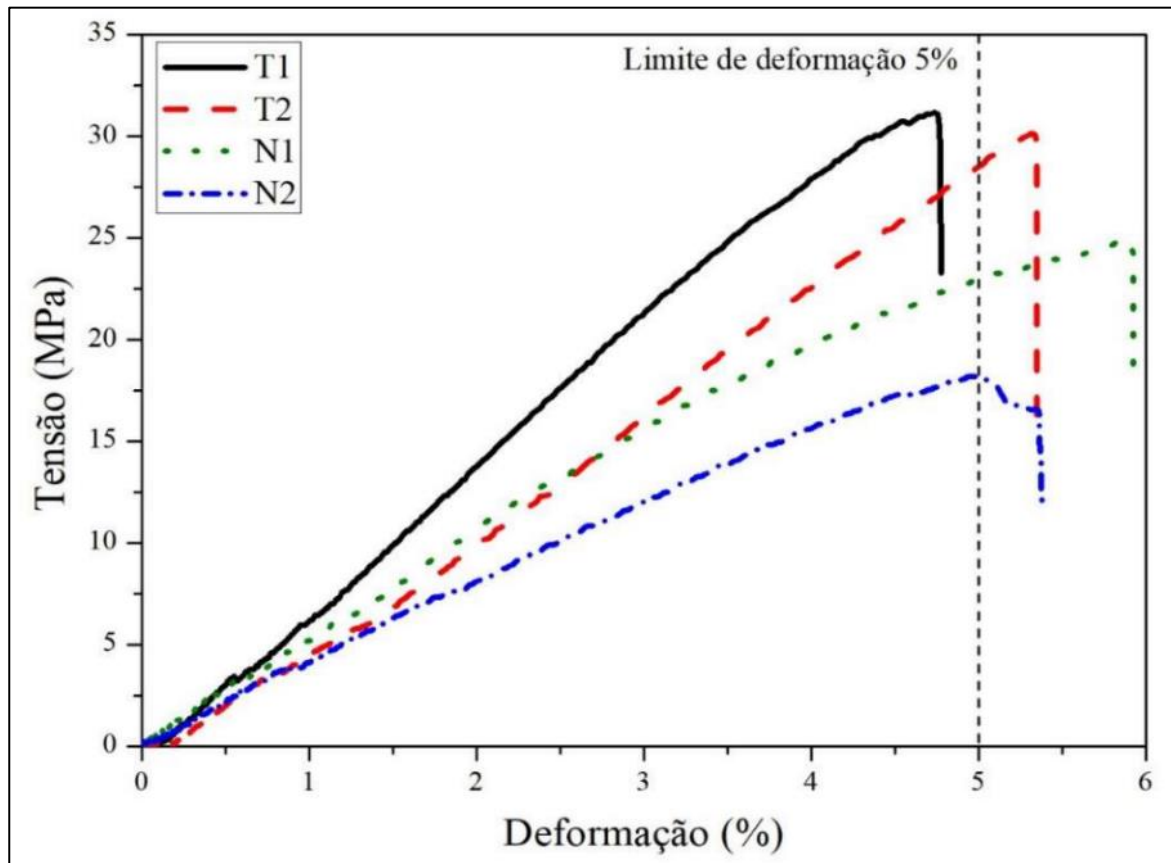
Mede se o valor de carga em relação à deformação máxima sofrida pelo material. O ensaio de flexão pode ser executada de três formas possíveis: método de engaste, ensaio de quatro pontas e ensaio de três pontas (GONÇALVES, 2010; MICCOLI et al., 2020; SCUTARU et al., 2019).

Deve ser enfatizado que o valor da resistência à flexão é geralmente maior do que a resistência à tração porque o cálculo da resistência à flexão é baseado no

comportamento linear do material. A curva tensão-deformação no teste de flexão exibe um comportamento não linear (MICCOLI et al., 2020; SCUTARU et al., 2019).

A Figura 26 mostra o gráfico do ensaio de flexão de Oliveira (2018), utilizando resina poliéster com diferentes teores de fibra de coco e tratamentos superficiais.

**Figura 26** – Ensaio de flexão de compósito fibra de coco

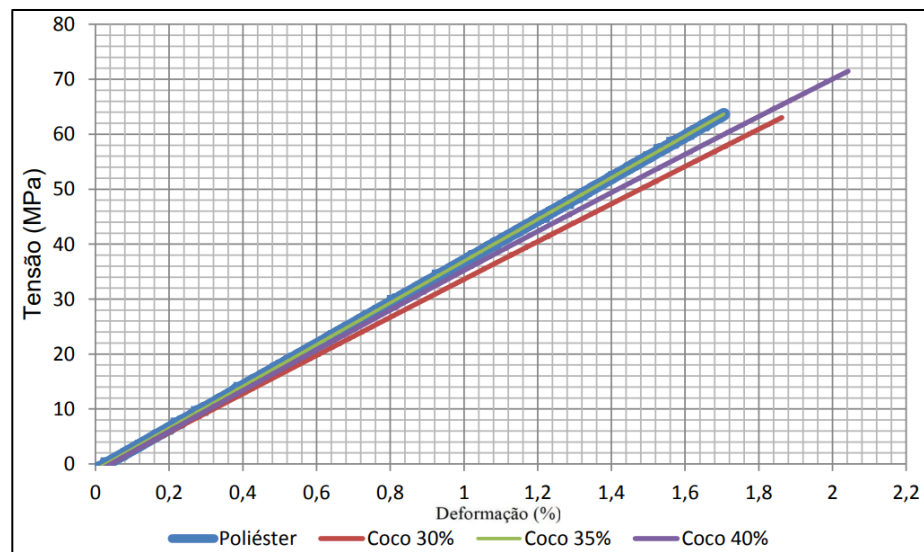


Fonte: Oliveira (2018).

Analisando o gráfico é possível observar os resultados com 40% de fibra de coco obteve o melhor desempenho. O limite de resistência à flexão foi de aproximadamente 33,5 MPa (OLIVEIRA, 2018).

A Figura 27 mostra o gráfico do ensaio de flexão de Taborda (2014), utilizando resina poliéster com 0%, 30%, 35% e 40% de fibra de coco.

**Figura 27** – Ensaio de flexão de compósito com 0%, 30%, 35%, e 40% de fibra de COCO

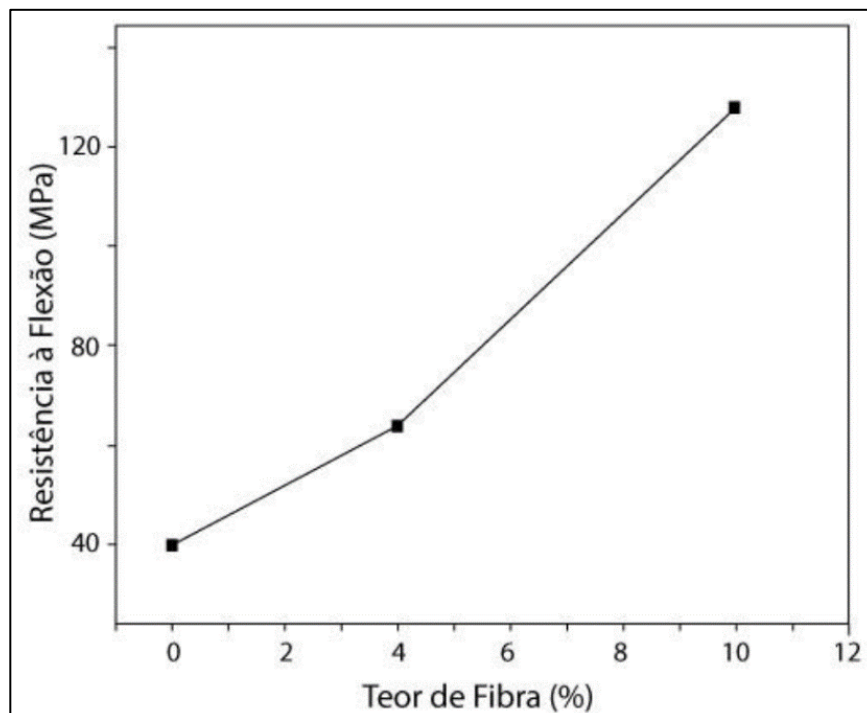


Fonte: Adaptado de Taborda (2014).

Analisando o gráfico é possível observar os resultados com 40% de fibra de coco obteve o melhor desempenho. O limite de resistência à flexão foi de aproximadamente 72 MPa (TABORDA, 2014).

A Figura 28 mostra o gráfico do ensaio de flexão de Ferreira et al. (2017), utilizando resina poliéster com 0%, 4% e 10% de fibra de coco.

**Figura 28** – Ensaio de flexão de compósito com 0%, 4% e 10%, de fibra de coco

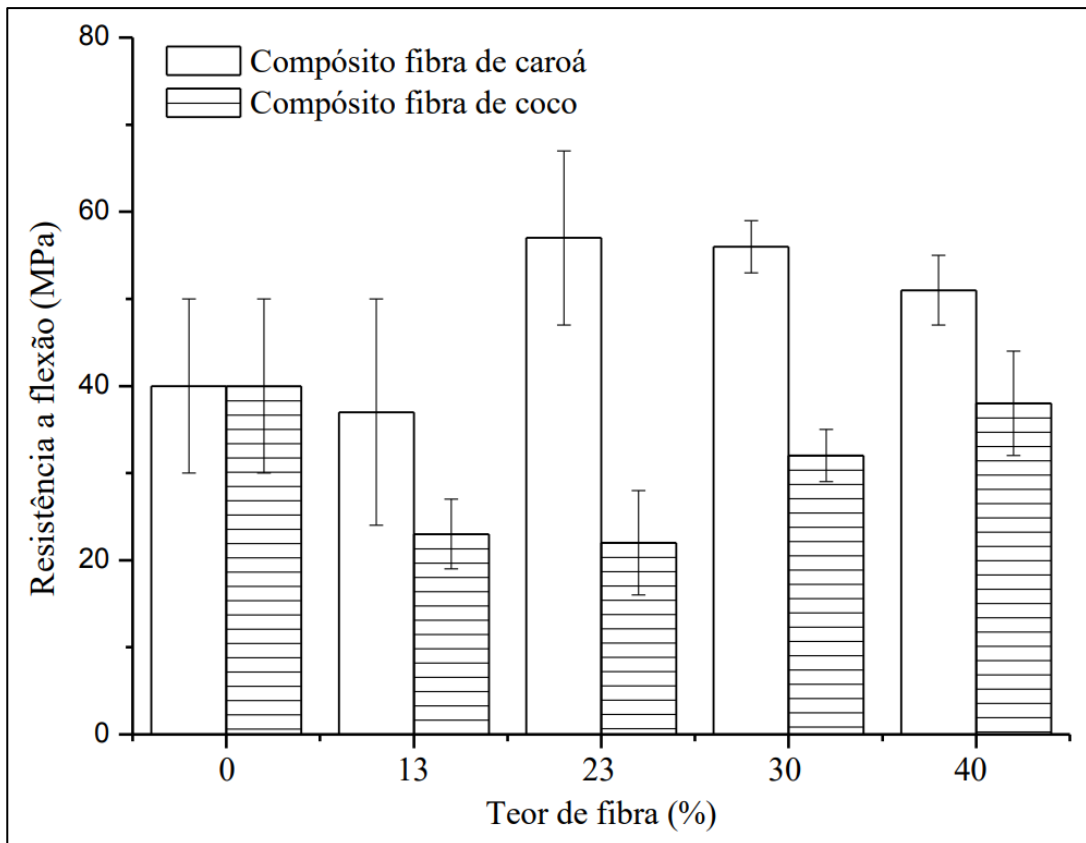


Fonte: Ferreira et al. (2017).

Analisando o gráfico é possível observar os resultados com 10% de fibra de coco obteve o melhor desempenho. O limite de resistência à flexão foi de aproximadamente 120 MPa (FERREIRA et al., 2017).

A Figura 29 mostra o gráfico do ensaio de flexão de Bezerra (2014), utilizando resina poliéster com 0%, 30%, 35% e 40% de fibra de coco.

**Figura 29** – Ensaio de flexão de compósito com 0%, 13%, 23%, 30% e 40% de fibra de caroá e coco



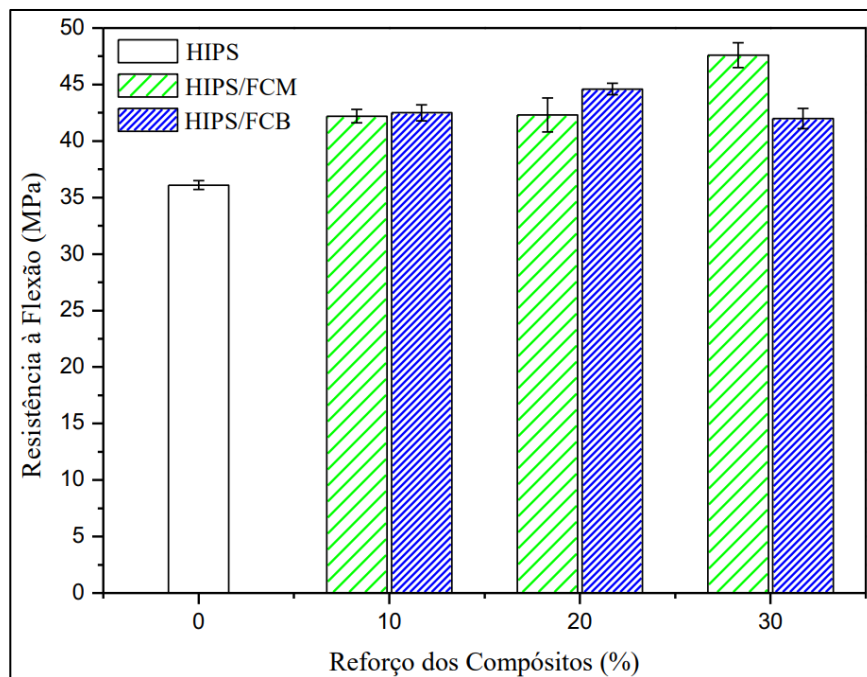
Fonte: Adaptado de Bezerra (2014).

Analisando o gráfico é possível observar os resultados com 30% de fibra de coco obteve o melhor desempenho. O limite de resistência à flexão foi de aproximadamente 55 MPa (BEZERRA, 2014).

A Figura 30 mostra o gráfico do ensaio de flexão de Benini (2011), utilizando resina poliestireno de alto impacto com 0%, 30%, 35% e 40% de fibra de coco.



**Figura 30** – Ensaio de flexão de compósito com 0%, 10%, 20%, e 30% de fibra de coco

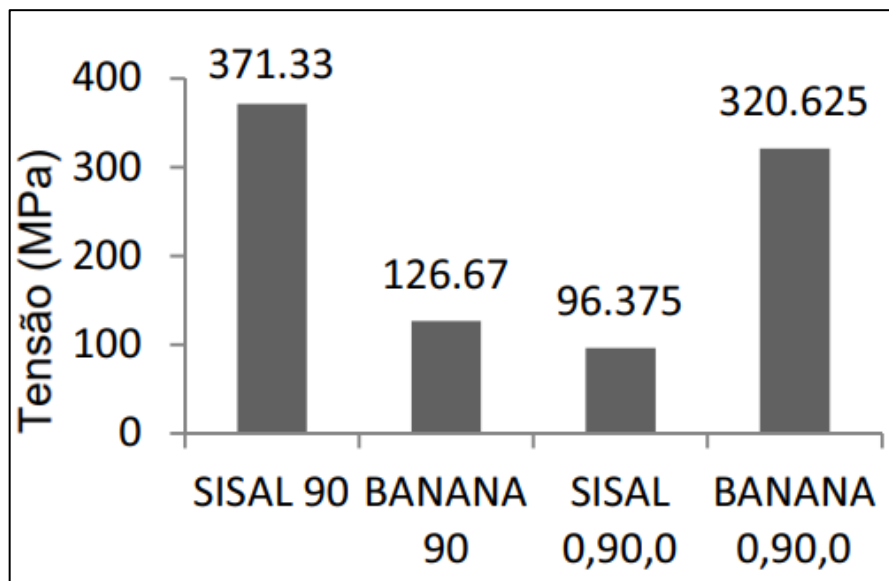


Fonte: Benini (2011).

Analisando o gráfico é possível observar os resultados com 30% de fibra de coco obteve o melhor desempenho. O limite de resistência à flexão foi de aproximadamente 47 MPa (BENINI, 2011).

A Figura 31 mostra o gráfico do ensaio de flexão de Badrinath e Senthilvelan (2014), utilizando resina epóxi com 12% de fibra de banana.

**Figura 31** – Ensaio de flexão de compósito com 12%, de fibra de banana

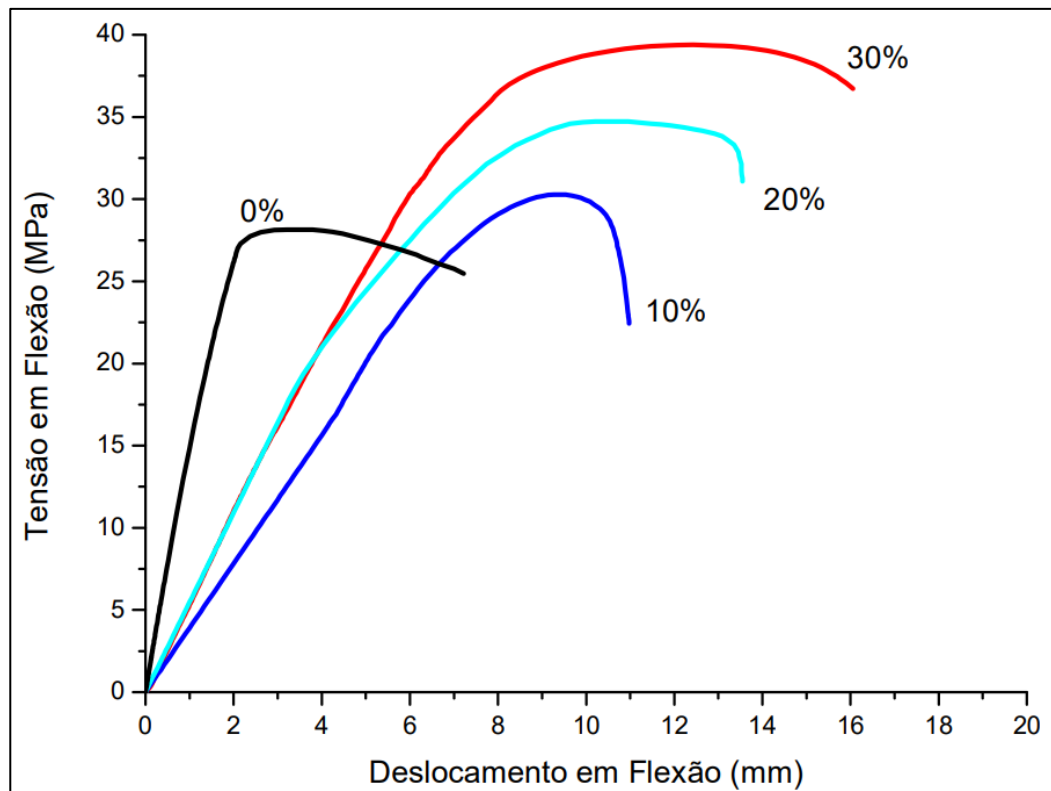


Fonte: Badrinath e Senthilvelan (2014).

Analisando o gráfico é possível observar os resultados com 12% de fibra de coco obteve o melhor desempenho. O limite de resistência à flexão foi de aproximadamente 126,67 MPa (BADRINATH; SENTHILVELAN, 2014).

A Figura 32 mostra o gráfico do ensaio de flexão de Gonçalves (2010), utilizando resina epóxi com 30% de fibra de coco.

**Figura 32** – Ensaio de flexão de compósito com 30%, de fibra de coco



Fonte: Gonçalves (2010).

Analisando o gráfico é possível observar os resultados com 30% de fibra de coco obteve o melhor desempenho. O limite de resistência à flexão foi de aproximadamente 37,33 MPa (GONÇALVES, 2010).

## 2.7 MICROSCOPIA ÓPTICA

O microscópio óptico funciona por meio de lentes em série que ampliam imagens de amostras pequenas com luz visível. As lentes são colocadas entre a amostra e o olho do visor para ampliar a imagem de modo que possa ser examinada em maiores detalhes (CHEN et al., 2019; MI et al., 2019; RITCHIE et al., 2017).

A microscopia óptica é realizada para observar as características morfológicas de uma amostra. Seu princípio é fundamentado na incidência da luz ou ultravioleta,

que incide em um condensador, transpassa o objeto e é levada para o canhão de lentes convergentes, chamadas de oculares e objetivas (CHEN et al., 2019; JEONG et al., 2016; WANG et al., 2018).

Após o feixe luminoso acertar a lente objetiva, forma-se uma imagem aumentada do objeto, funcionando como uma lupa (CHEN et al., 2019; JEONG et al., 2016; WANG et al., 2018).

A técnica importante para garantir imagem mais precisa e clara é a espessura da secção. Quanto mais fina for a secção, maior será quantidade de luz que transpassará, e conseqüentemente melhor será a imagem (BEZERRA, 2014; CHEN et al., 2019; MI et al., 2019).

A Figura 33 apresenta a imagem das fibras de coco com poliéster ampliada 50 vezes.

**Figura 33** – Imagem da fibra de coco com poliéster



x50

Fonte: Bezerra (2014).

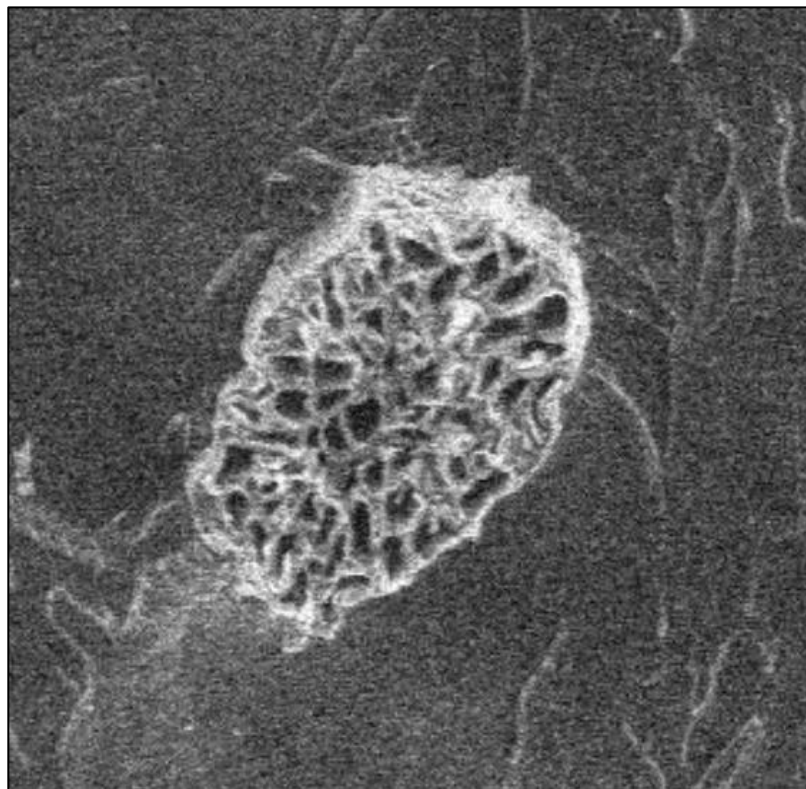
A microscopia óptica é utilizada em áreas de pesquisas como: microbiologia, microeletrônica, a biotecnologia, farmacêutica, materiais, entre outras (CHEN et al., 2019; MI et al., 2019; RITCHIE et al., 2017).

## 2.8 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA

A Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) consiste na utilização de um feixe de elétrons incidentes sobre uma amostra, com o propósito de obter imagens de alta qualidade em escala manométrica, o MEV pode ser utilizado em estudo de fraturas de compósitos de fibras longas ou curtas (LIU et al., 2016; MARCEAU et al., 2016; RONG et al., 2017).

Essas análises possuem variáveis como: carga do meio, a natureza, quantidade de vazios e interação da fibra com a matriz. As fraturas identificadas pela análise podem revelar áreas nas quais ocorreram falhas em compósitos tais como: falhas de ligação, trincas e adesão fibra/matriz (HERNANDEZ; SOUFEN; ORLANDI, 2017; LIU et al., 2016). A Figura 34 apresenta a imagem das fibras de coco com poliéster ampliada 50 vezes.

**Figura 34** – Secção transversal de uma fibra de coco



Fonte: Taborda (2014).

As imagens obtidas no MEV são realizadas por meio de feixes por meio de filamentos pré aquecidos que ao serem direcionados a amostra são focalizados por lentes eletromagnéticas, ao atingirem a amostra, elétrons são obtidos, porém para o MEV, a análise é feita utilizando elétrons retro espelhados e elétrons secundários

(BLONSKAYA et al., 2021; GIHWALA; MARS; PINEDA-VARGAS, 2013; HERNANDEZ; SOUFEN; ORLANDI, 2017).

Ao ser feito o MEV é necessário que a região onde a amostra for colocada, fique sob vácuo, para obtenção de imagens mais focalizadas. Além de produzir imagens tridimensionais por conta da elevada profundidade de foco e avaliar características topográficas, o MEV também analisa a composição química das amostras. A MEV possibilita a varredura das fibras brutas e tratadas (GIHWALA; MARS; PINEDA-VARGAS, 2013; HERNANDEZ; SOUFEN; ORLANDI, 2017; MARCEAU et al., 2016).

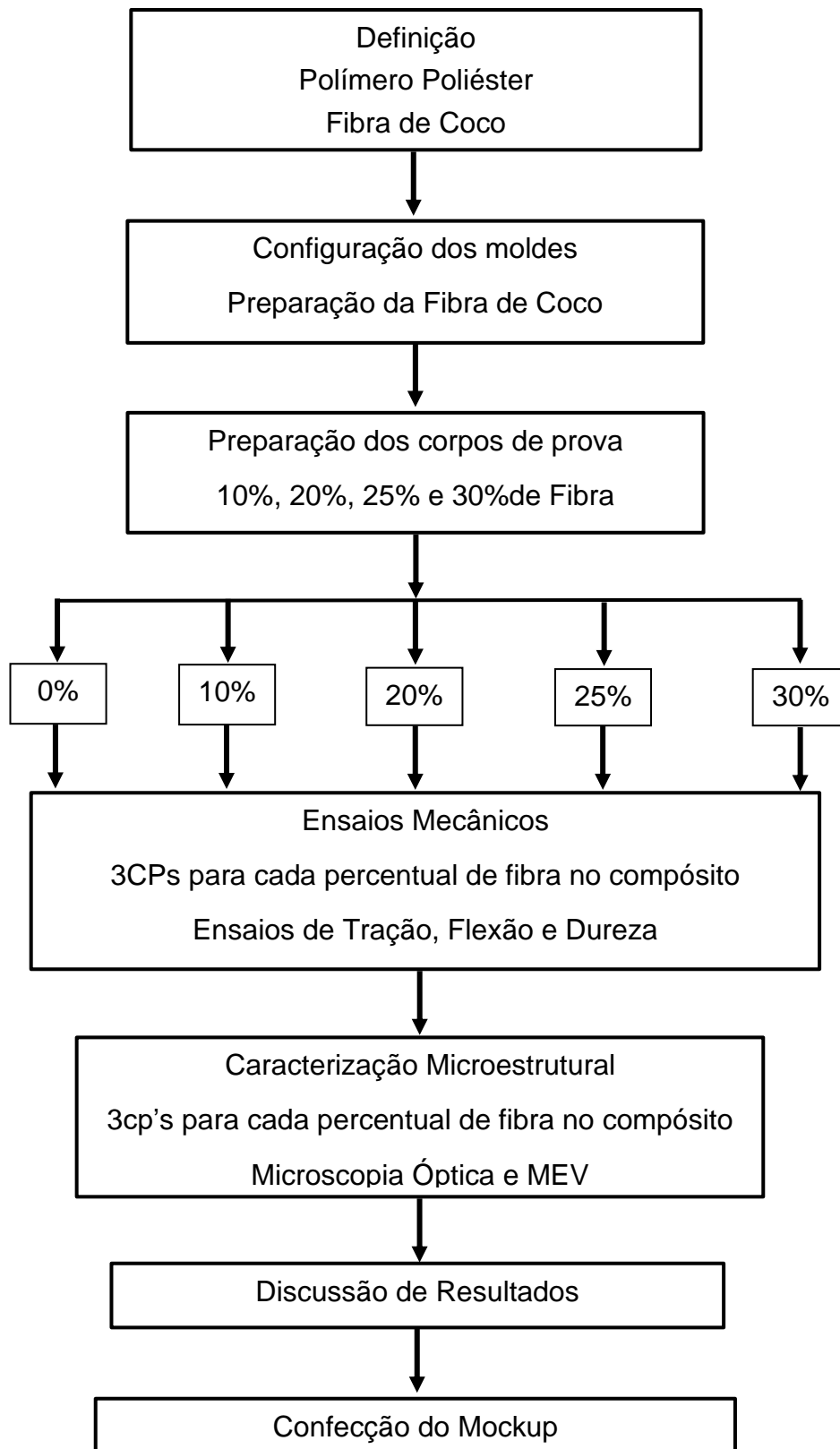
### 3 MATERIAIS E MÉTODO DE PESQUISA

Este capítulo apresenta os materiais e a metodologia experimental adotada para confecção dos compósitos de resina reforçados com fibra de coco. Para realização do experimento foram realizadas 3 Etapas:

1. A primeira etapa experimental consistiu na avaliação e escolha da resina poliéster como matriz polimérica e a fibra de coco como material de reforço. Assim como, a determinação dos teores de fibra em relação à massa de resina e o percentual de endurecedor em relação à massa de resina.
2. A segunda etapa consistiu na preparação dos moldes e confecção dos corpos de prova. Durante esta etapa foram avaliadas as possíveis maneiras de confecção dos Cp's, distribuição e granulometria das fibras.
3. Na terceira e última etapa foram realizados os ensaios mecânicos de dureza, flexão e tração, e os ensaios de caracterização com microscopia óptica e eletrônica de varredura (MEV).

Após os ensaios os resultados serão analisados e discutidos possibilitando definir a melhor composição para aplicação no desenvolvimento de um produto.

O fluxograma da Figura 35 a seguir representa as etapas para realização experimental deste trabalho.

**Figura 35** – Fluxograma das Etapas experimentais deste trabalho

Fonte: Autor (2021).

### 3.1 MATERIAIS UTILIZADOS NO PROCESSO

#### 3.1.1 Resina

O sistema polimérico utilizada para compor a fase matriz escolhido para síntese do compósito em estudo foi uma resina poliéster insaturada tixotrópica do tipo ortoftálica pré-acelerada, sua composição química consiste basicamente em estireno, possui compatibilidade com diversos tipos de fibra, resistente ao intemperismo e raios ultravioletas.

A resina a base de estireno usada neste trabalho foi a Resina UC 2090 do fabricante Redelease Produtos para Indústria LTDA – Barueri – SP- Brasil, adquirida pela empresa Rede Center localizada no município de Volta Redonda -RJ.

A resina poliéster UC 2090 é encontrada em estado líquido necessitando de um agente endurecedor para acelerar seu endurecimento nas condições ambientes. A partir de recomendações do fabricante da resina foi utilizado o catalisador Butanox M-50 do fabricante Redelease Produtos para Indústria LTDA – Barueri – SP- Brasil, adquirida pela empresa Rede Center localizada no município de Volta Redonda – RJ.

Foi escolhida a resina Poliéster devido a seu baixo custo, a sua versatilidade e ser de fácil aplicação nos experimentos.

#### 3.1.2 Fibra de coco

A fibra de coco foi adquirida forma de fibras longas e curtas, com variações de 10 a 143 mm e diâmetro aproximadamente de 0,25 mm, do fabricante e fornecedor Rofertil localizado em Santo Antônio De Posse - SP.

Para obter um tamanho de fibra uniforme e menor, a fibra foi triturada em um moinho de facas no Laboratório de Polímeros da Universidade Estadual de São Paulo – UNESP, localizado no município de Guaratinguetá – SP.

O processo de trituração foi realizado, mecanicamente, usando um moinho de facas modelo TE-650 do tipo Willye, neste equipamento, a redução do tamanho de partícula decorre da ação de facas cortantes que provocam o aumento da superfície de contato forçando as partículas menores que a abertura de peneira utilizada a atravessarem-na para abertura de coleta. Utilizou-se a fibra retida na peneira de 50 mesh.



Na Figura 33 pode-se observar a fibra de coco longa adquirida (Figura 36 A), o moinho de facas utilizado para moer as fibras (Figura 36 B), a fibra de coco após a moagem com diversos tamanhos de partículas da Figura 36 C e na Figura 36 D a fibra de coco com tamanho médio de 50 mesh.

**Figura 36** – A) Fibra de coco longa; B) Moinho de polímeros; C) Fibras de coco triturada; D) Fibra de coco peneirada



Fonte: Autor (2020).

### 3.1.3 Desmoldante

A cera de Carnaúba foi utilizada como desmoldante, sendo um material indicado por suas características de evitar a interação entre compósito e o molde, ser de fácil aplicabilidade e seu custo/benefício também influenciou na sua escolha para

este estudo. Neste estudo utilizou-se a Cera de Carnaúba TecGlaze-N Mold Release Wax do fabricante Polinox do Brasil, adquirida da empresa Redecenter localizada no município de Volta Redonda – RJ.

### 3.2 PREPARAÇÃO DOS MOLDES

Os moldes foram preparados conforme a norma ASTM D 638 – 14 que define os padrões de medidas para confecção de Cp's para os ensaios mecânicos de flexão e tração.

Para confecção dos moldes foram utilizados: borracha de silicone líquida azul P5 de baixa viscosidade e catalizador Ref: 0711557, ambos do fabricante Redealease, adquiridos da empresa Redecenter S.A localizada no município de Volta Redonda, cera de carnaúba como desmoldante, placa de vidro de 5mm de espessura como base, massa acrílica de modelagem, e corpos de prova de copolímero para dar formato ao molde.

Primeiramente a placa de vidro foi preparada com o desmoldante cera de carnaúba para facilitar a retirada dos moldes da placa de vidro,

Em seguida os Cp's de copolímeros foram fixados com auxílio de cola Tek-Bond na placa de vidro mantendo uma distância de aproximadamente 1cm entre eles. A massa de modelar acrílica foi utilizada para formar as bordas em volta dos Cp's e determinar a altura dos moldes, conforme podemos observar na Figura 37.

**Figura 37 – Preparação dos moldes**



Fonte: Autor (2020).

A borracha de silicone foi previamente homogeneizada com auxílio de uma espátula, e em seguida o catalisador foi adicionado a borracha de silicone em percentual de 3% m/m (indicação do fabricante).

A aplicação da borracha de silicone deve ser realizada logo após a sua mistura com catalisador, uma vez que, o catalisador acelerara seu endurecimento. Conforme podemos observar na Figura 38, a aplicação deve ser vagarosa para que não ocorra a formação de bolhas de ar que prejudicam o formato dos moldes.

**Figura 38** – Preparação do molde borracha de silicone



Fonte: Autor (2020).

Para secagem dos moldes, a placa de vidro com a borracha de silicone foi mantida por 48h em uma superfície plana e em local arejado para que sua completa secagem em temperatura ambiente (Figura 39).

**Figura 39** – Secagem do molde



Fonte: Autor (2020).

A desmoldagem deve ser realizada de maneira vagarosa, uma das bordas de massa acrílica é retirada e o molde é puxado lentamente para que não ocorra sua ruptura (Figura 40).

**Figura 40 – Molde de silicone**



Fonte: Autor (2020).

Após desmoldado o molde foi submetido à limpeza com álcool etílico para retirar os resíduos de cera de carnaúba.

### 3.3 PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Os corpos de prova foram preparados pelo processo de modelagem por contato manual que consiste na impregnação das fibras com a resina, e sua compactação feita de forma manual diretamente no molde utilizando uma espátula ou pincel que ajudam a eliminar bolhas de ar.

O processo de moldagem por contato manual é assim denominado devido às baixas pressões que ocorrem, e se realiza a temperatura ambiente, podendo o tempo de polimerização ser diminuído caso venha a se aumentar controladamente a temperatura. Depois é feita a desmoldagem e, a para a finalização do processo, retira-se as rebarbas e faz-se o acabamento desejado.

Com base na literatura, os Cp's foram confeccionados na proporção percentual de massa/massa em relação a fibra/resina e massa/massa em relação catalisador/resina. A proporção de catalisador adotada foi de 20% em relação a massa

do compósito, esse valor foi determinado levando em consideração o tempo e a temperatura de polimerização do compósito.

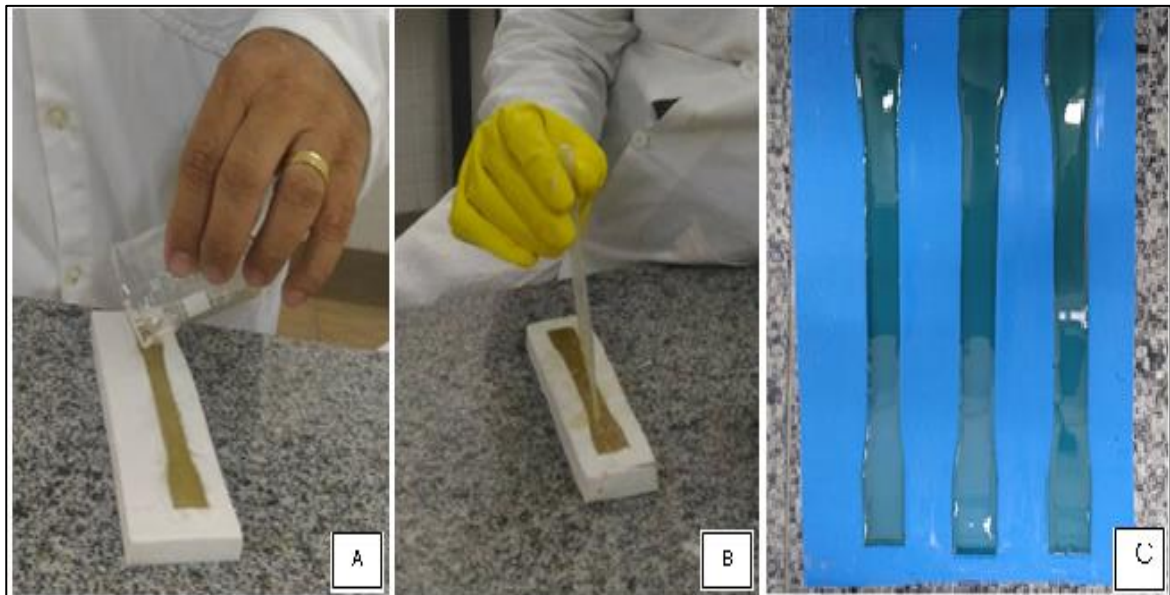
Para cada batelada de Cp's preparou-se uma quantidade de 120g de compósito, sendo esta quantidade suficiente para obter 5Cp's, com facilidade na mistura e boa homogeneidade.

### 3.3.1 Preparação dos corpos de prova sem reforço de fibra de coco

Os Cp's contendo apenas resina poliéster como matriz polimérica (0% de fibra de coco) foi confeccionado com 20g de catalisador e 80g de resina. A resina foi adicionada em um Becker e pesada em balança analítica com precisão de 4 casas decimais modelo: AG200 com capacidade de 200g no Laboratório de Química do Colégio ICT, Volta Redonda.

Após a pesagem o catalisador foi adicionado vagarosamente no recipiente contendo a resina e misturado com auxílio de uma pipeta para auxiliar na eliminação de bolhas de ar, conforme Figura 41.

**Figura 41** – A) Confeção dos Cp's; B) Eliminação de bolhas de ar; C) Cp's 0% fibra



Fonte: Autor (2020).

O período de cura dos corpos de prova foi de 24h em temperatura ambiente para sua completa polimerização. Após esse período os Cp's foram retirados dos moldes e preparados com lixamentos das suas bordas para os ensaios mecânicos.

### 3.3.2 Preparação dos corpos de prova com reforço de fibra de coco

No presente trabalho foram confeccionados compósitos de matriz polimérica com o reforço de fibra de coco, nas proporções de 10%, 20%, 25% e 30% (m/m).

Os valores de frações mássicas de reforço foram determinados a partir de pesquisas na literatura. A Tabela 5 apresenta as porcentagens e a massa de fibra de coco, endurecedor e resina poliéster.

**Tabela 5 – Porcentagens e a massa de fibra de coco**

AMOSTRA	% DE FIBRA	Peso de Fibra	% endurecedor	Peso de Endurecedor	Peso de Resina
CP-1	10%	10g	20%	20g	90g
CP-2	20%	20 g	20%	20g	80g
CP-3	25%	25 g	20%	20g	75g
CP-4	30%	30g	20%	20g	70g

Fonte: Autor (2021).

Para cada percentual foram preparados 120g de compósito, quantidade esta suficiente para preparar todos Cp's. Os materiais foram e pesados em balança analítica com precisão de 4 casas decimais modelo: AG200 com capacidade de 200g no Laboratório de Química do Colégio ICT, Volta Redonda, (Figura 42).

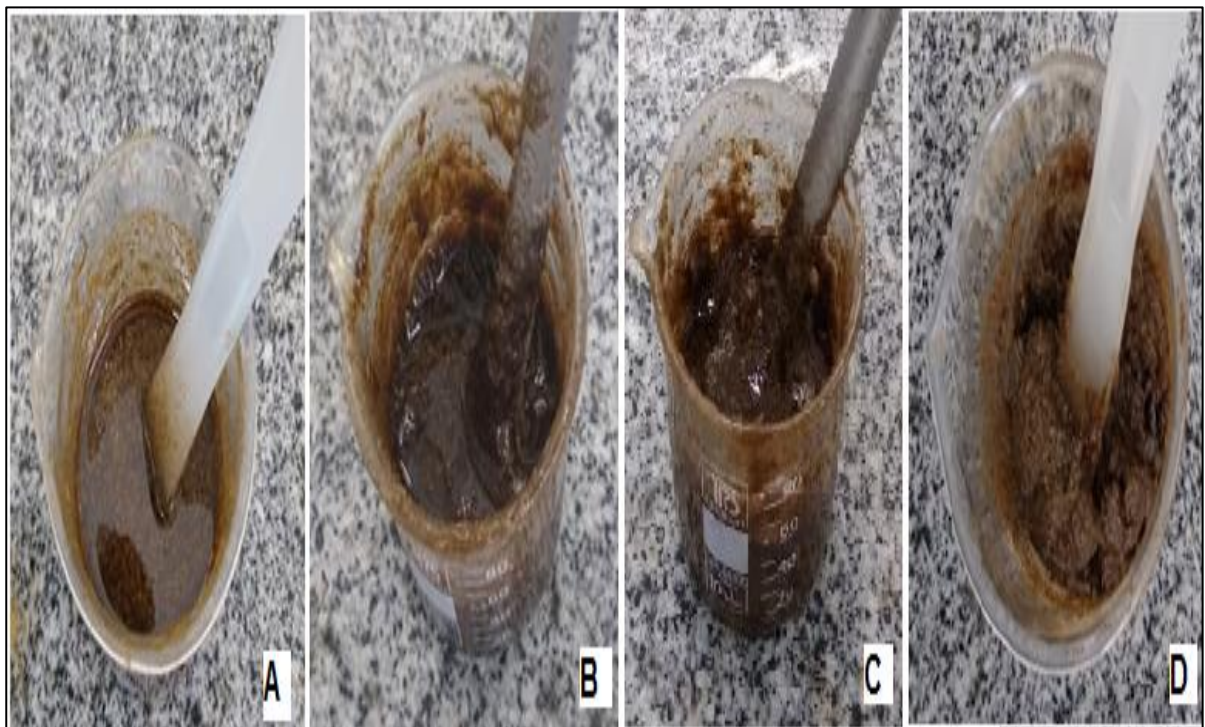
**Figura 42 – Preparação e Pesagem do material**



Fonte: Autor (2020).

Após a pesagem dos materiais realizou-se a mistura do compósito. Primeiramente misturou-se a fibra de coco com a resina até que toda a fibra fique encharcada de resina (Figura 43).

**Figura 43 – Mistura da resina com fibra. A) 10% de fibra; B) 20% de fibra; C) 25% de fibra; D) 30% de fibra**



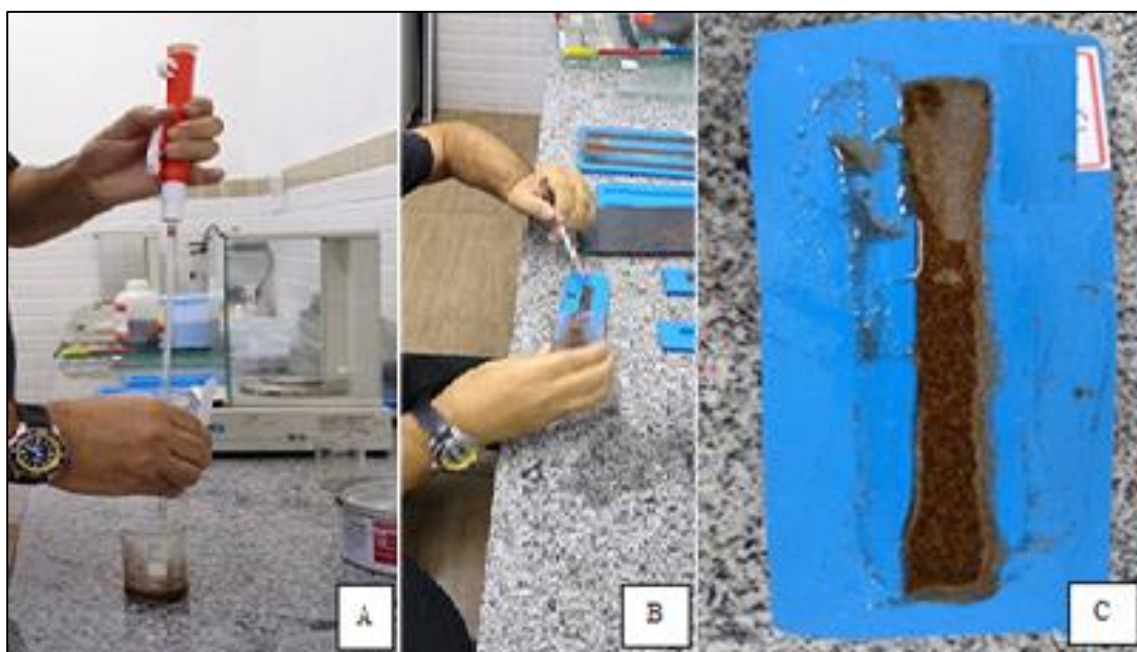
Fonte: Autor (2020).

Durante a mistura da resina e a fibra foi possível observar como a resina se comporta com diferentes teores de fibra, com 10% (Figura 43 A) a mistura ficou mais líquida e fácil de manusear, com 20% (Figura 43 B) a mistura ficou mais viscosa apresentando ainda um bom comportamento e trabalhabilidade, a composição de 25% já a mistura de 30% formou uma massa com pouca trabalhabilidade e apresentou uma reação exotérmica acentuada durante a primeira hora de cura.

O endurecedor foi acrescentado depois que a fibra estava totalmente molhada com a resina. Com auxílio de uma pipeta, o endurecedor foi acrescentado vagorosamente para não acelerar a polimerização da resina (Figura 44 A).

Misturou-se o endurecedor de maneira que ficasse homogêneo com a resina. Em seguida a mistura foi acomodada nos moldes pré-untados (Figura 44 B), a seguir, os Cp's foram mantidos em local seco pelo período de cura de 24 horas, durante este período ocorre polimerização da resina em temperatura ambiente. (Figura 44 C).

**Figura 44** – A) Adição do endurecedor a mistura resina/fibra; B) Conformação dos Cp's nos moldes; C) Molde



Fonte: Autor (2020).



Depois do período de cura os Cp's são desmoldados e preparados para os ensaios mecânicos e de caracterização (Figura 45).

**Figura 45** – Cp's desmoldados após período de cura



Fonte: Autor (2020).

### 3.4 ENSAIOS MECÂNICOS

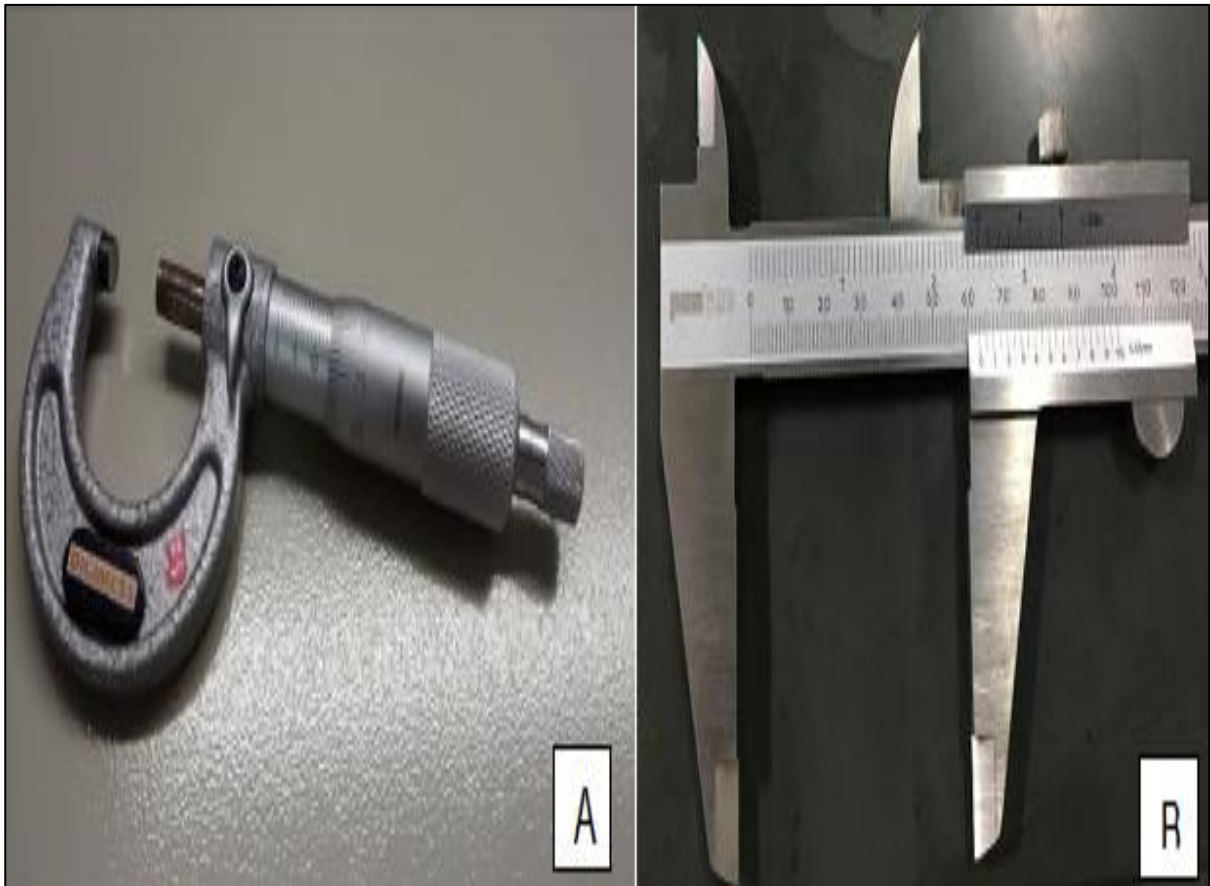
Os ensaios mecânicos são necessários quando os materiais estão sujeitos a esforços de natureza mecânica. Isso corresponde que as propriedades determinam a capacidade que o material tem para resistir aos esforços que lhes são aplicados no dia a dia.

Conforme Araújo Junior (2014), as propriedades mecânicas dos materiais podem ser avaliadas pela resistência à tensão sofrida, pela elasticidade de sua composição dentre outros fatores, podendo servir como comparação do desempenho mecânico dos polímeros.

Para realizar aferição de medidas dos Cp's durante os ensaios, foi necessário determinar área dos corpos de provas com máxima exatidão. A área dos Cp's foi medida com Micrômetro com resolução 0,01 e capacidade de 25 mm e Paquímetro com capacidade de 150 mm (Figura 46).

Foi realizado Cp's de ensaios de flexão com aferição de largura e espessura no ponto central e Cp's com ensaios de tração aferindo a largura e a espessura em três pontos (central, 3 cm à direita e 3 cm à esquerda). Após a obtenção das medidas e das médias, os dados foram inseridos no software da máquina de ensaio EMIC DL-10.000 para realização dos ensaios de tração e flexão.

**Figura 46** – A) Micrômetro Digimes; B) Paquímetro



Fonte: Autor (2020).

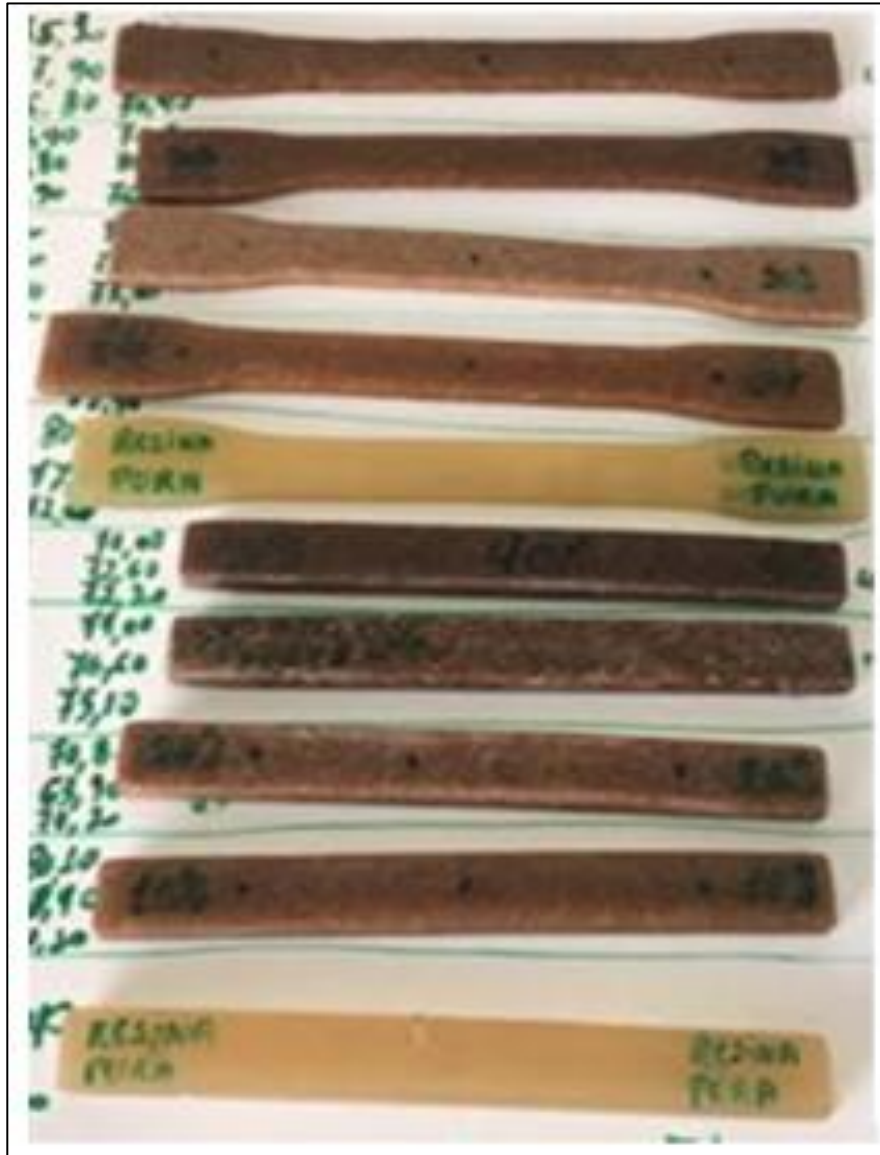
### 3.4.1 Procedimentos do ensaio de dureza

A dureza é uma propriedade mecânica que está ligada a resistência que um determinado material apresenta ao risco ou à formação de uma marca permanente quando o material é pressionado.

Portanto, utilizou-se métodos aplicados em engenharia de materiais, utilizando-se de equipamentos e materiais que causassem esforços na superfície do material, e sob condições específicas, visando avaliar a dureza e as condições de resistência.

Os ensaio de dureza foi realizado com base na norma NBR 7456, onde é definido o método ideal para utilização e determinação de dureza por penetração nos materiais (Figura 47).

**Figura 47 – Cp's de ensaio de dureza**



Fonte: Autor (2020)

Foi utilizado o durômetro digital portátil tipo Shore D-TH 210 (Figura 48). Um equipamento frequentemente utilizado em ensaios de materiais rígidos. Destaca-se, que por meio deste equipamento pode-se realizar as medições das tensões e dureza das peças.

**Figura 48** – Aparelho Durômetro modelo TH210 e ensaio de dureza



Fonte: Autor (2020).

### 3.4.2 Procedimentos do ensaio de tração

Os ensaios de tração dos Cp's foram realizados no Laboratório de Processamento de Materiais do Centro Universitário de Volta Redonda (UniFOA), sendo realizados em um equipamento da marca EMIC DL-10000, com célula de carga de 5 Kn, em temperatura ambiente controlada de 23°C e 70% de umidade relativa do ar e a uma velocidade de 3 mm.min<sup>-1</sup>. Conforme Figura 49.

**Figura 49** – Máquina de Ensaio EMIC DL-10.000 100 KN



Fonte: Autor (2020).

Os Cp's foram ensaiados conforme a norma ASTM D 638 – 14, descartando os cp's com rompimento na região transversal estreita, cada cp apresenta aproximadamente dimensões de 13 mm de largura, 165 mm de comprimento e 3 mm de espessura (Figura 50).

**Figura 50** – Corpos de prova de Tração



Fonte: Autor (2020).

### 3.4.3 Procedimentos do ensaio de flexão

Os ensaios de flexão foram realizados no Laboratório de Materiais da Universidade de Volta Redonda UniFOA. Para os ensaios de Flexão foi utilizada a máquina EMIC DL-10.000 com capacidade de 5kN (Figura 51), configurada para ensaios de flexão com 3 pontos e cutelo de aplicação de força e célula de carga de 5kN.

A velocidade dos ensaios foi de 3 mm por minuto. Foram utilizados 2 Cp's de cada proporção de amostra. A distância entre apoios foi de 80.00 mm.

**Figura 51 – Máquina de flexão**



Fonte: Autor (2020).

Os ensaios de resistência à flexão foram realizados segundo norma ASTM D 638 – 14, com Cp's apresentando dimensões aproximadas de 12,7mm de largura, 32mm de altura e 127mm de comprimento (Figura 52).

**Figura 52 – Corpos de prova de Flexão**



Fonte: Autor (2020).

### 3.5 CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL

#### 3.5.1 Procedimentos do ensaio de Microscopia Óptica

A microscopia óptica permite visualizar a amostra com ampliações elevadas e avaliar detalhes da superfície da fibra sua distribuição no compósito e possíveis formação de bolhas de ar no momento da polimerização da resina. Os Cp's foram analisados sem preparação prévia em um microscópio metalográfico invertido Opton modelo TNM-07T-PL.

#### 3.5.2 Procedimentos do ensaio de MEV

A análise microestrutura foi realizada com Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV - ZEISS EVO-10) com um espectroscópio de raios X dispersivo em energia (EDS), utilizando sinal de elétrons secundários (SE1), com tensão de feixe de elétrons (ETH) de 20,00 kV, com distância de trabalho (WD) de 11,5 mm e magnitude variando de 150 vezes (Figura 53).

**Figura 53** – Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV - ZEISS EVO-10)



Fonte: Autor (2020).

Para análise dos comprimentos e diâmetros das partículas foi utilizado o programa Image J. Para a análise microestrutural no MEV, foram retiradas amostras da região onde corpos de prova romperam, após os ensaios de tração e delas foram preparadas fatias retangulares.

Para a realização do MEV é necessário a deposição de uma camada de Au-Pd na superfície da amostra para haver a condução elétrica superficial assim gerando de imagem pela varredura eletrônica.



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 RESULTADOS DOS ENSAIOS DE DUREZA

A Tabela 6 apresenta a média dos resultados dos ensaios de dureza (Shore D) dos Cp's com 10%, 20%, 25% e 30% de fibra de coco triturada e resina poliéster (m/m).

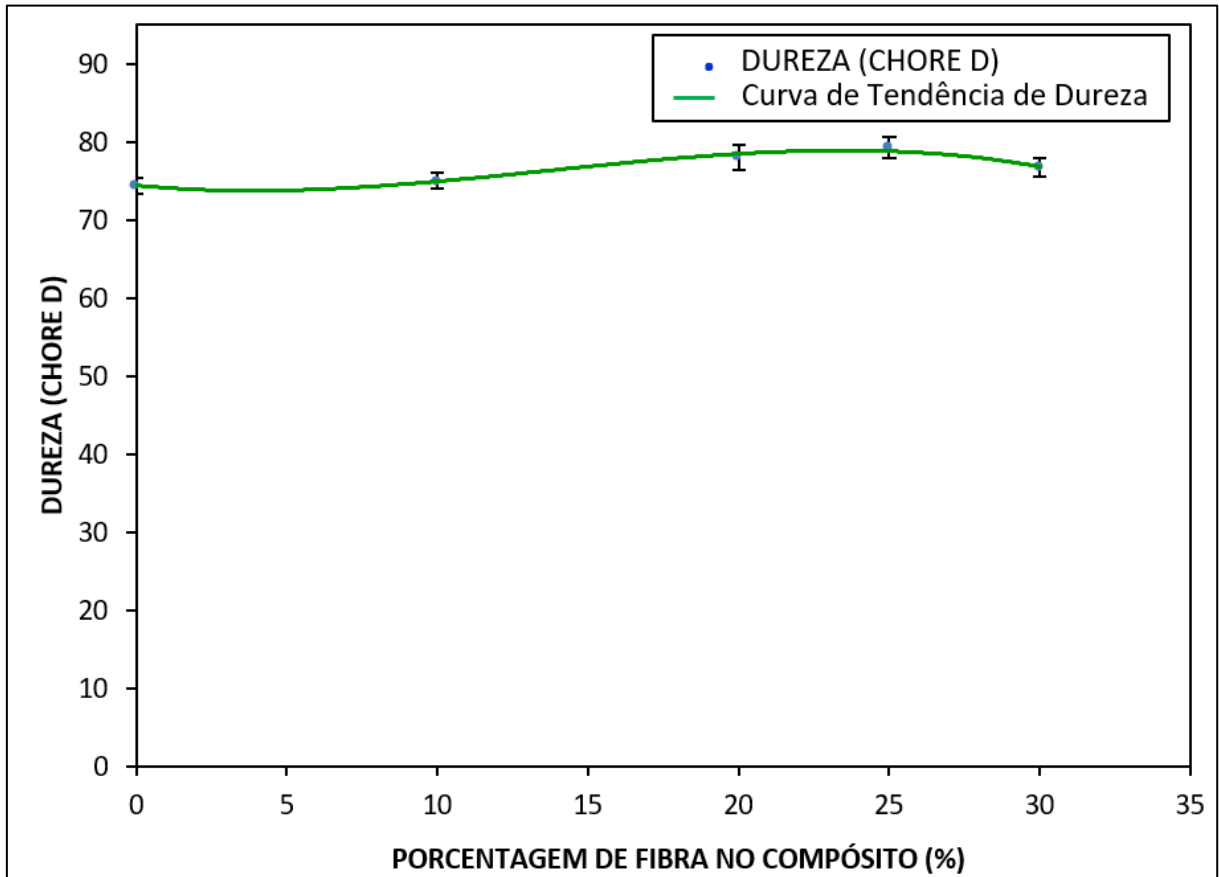
**Tabela 6 – Média dos resultados de dureza**

<b>ENSAIO DE DUREZA (SHORE D)</b>					
Percentagem de Fibra no compósito	Cp1	Cp2	Cp3	Média	Desvio Padrão
0%	75,10	76,08	73,68	74,39	1,02
10%	76,29	74,87	73,85	75,07	1,00
20%	79,72	78,59	76,35	78,04	1,57
25%	80,64	77,93	77,87	79,26	1,39
30%	75,21	76,82	78,12	76,67	1,19

Fonte: Autor (2021).

O gráfico da Figura 54 apresenta o resultado dos ensaios de dureza em laboratório dos corpos de prova feitos com porcentagens de 0, 10, 20, 25 e 30% de fibra de coco triturada e resina poliéster. Pode-se observar que o maior resultado foi obtido com 25% de fibra no compósito.

**Figura 54** – Gráfico obtido dos resultados de dureza dos Cp's com 0, 10, 20, 25 e 30% de fibra de coco

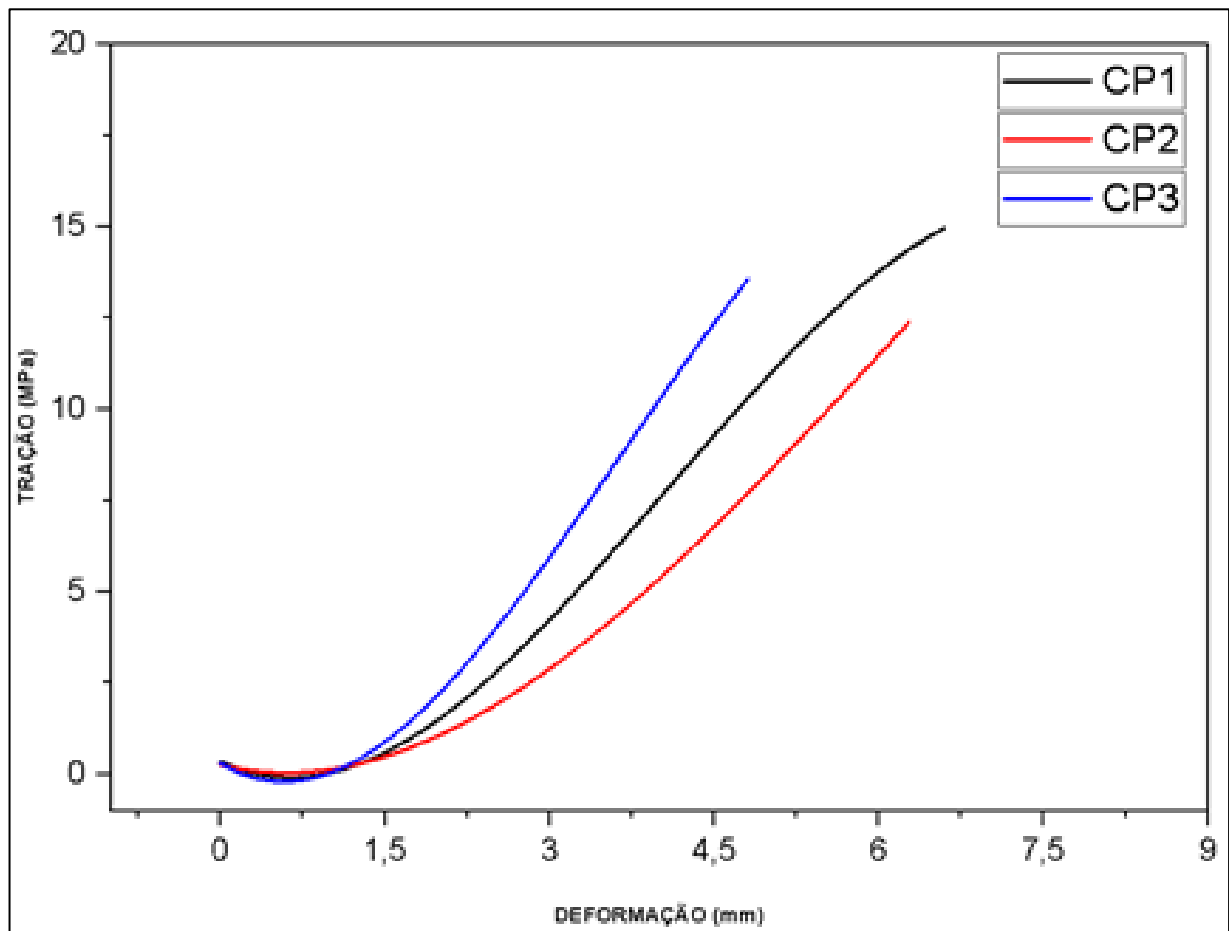


Fonte: Autor (2020).

## 4.2 RESULTADOS DOS ENSAIOS DE TRAÇÃO

Na Figura 55 observamos o gráfico com os Cp's confeccionados apenas com resina poliéster, sendo o cp1, representado pela linha preta, o que obteve o melhor resultado, um limite de resistência a tração de 15,01 MPa. Os resultados dos Cp's de resina poliéster pura são base para comparação com os Cp's reforçados com fibra de coco.

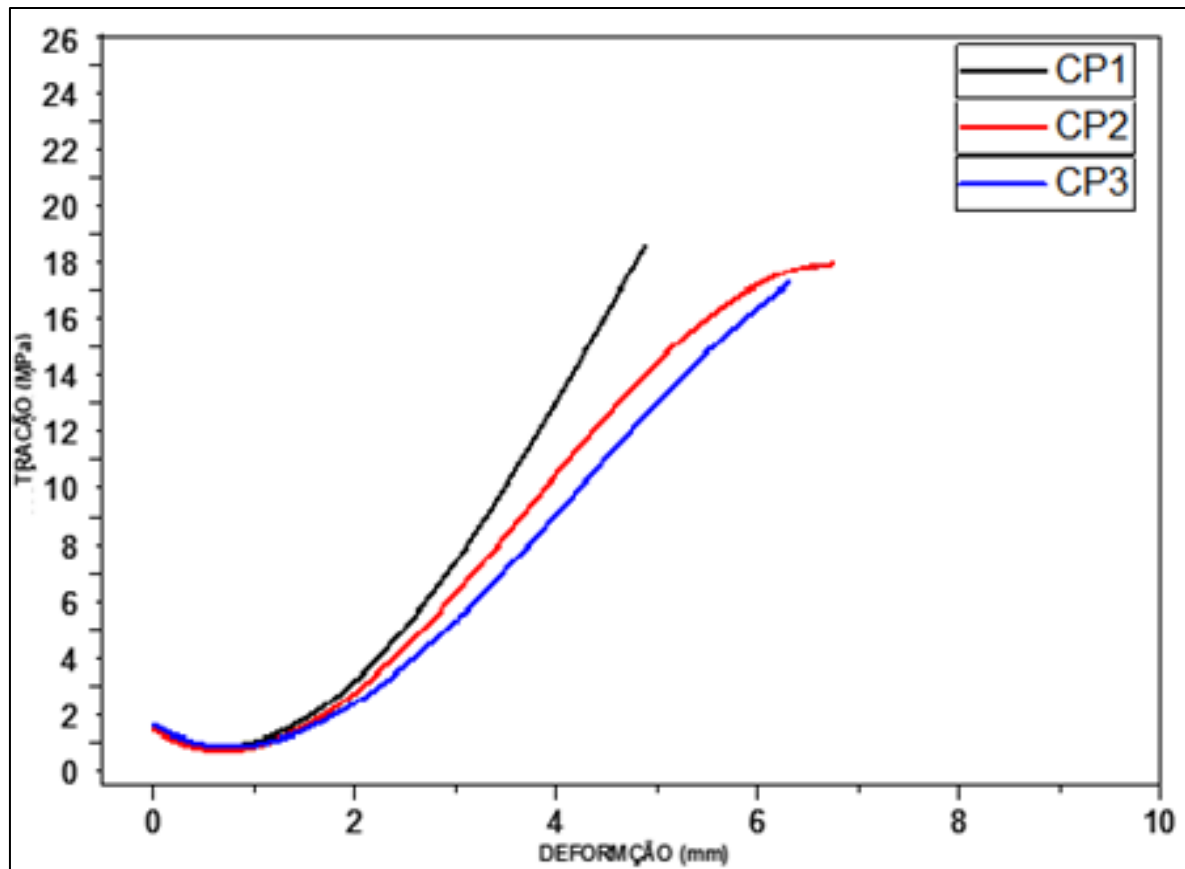
**Figura 55** – Curva de Tração x Deformação Obtida no Ensaio de Tração com Resina Pura



Fonte: Autor (2020).

No gráfico da Figura 56 são apresentados os corpos de prova em triplicata com 10% de reforço de fibra de coco na matriz polimérica de base poliéster.

**Figura 56** – Curva de Tração x Deformação Obtida no Ensaio de Tração com Resina Pura Reforçada com 10% de Fibra no Compósito

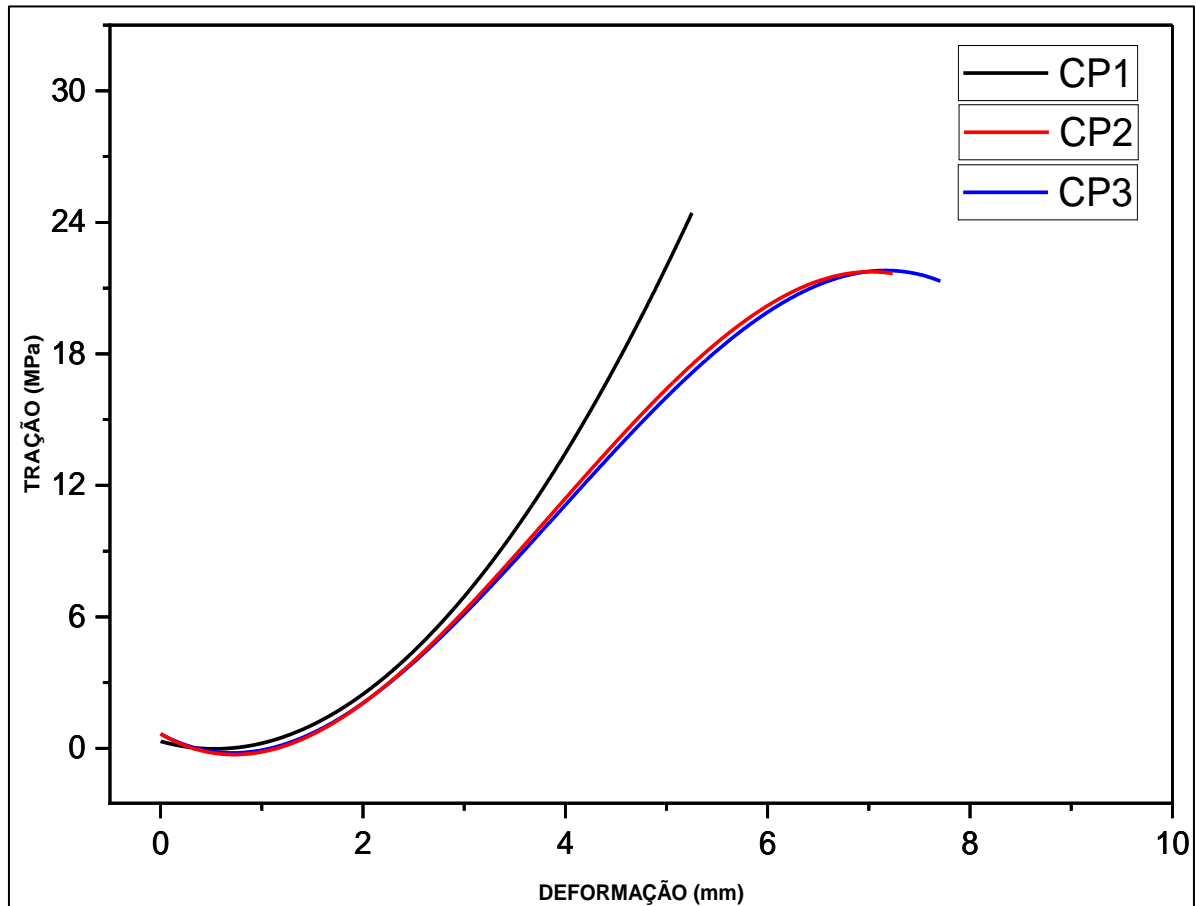


Fonte: Autor (2020).

O corpo de prova com 10 % de fibra que obteve o melhor desempenho para o limite de resistência à tração foi de 18,13 MPa, sendo o menor valor encontrado para resistência à tração de 17,08 MPa, obtendo a média de 17,65MPa.

Na Figura 57 são mostrados os resultados de três corpos de prova com 20% de fibra.

**Figura 57** – Curva de Tração x Deformação Obtida no Ensaio de Tração com Resina Pura Reforçada com 20% de Fibra no Compósito

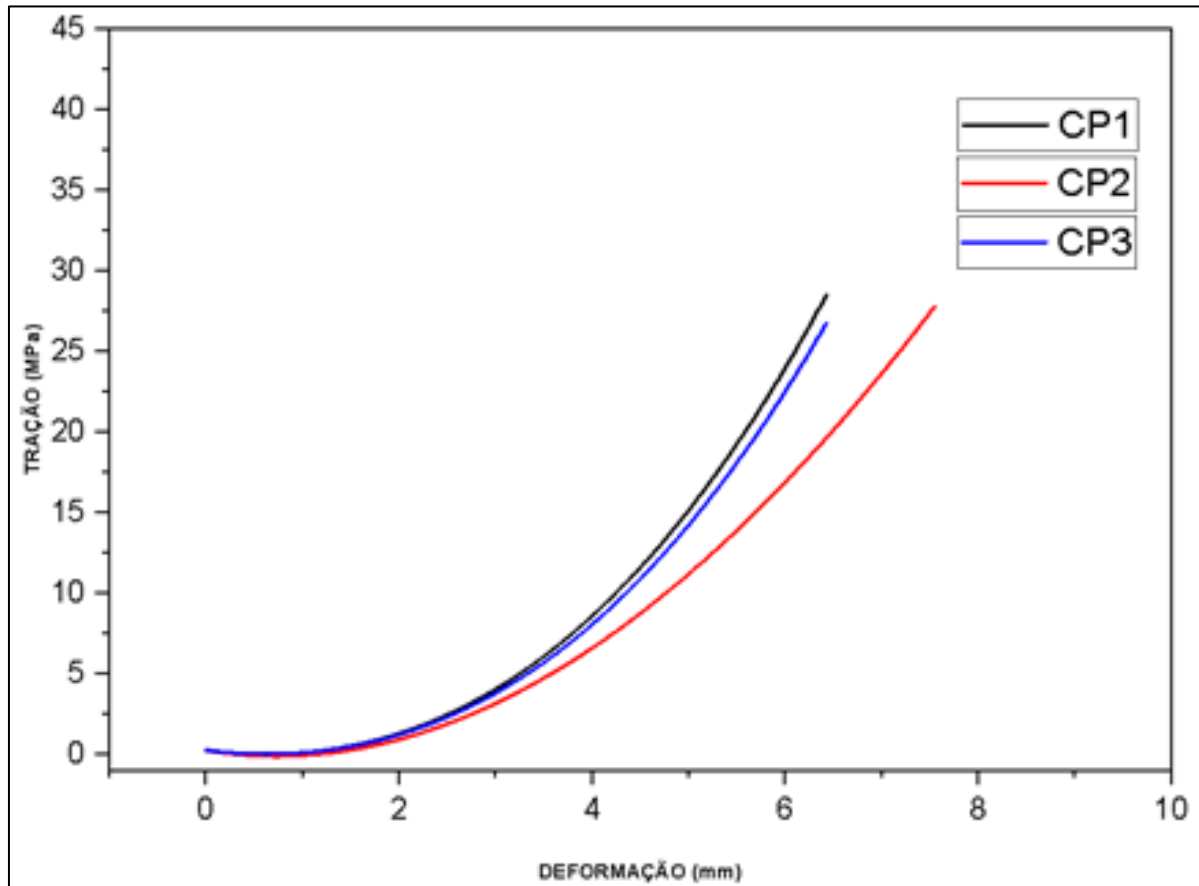


Fonte: Autor (2020).

O corpo de prova com 20% que obteve o melhor desempenho para o limite de resistência à tração foi de 25,48 MPa, com deformação de 5,20 mm, sendo o menor valor encontrado para a resistência à tração de 23,93 MPa, cuja média encontrada foi de 24,80 MPa.

Os resultados dos corpos de prova com 25% de fibra são apresentados na Figura 58.

**Figura 58** – Curva de Tração x Deformação Obtida no Ensaio de Tração com Resina Pura Reforçada com 25% de Fibra no Compósito

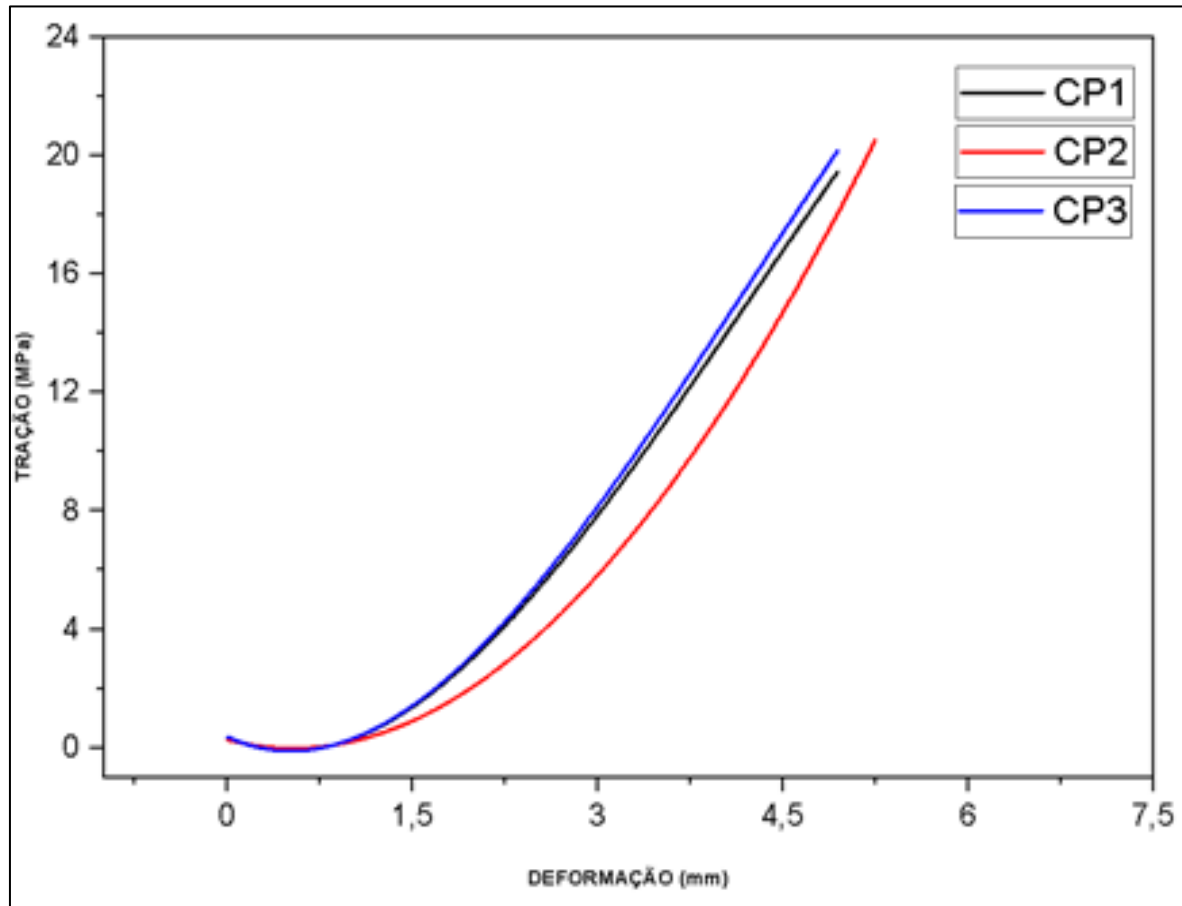


Fonte: Autor (2020).

O corpo de prova com 25% que obteve o melhor desempenho para o limite de resistência à tração foi de 28,13 MPa, com deformação de 6,13 mm, sendo o menor valor encontrado para a resistência à tração de 26,90 MPa, cuja média encontrada foi de 27,43 MPa.

Na Figura 59 são mostrados os resultados de três corpos de prova com 30% de fibra.

**Figura 59** – Curva de Tração x Deformação Obtida no Ensaio de Tração com Resina Pura Reforçada com 30% de Fibra no Compósito



Fonte: Autor (2020)

O corpo de prova com 30% que obteve o melhor desempenho para o limite de resistência à tração foi de 21,09 MPa, e maior deformação de 5,15 mm, sendo o menor valor encontrado para a resistência à tração de 19,63 MPa, cuja média encontrada foi de 20,35 MPa.

A Tabela 7 apresenta a média da tensão máxima em (MPa) suportadas no ensaio de tração dos Cp's com 10%, 20%, 25% e 30% de fibra de coco triturada e resina poliéster (m/m).

**Tabela 7 – Média dos resultados de tração**

<b>ENSAIO DE TRAÇÃO (MPa)</b>					
Percentagem de Fibra no compósito	Cp1	Cp2	Cp3	Média	Desvio Padrão
0%	15,01	12,44	13,91	13,79	1,29
10%	18,13	17,74	17,08	17,65	0,53
20%	25,48	23,93	24,98	24,80	1,28
25%	28,13	27,25	26,90	27,43	0,63
30%	19,63	21,09	20,34	20,35	0,73

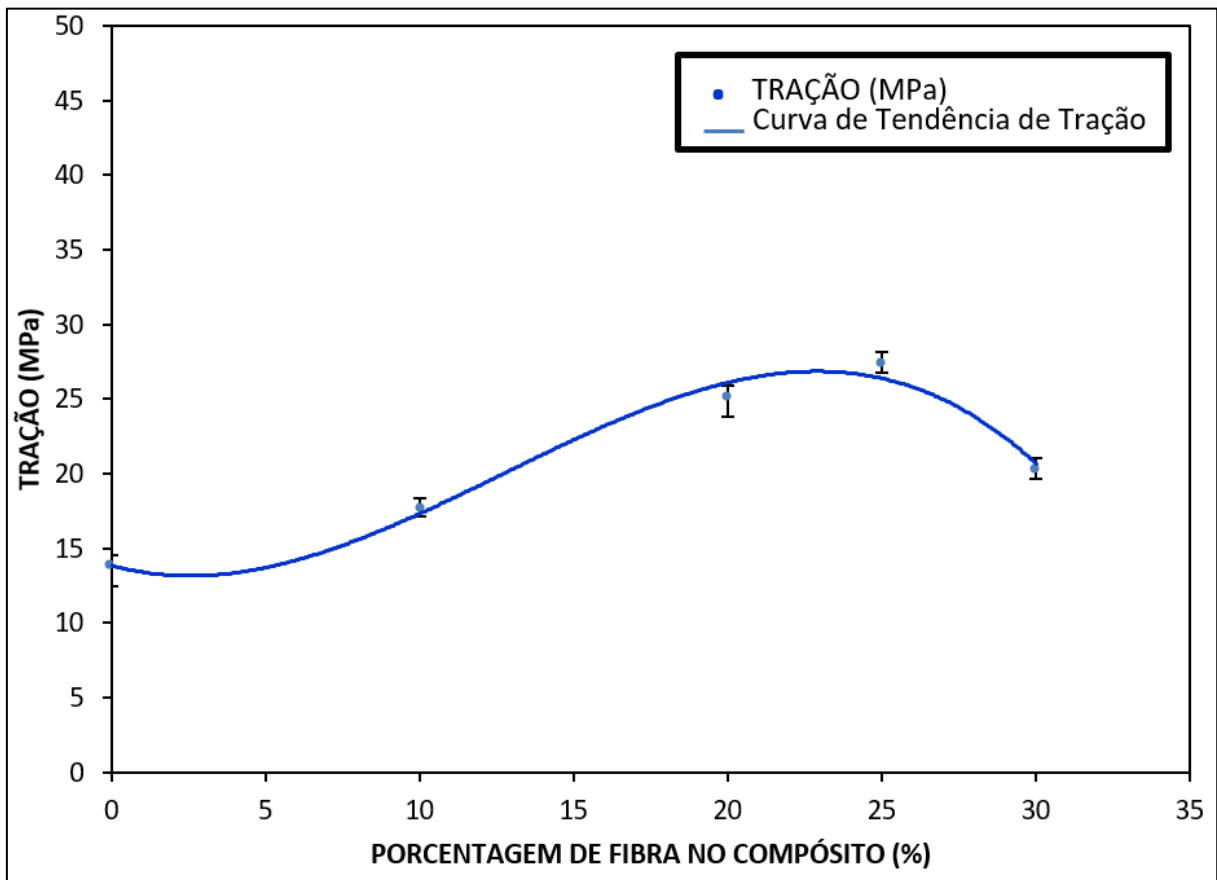
Fonte: Autor (2021).



O gráfico da Figura 60 apresenta o resultado dos ensaios de tração em laboratório dos corpos de prova feitos com porcentagens de 0, 10, 20, 25 e 30% de fibra de coco triturada e resina poliéster.

Pode-se observar que o maior resultado foi obtido com 25% de fibra no compósito, tendo um rendimento melhor do que o apresentado pelos experimentos de Oliveira (2018) e Taborda (2014).

**Figura 60** – Gráfico com a curva de tendência da média dos valores máximos de tração versus percentual de fibra 0, 10, 20, 25 e 30%



Fonte: Autor (2020).

Com a Interpolação da curva de tendência foi obtida a seguinte expressão: Tração:  $y = -3035,8x^3 + 1171,6x^2 - 55,516x + 13,895$ . No eixo Y indica a Flexão (MPa) e o eixo X o teor de fibra de coco (%) no compósito.

Os valores obtidos foram comparáveis aos encontrados por Oliveira (2018) e Taborda, (2014) destacando a melhora no desempenho do ensaio de tração com a adição de fibra de coco.

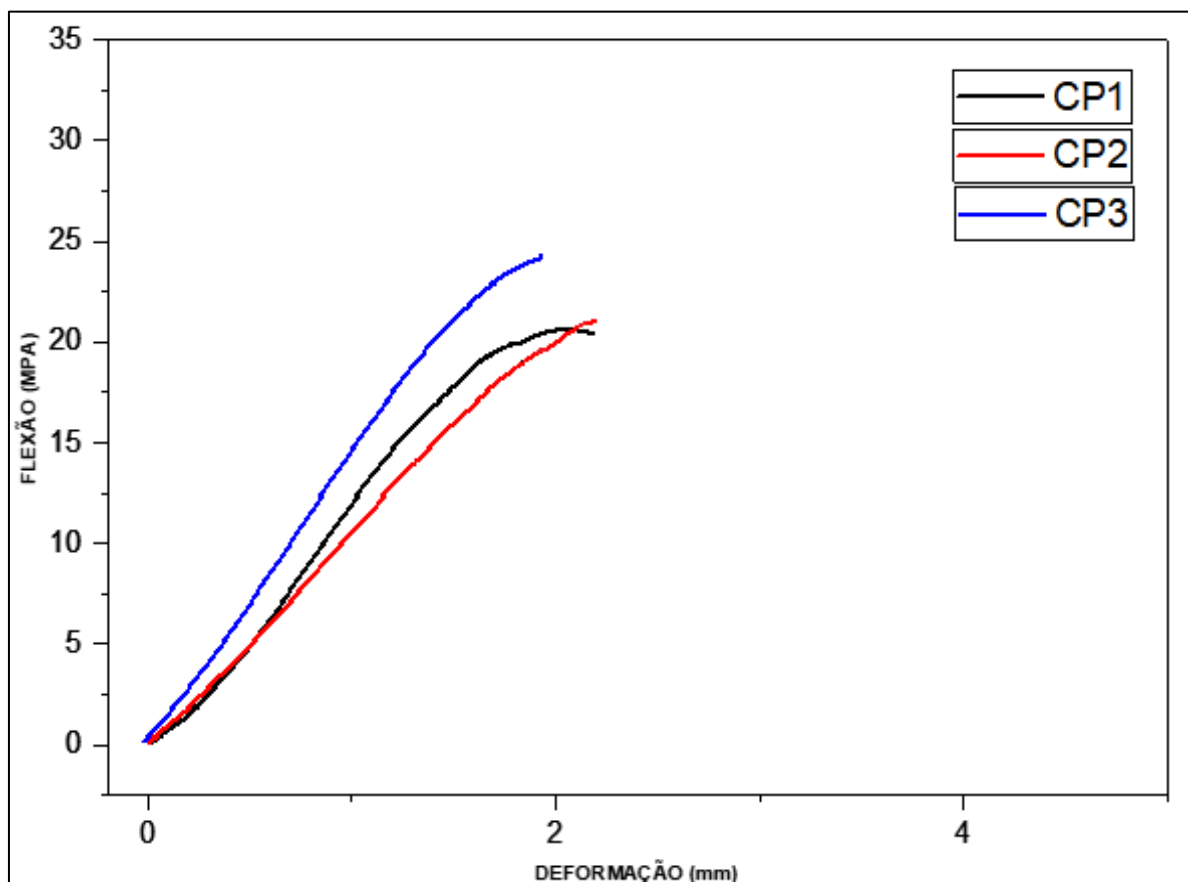
### 4.3 RESULTADOS DOS ENSAIOS DE FLEXÃO

É importante ressaltar que normalmente o valor de resistência à Flexão é maior do que a resistência à Tração, pois o cálculo da resistência à flexão é baseado no comportamento linear do material.

A curva tensão x deformação no ensaio de flexão apresenta um comportamento de não-linear, em geral a resistência à flexão de um material é cerca de 20% a 50% maior do que a resistência à tração (FREIRE. E. et al, 1994).

Na Figura 61 observamos o gráfico com os Cp's confeccionados apenas com resina poliéster, sendo o cp3, representado pela linha azul, o que obteve o melhor resultado, um limite de resistência a flexão de 24,43 MPa. Os resultados dos Cp's de resina poliéster pura são base para comparação com os Cp's reforçados com fibra de coco.

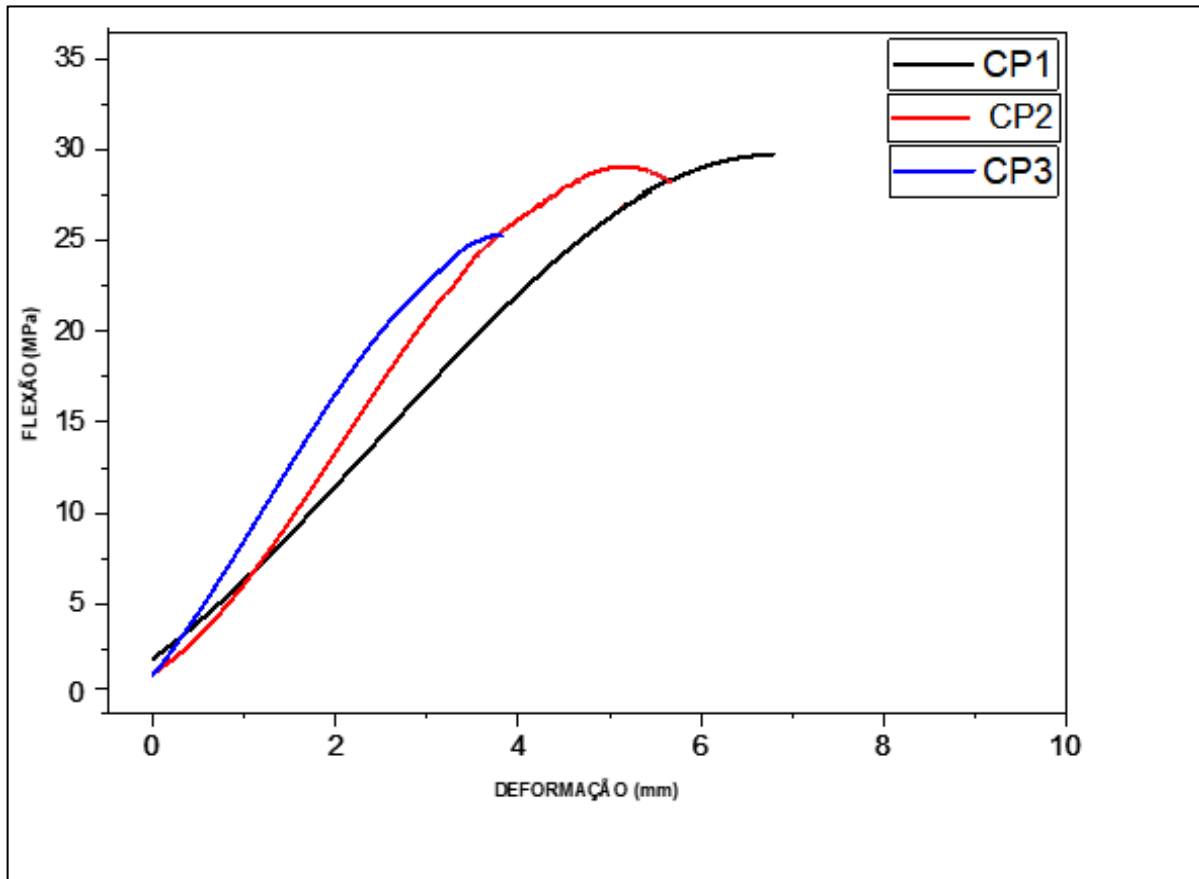
**Figura 61** – Curva de Flexão x Deformação Obtida no Ensaio de Flexão com Resina Pura



Fonte: Autor (2020).

Na Figura 62 são mostrados os resultados de flexão para três corpos de provas com 10% de reforço.

**Figura 62** – Curva de Flexão x Deformação Obtida no Ensaio de Flexão com Resina Pura Reforçada com 10% de Fibra no Compósito

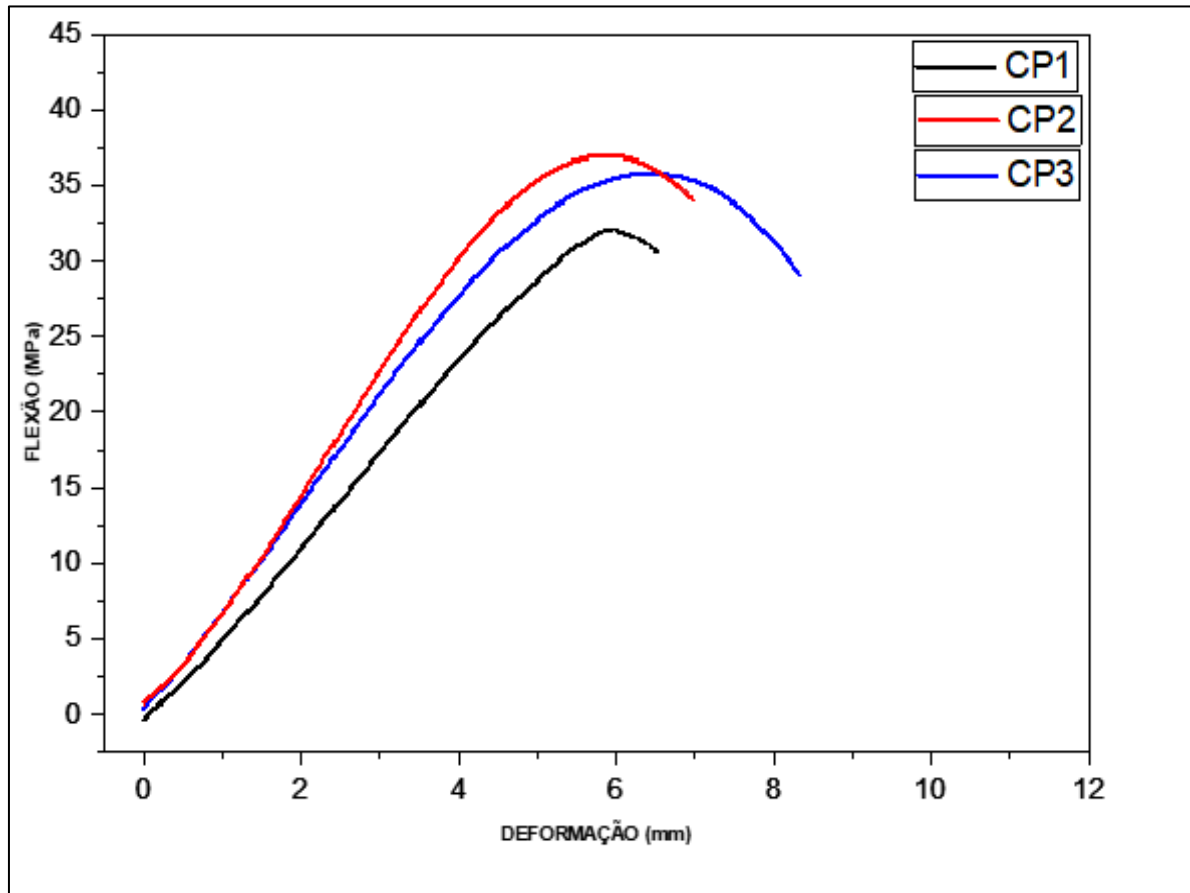


Fonte: Autor (2020).

O corpo de prova com 10 % que obteve melhor desempenho para a tensão de flexão foi de 27,98 MPa e maior deformação de 6,383 mm, sendo o menor valor encontrado para a tensão de flexão na ruptura de 26,32 MPa. A média entre os corpos foi de 26,96 MPa.

Na Figura 63 são mostrados os resultados de flexão para três corpos de provas com 20% de reforço.

**Figura 63** – Curva de Flexão x Deformação Obtida no Ensaio de Flexão com Resina Pura Reforçada com 20% de Fibra no Compósito

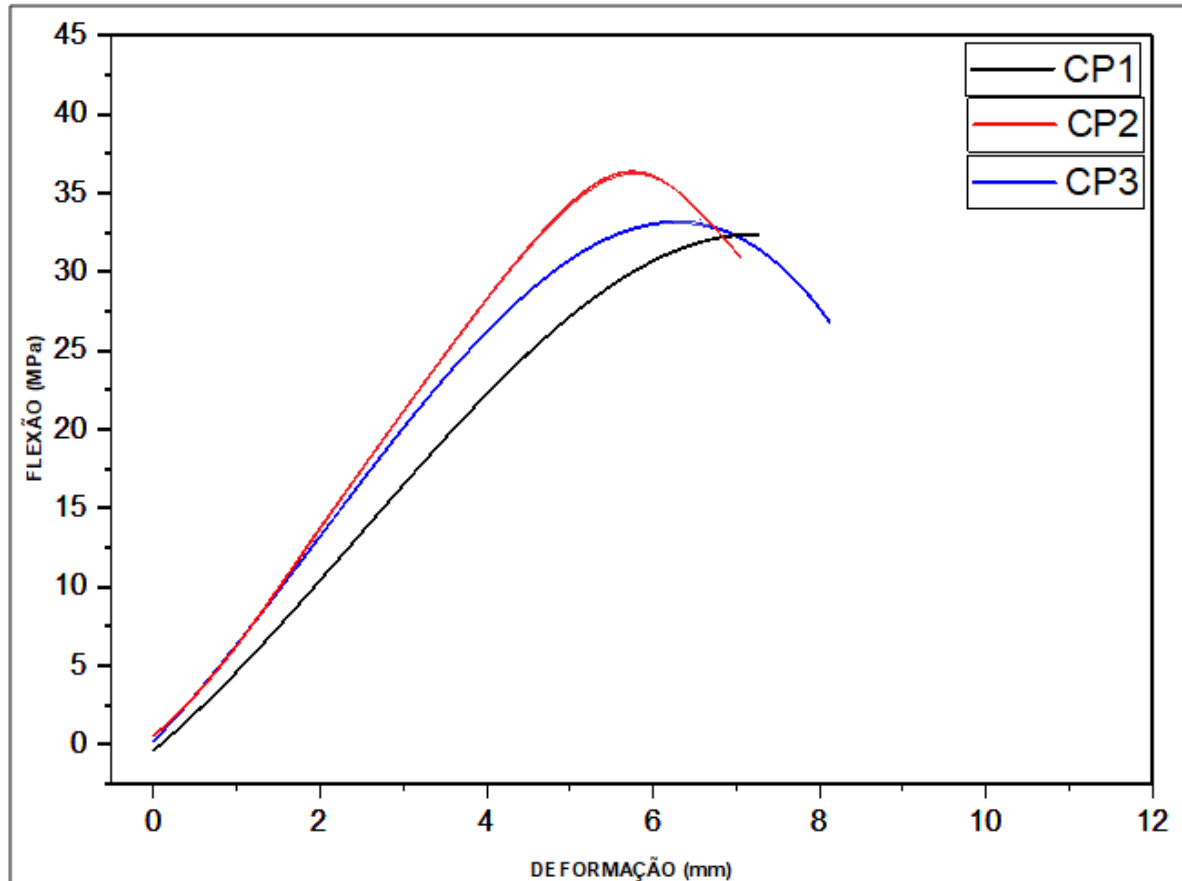


Fonte: Autor (2020).

O corpo de prova com 20 % que obteve melhor desempenho para a tensão de flexão foi de 37,12 MPa, com deformação de 7,16 mm, sendo o menor valor encontrado para a tensão de flexão na ruptura de 32,29 MPa. A média entre os corpos foi de 34,51 MPa.

Na Figura 64 são mostrados os resultados de flexão para três corpos de provas com 25% de reforço.

**Figura 64** – Curva de Flexão x Deformação Obtida no Ensaio de Flexão com Resina Pura Reforçada com 25% de Fibra no Compósito

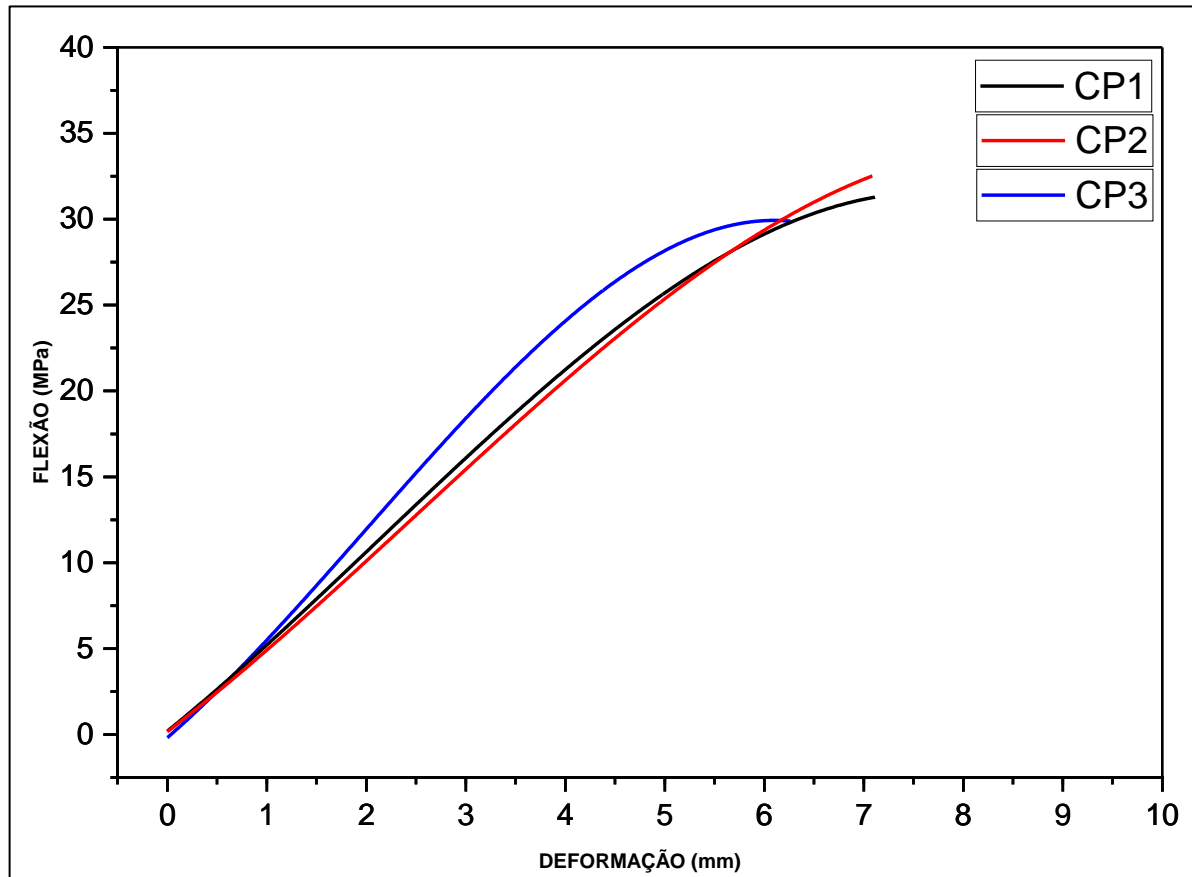


Fonte: Autor (2020).

O corpo de prova com 25 % que obteve melhor desempenho para a tensão de flexão foi de 36,93 MPa, com deformação de 7,56 mm, sendo o menor valor encontrado para a tensão de flexão na ruptura de 32,02 MPa. A média entre os corpos foi de 34,91 MPa.

Na Figura 65 são mostrados os resultados de flexão para três corpos de provas com 30% de reforço.

**Figura 65** – Curva de Flexão x Deformação Obtida no Ensaio de Flexão com Resina Pura Reforçada com 30% de Fibra no Compósito



Fonte: Autor (2020)

O corpo de prova com 30 % que obteve melhor desempenho para a tensão de flexão foi de 33,81 MPa, com deformação de 3,51 mm, sendo o menor valor encontrado para a tensão de flexão na ruptura de 32,11 MPa. A média entre os corpos foi de 33,12 MPa.

A Tabela 8 apresenta média da tensão máxima em (MPa) suportadas no ensaio de flexão dos Cp's com 10%, 20%, 25% e 30% de fibra de coco triturada e resina poliéster (m/m).

**Tabela 8 – Média dos resultados de Flexão**

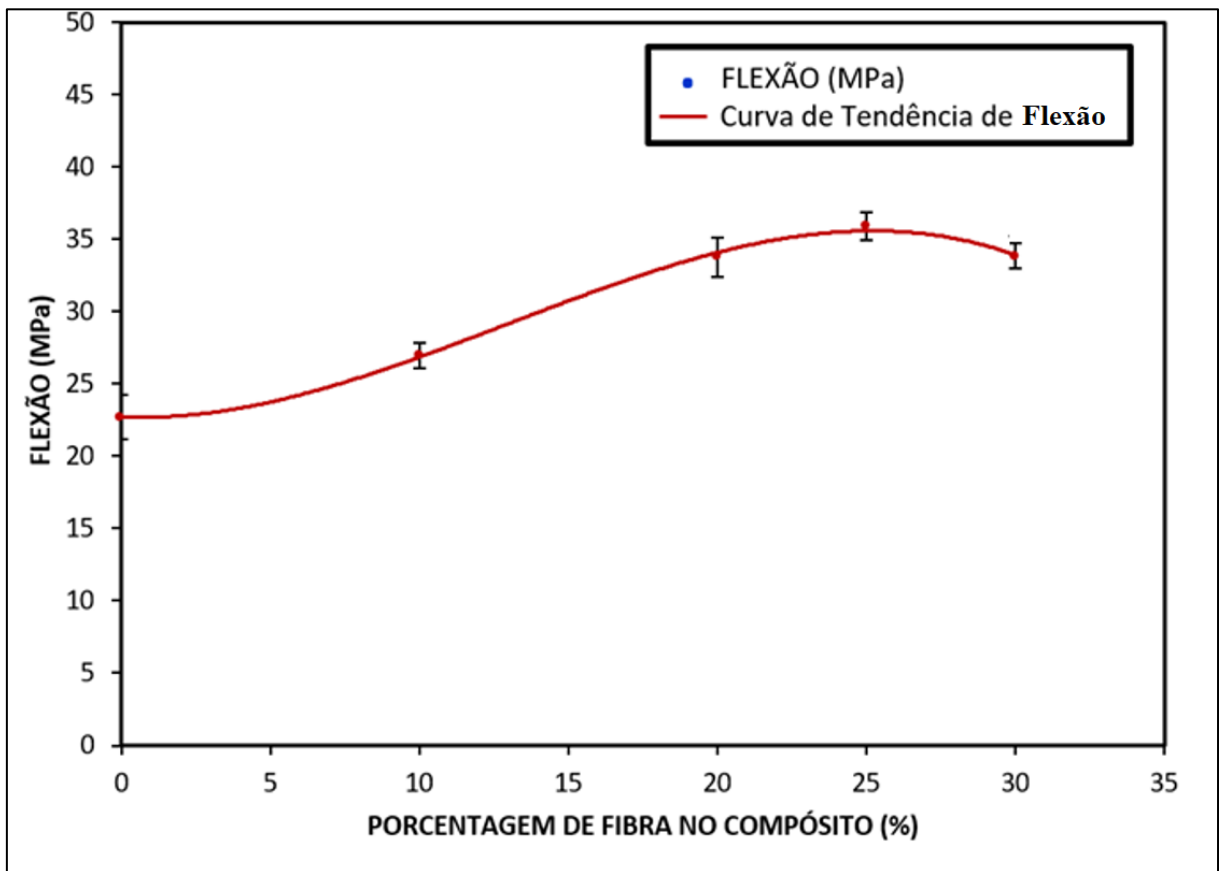
<b>ENSAIO DE FLEXÃO (MPa)</b>					
Percentagem de Fibra no compósito	Cp1	Cp2	Cp3	Média	Desvio Padrão
0%	21,85	21,81	24,43	22,70	1,50
10%	27,98	26,57	26,32	26,96	0,90
20%	32,29	37,12	34,13	34,51	1,33
25%	32,02	36,93	35,78	34,91	0,96
30%	32,11	33,81	33,45	33,12	0,98

Fonte: Autor (2021).

O gráfico da Figura 66 apresenta o resultado dos ensaios de flexão em laboratório dos corpos de prova feitos com porcentagens de 0, 10, 20, 25 e 30% de fibra de coco triturada e resina poliéster.

Pode-se observar que o maior resultado foi obtido com 25% de fibra no compósito, tendo um rendimento inferior ao apresentado pelos experimentos de Taborda (2014) e superior aos resultados dos experimentos de Oliveira (2018).

**Figura 66** – Gráfico com a curva de tendência da média dos valores máximos de flexão versus percentual de fibra 0, 10, 20, 25 e 30%



Fonte: Autor (2020).

Com a Interpolação da curva de tendência foi obtida a seguinte expressão: Flexão:  $y = -1190,4x^3 + 639,84x^2 - 52,443x + 25,448$ . No eixo Y indica a Flexão (MPa) e o eixo X o teor de fibra de coco (%) no compósito.

Os valores obtidos foram comparáveis aos encontrados por Benini (2011) e Taborda, (2014) destacando a melhora no desempenho do ensaio de flexão com a adição de fibra de coco.

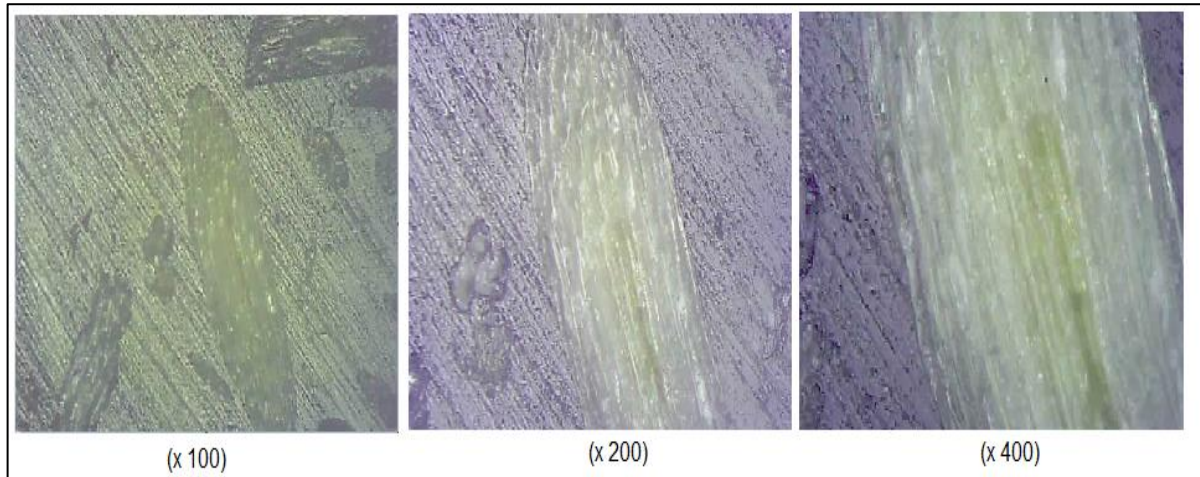
#### 4.4 ENSAIO DE MICROSCOPIA ÓPTICA

Foram analisadas as regiões de corte longitudinal dos Cp's com 10,20,25 e 30% de fibra de coco na sua composição. A Figura 67 mostra a imagem do CP com 10 % de fibra de coco triturada e resina poliéster ampliada 100, 200 e 400 vezes, podemos observar que a região da matriz, a resina poliéster é predominante devido a proporção de fibra e resina.



O tamanho das fibras é variado, porém não apresenta fibras longas. Não foi observado a presença de bolhas o que indica uma boa polimerização da resina.

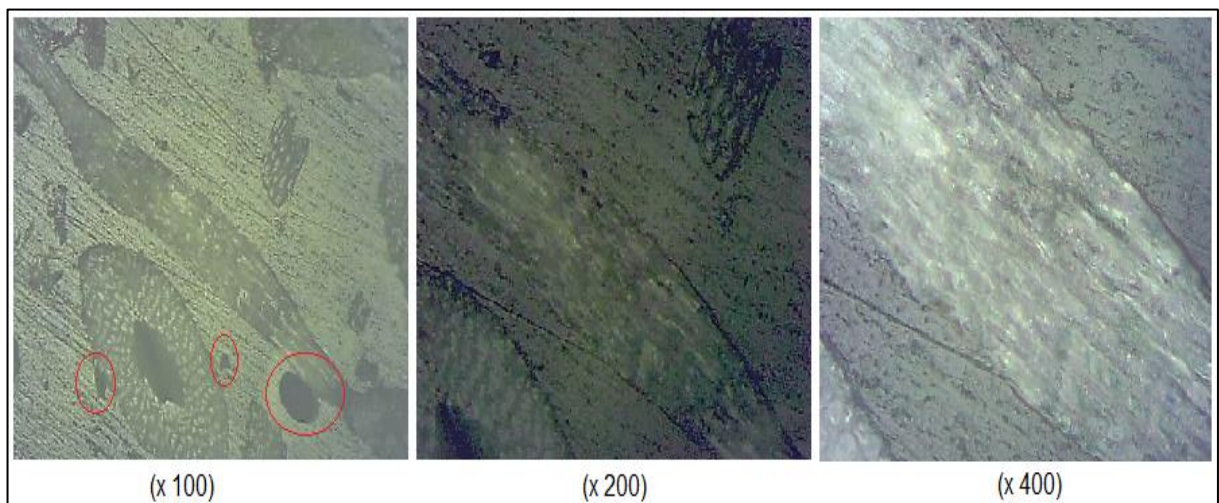
**Figura 67** – Microscopia óptica CP com 10% de fibra de coco



Fonte: Autor (2020).

A Figura 68 mostra a imagem do CP com 20% de fibra de coco triturada e resina poliéster ampliada 100, 200 e 400 vezes, podemos observar que a região da matriz, a resina poliéster se mantém predominante como no cp de 10% de fibra. O tamanho das fibras é variado, com presença de fibras mais longas. Podemos observar na imagem com ampliação de 100x a presença de pequenas bolhas de ar formadas próximo a fibra de coco.

**Figura 68** – Microscopia óptica CP com 20% de fibra de coco

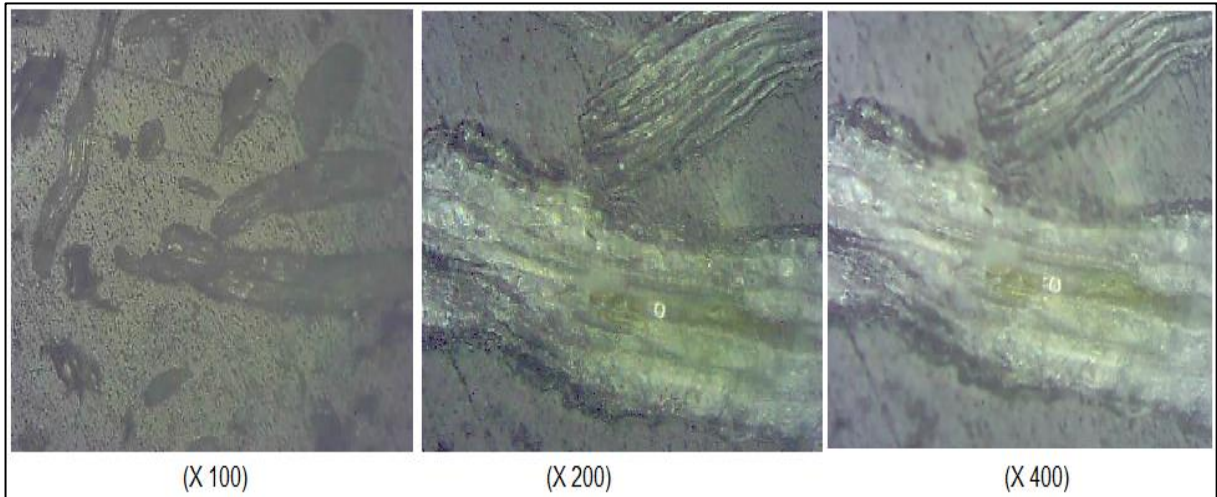


Fonte: Autor (2020).

A Figura 69 mostra a imagem do CP ampliada 100, 200 e 400 vezes, mostra as fibras de coco com tamanhos variados sem direção definida. Nas imagens de 200

e 400 x de ampliação podemos observar um defeito puntiforme no interior da fibra de coco, por ser um defeito isolado que não aparece nas demais fibras da região analisada não é um fator relevante de interferência nos ensaios mecânicos.

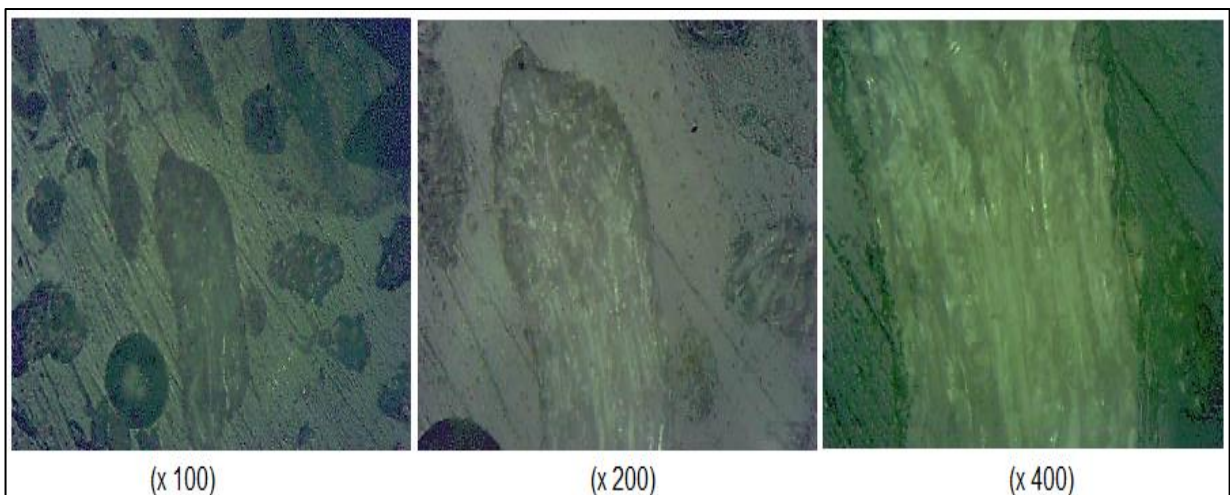
**Figura 69** – Microscopia óptica CP com 25% de fibra de coco



Fonte: Autor (2020).

A Figura 70 mostra a imagem do CP com 30 % de fibra de coco triturada e resina poliéster ampliada 100, 200 e 400 vezes. Podemos observar as fibras de coco preenchendo a matriz polimérica de maneira uniforme sem formar aglomerações pontuais de fibra, com tamanhos variados sem direção definida.

**Figura 70** – Microscopia óptica CP com 30% de fibra de coco



Fonte: Autor (2020).

Segundo Marinucci (2011), com as imagens de microscopia óptica é possível identificar falhas nos compósitos, regiões predominantes de fibra ou de resina e a presença de possíveis bolsas de ar formadas durante a polimerização da resina.

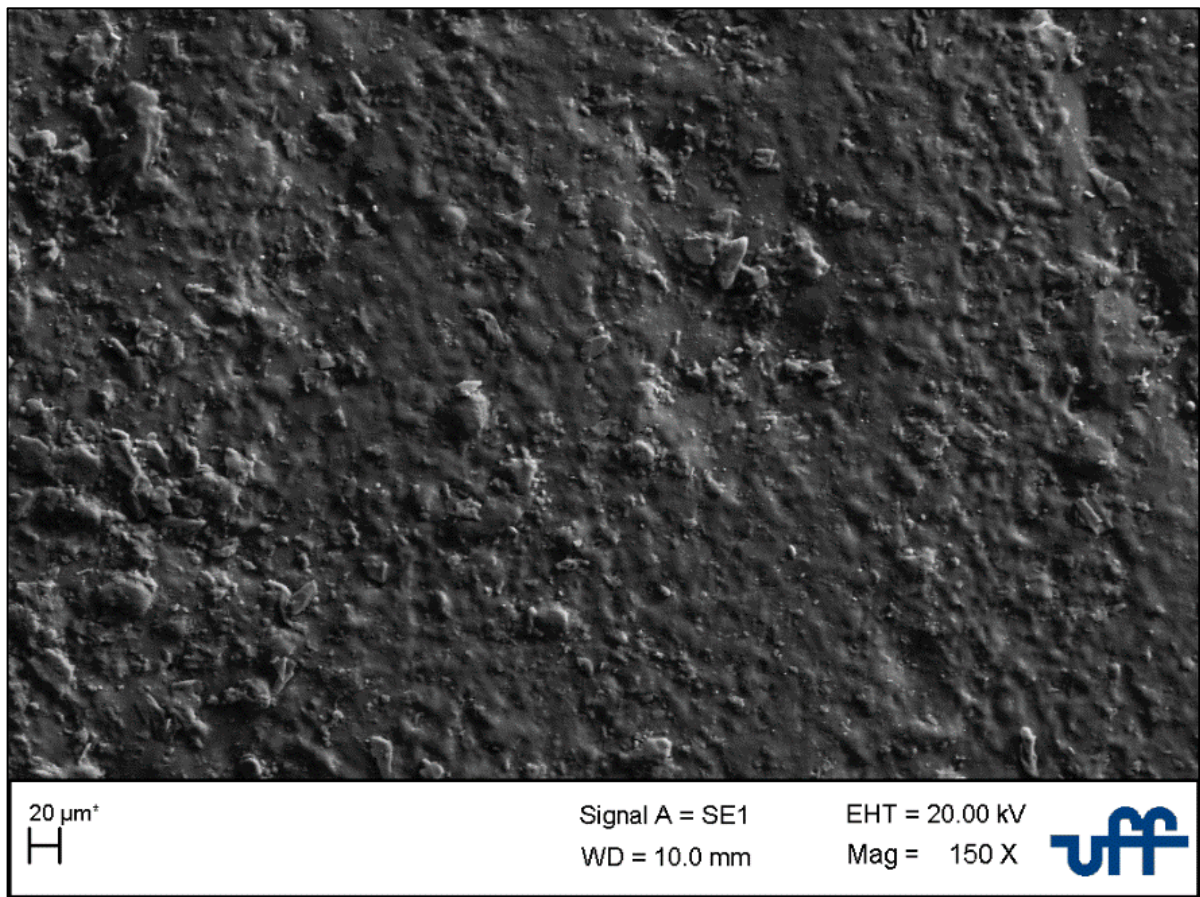
#### 4.5 RESULTADOS DO ENSAIO DE MEV

A microscopia eletrônica de varredura para caracterização dos compósitos poliméricos reforçados com fibras vegetais permite analisar através das imagens obtidas o que ocorre na interface fibra matriz.

Para análise dos comprimentos e diâmetros das partículas foi utilizado o programa de análises de imagens o Image J.

A Figura 71 mostra a estrutura da Resina poliéster pura após sua polimerização. A imagem foi obtida em uma ampliação de 150 vezes, essa amostra apresentou: uma matriz de resina com a presença de granulação do material, isenta de defeitos que garante uma uniformidade das propriedades.

**Figura 71** – Cp de resina poliéster pura

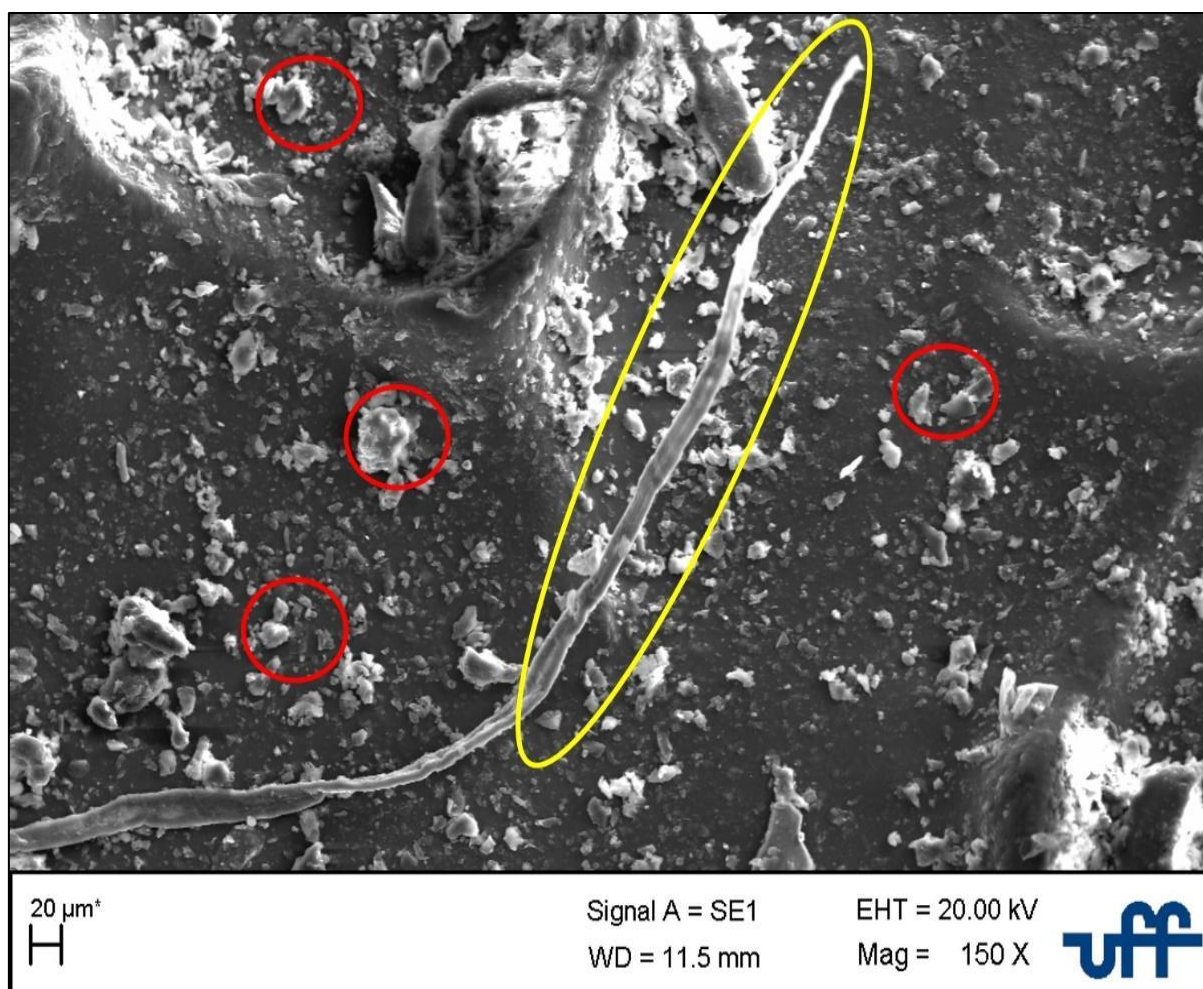


Fonte: Autor (2020).

Como demonstrado na Figura 72, a imagem foi obtida em uma ampliação de 150 vezes, essa amostra apresentou: uma matriz de resina bem uniforme, isenta de defeitos, que garante uma uniformidade das propriedades.

A fibras se distribuem pela matriz, majoritariamente, de forma aleatória em partículas sem morfologia definida, com tamanhos que variam de 10 a 50  $\mu\text{m}$ , que podem ser observadas no detalhe circulado em vermelho e uma pequena quantidade de fibras, em forma de filetes, com mais de 800  $\mu\text{m}$  de comprimento.

**Figura 72** – MEV-Imagens da Fibra de Coco com 10% de fibras

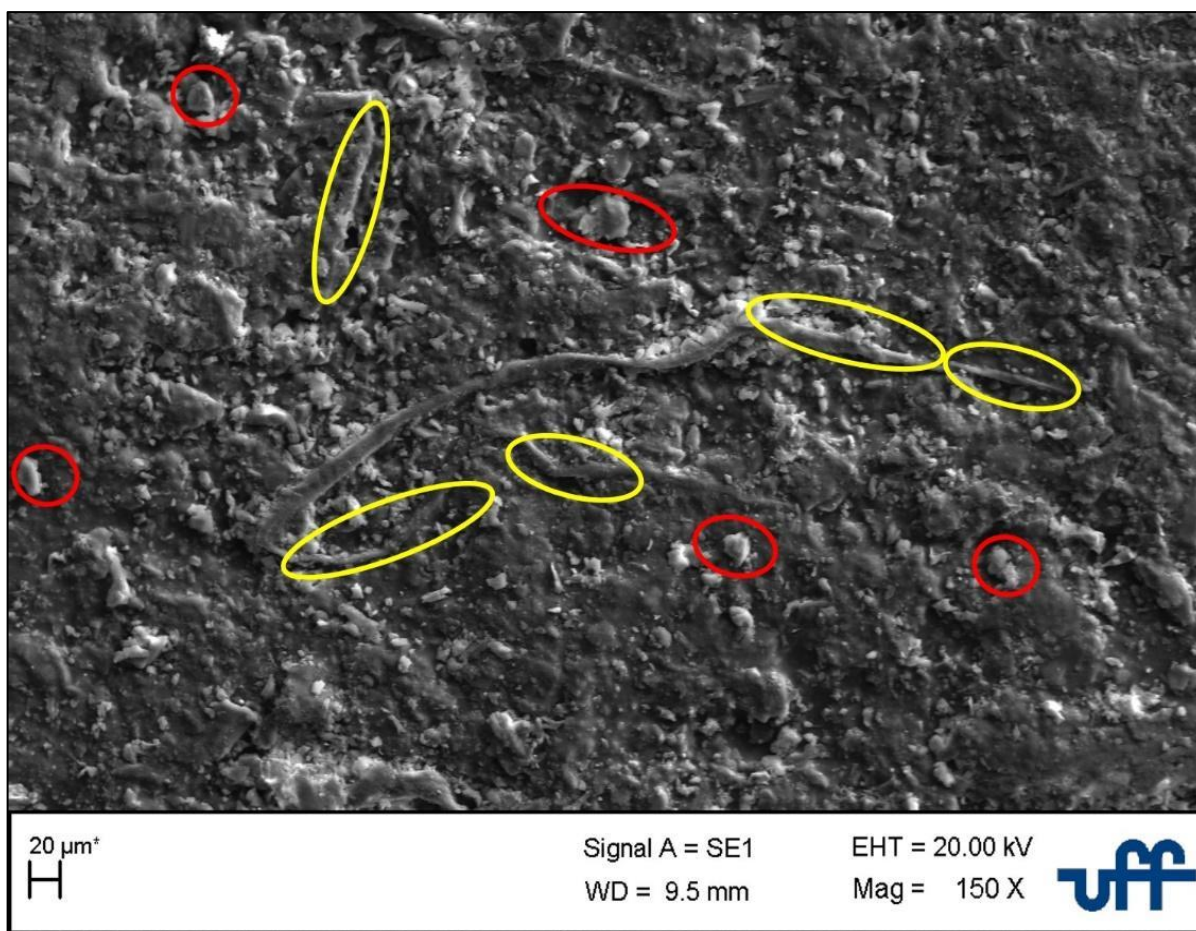


Fonte: Autor (2020).

Já na imagem representada na Figura 73, foi obtida em uma ampliação de 150 vezes, essa amostra apresentou: uma matriz de resina bem uniforme, isenta de defeitos, que garante uma uniformidade das propriedades.

A fibras se distribuem pela matriz, majoritariamente, de forma aleatória em partículas sem morfologia definida com tamanhos que variam de 10 a 50  $\mu\text{m}$ , que podem ser observadas no detalhe circulado em vermelho.

Uma pequena quantidade, porém, superior a amostra de 10%, de fibras se apresentam em forma de filetes com comprimentos inferiores a 800  $\mu\text{m}$  que podem ser observados em detalhe circulado em amarelo.

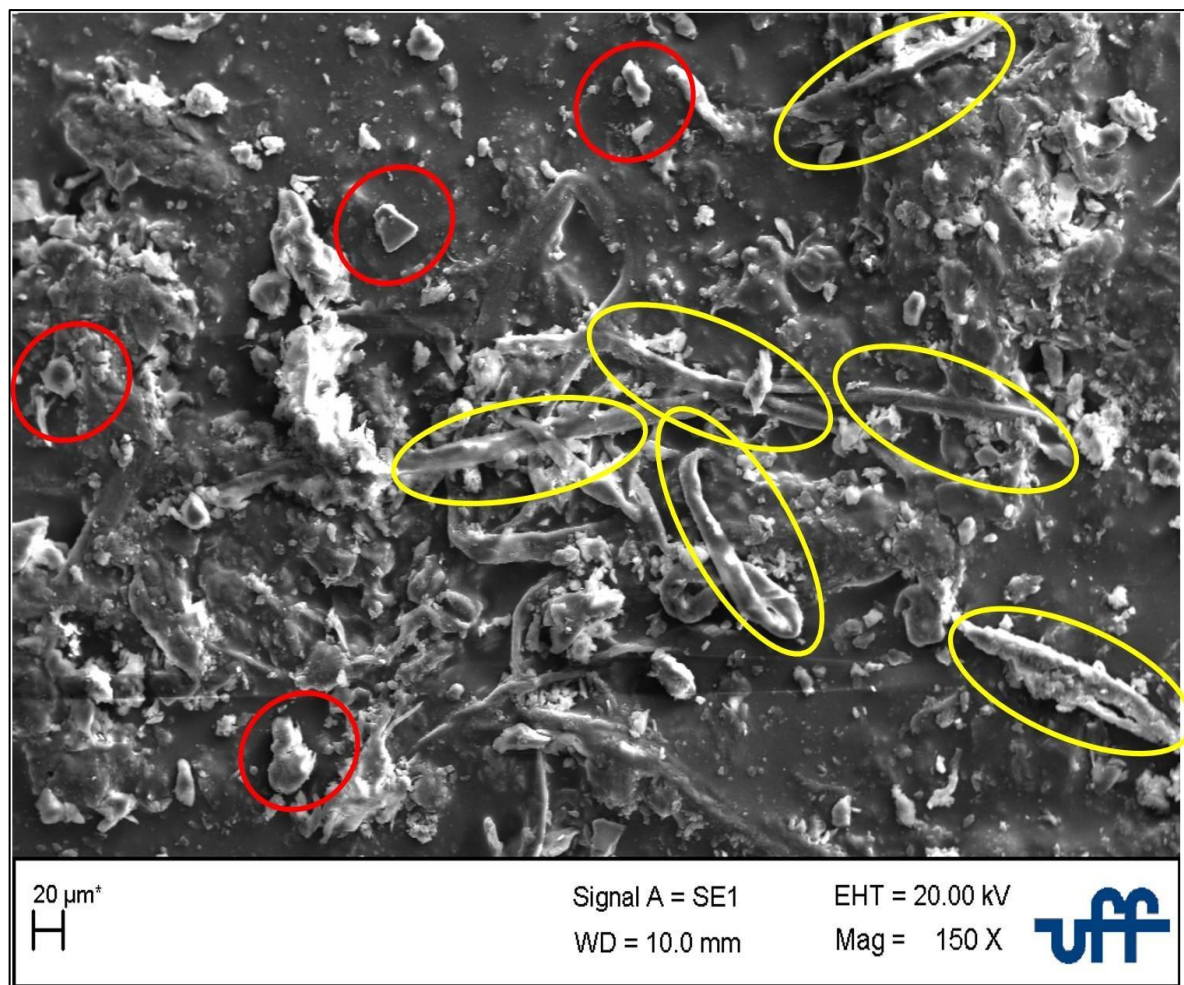
**Figura 73 – MEV-Fibra de coco com 20% de fibras**

Fonte: Autor (2020).

A amostra da fibra de coco representada na imagem da Figura 74 foi obtida em uma ampliação de 150 vezes, essa amostra apresentou: uma matriz de resina bem uniforme, isenta de defeitos, que garante uma uniformidade das propriedades.

A fibras se distribuem pela matriz, majoritariamente, de forma filetes se apresentam com comprimentos  $120 \pm 15 \mu\text{m}$  que podem ser observados em detalhe circulado em amarelo. Uma quantidade menor de partículas sem morfologia definida com tamanhos que variam de 10 a  $50 \mu\text{m}$ , que podem ser observadas em detalhes circuladas em vermelho.

**Figura 74** – MEV-Matriz de resina bem uniforme (Fibra de coco com 25% de fibras)

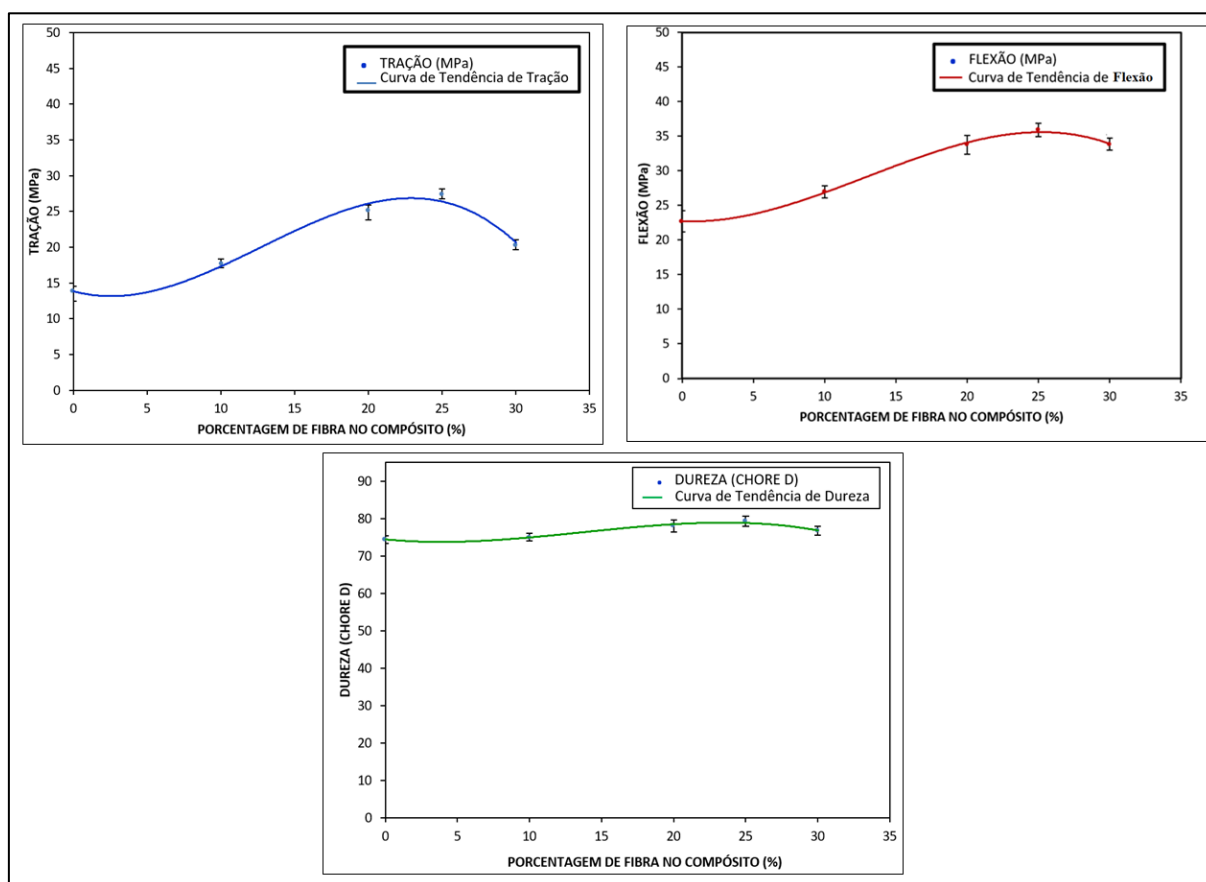


Fonte: Autor (2020).

#### 4.6 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS A LUZ DA TEORIA

O gráfico da Figura 75 apresenta o resultado obtido nos ensaios em laboratório de tração, flexão e dureza dos corpos de prova feitos com porcentagens de fibra de coco triturada e resina poliéster. É notório observar, que os maiores resultados foram com 25% de fibra no compósito.

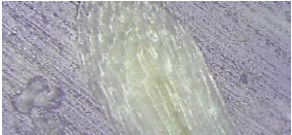
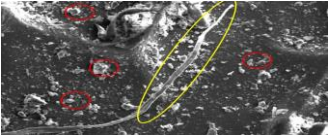

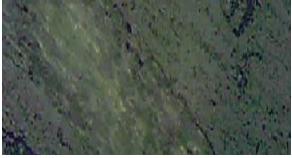
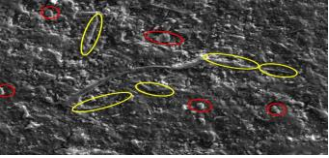

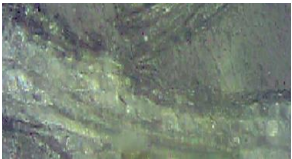
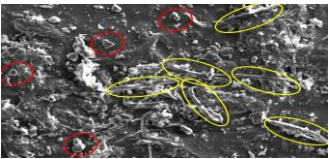

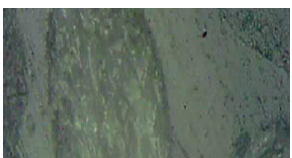
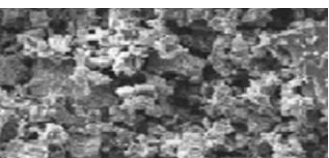
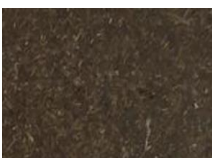
**Figura 75** – Gráficos Obtidos das Médias de 0, 10, 20, 25 e 30% dos Ensaios de Dureza, Flexão e Tração



Fonte: Autor (2020).

A Tabela 9 apresenta a comparação entre os compósitos desenvolvidos neste desta pesquisa. Foram considerados as concentrações de 10, 20, 25 e 30%, de fibra de coco. Foram comparados os melhores resultados de dureza, os limites de resistência à tração e flexão, as imagens da microscopia óptica e MEV, e o aspecto das peças feitas com cada concentração de fibra de coco.

**Tabela 9 –** Comparação entre as concentrações de 10, 20, 25 e 30%, de fibra de COCO

Compósitos	Dureza Máxima (Shore D)	Microscopia Óptica (200x)	MEV (150x)	Aspecto do cp
10% fibra de coco e resina poliéster	76,29			
20% fibra de coco e resina poliéster	79,72			
25% fibra de coco e resina poliéster	80,64			
30% fibra de coco e resina poliéster	78,12			

Fonte: Autor (2021).

A Tabela 10 apresenta uma comparação dos resultados dos ensaios mecânicos dos compósitos desenvolvidos neste trabalho em relação aos outros compósitos com fibra de coco provenientes da literatura. Observa-se uma tendência na tração e flexão nos experimentos de resina poliéster e fibra de coco.



**Tabela 10 – Discussão dos resultados deste trabalho a luz da teoria**

<b>Ensaio Mecânico</b>				
	<b>Trabalhos</b>	<b>Resistência à Tração (MPa)</b>	<b>Resistência à Flexão (MPa)</b>	<b>Autores</b>
<b>#</b>	Resultados obtidos neste trabalho, resina poliéster 0% fibra de coco 10% fibra de coco 20% fibra de coco 25% fibra de coco 30% fibra de coco	13,79 MPa 17,65 MPa 25,13 MPa 27,43 MPa 20,35 MPa	22,70 MPa 26,96 MPa 33,76 MPa 35,91 MPa 33,80 MPa	Próprio Autor (2021)
1	Resina poliéster 40% de fibra de coco	11,00 MPa	33,50 MPa	Oliveira (2018)
2	Resina poliéster 30% de fibra de coco	24,00 MPa	72,00 MPa	Taborda (2014)
3	Resina poliéster 30% de fibra de coco	18 MPa	55 MPa	Bezerra (2014)
4	Resina poliéster 30% de fibra de coco	21,88 MPa	-----	Ortiz (2017)
5	Madeira como material estrutural e resina poliéster 10% de fibra de coco	-----	120,00 MPa	Ferreira et al. (2017)
6	Resina poliéster 7,5% de fibra de coco e 7,5% fibra de vidro	38,6 MPa	89,2 MPa	Guerrero et al. (2013)
7	Resina poliestireno de alto impacto 20% de fibra de coco	25,00 MPa	47,00 MPa	Benini (2011)
8	Resina epóxi 30% de fibra de coco	17,7 MPa	37,33 MPa	Gonçalves (2010)
9	Resina epóxi 12% de fibra de banana	20 MPa	126,67 MPa	Badrinath e Senthilvelan (2014)
10	Resina epóxi 30% de fibra de juta	51 MPa	173 MPa	Pires (2009a)

Fonte: Autor (2021)

Conforme Tabela 11 é possível observar que os melhores resultados deste trabalho estão na concentração de 25% de fibra de coco onde tem 27,81 MPa para Tração e 35,06 MPa para flexão. Esses resultados são corroborados por outros estudos onde é possível identificar uma tendência conforme os resultados de Oliveira (2018), onde 40% de fibra de coco resultou em uma flexão de 33,50 MPa. Os

resultados do estudo de Taborda (2014) são próximos para a tração onde ele encontra 24 MPa com 30% e fibra de coco, porém os resultados de flexão são muito maiores, 72 MPa, porém a de se destacar que o referido autor utilizou fibras alongadas e este fator contribuiu para um melhor rendimento no esforço de flexão.

É possível identificar também que outras resinas e fibras naturais possuem um rendimento similar a resina poliéster e fibra de coco, assim confirmando que o uso de fibras de coco pode ser utilizado em matriz poliméricas.

#### 4.7 APLICAÇÕES PRÁTICAS

O objetivo deste trabalho foi desenvolver e caracterizar um compósito de matriz polimérica usando a resina poliéster ortoftálica reforçado com fibra de coco para aplicação na fabricação de diversos produtos.

Podemos citar a viabilidade de confecção de utensílios como bandejas, tigelas, caixas organizadoras, peças de pequeno impacto para indústria automobilística e carcaça de equipamentos eletrônicos.

Baseando-se nos estudos e resultados obtidos optou-se por desenvolver a carcaça de manete de vídeo game com a composição de 25% de fibra de coco em relação a massa de resina poliéster por ter apresentado os melhores resultados de ensaios mecânicos, melhor trabalhabilidades na confecção dos Cp's e espalhamento uniforme na matriz resina poliéster. Após esse período adicionou-se 20gr de endurecedor

Para confecção da carcaça de manete de vídeo game utilizou-se como molde uma forma de acetato com o design de um manete comercial (Figura 76), da marca BWB modelo 9814 constituída por três partes: parte frontal que dá o formato aos *botons* do manete, uma película de silicone que ajuda a manter o compósito ainda líquido espalhado por toda a forma, e uma forma que dá o acabamento.

**Figura 76 – Forma de acetado para manete**

Fonte: Autor (2020).

O compósito foi preparado em um bécker com 75 gr de resina poliéster e 25gr de fibra de coco triturada, com auxílio de um bastão de vidro misturou-se a fibra e a resina deixando homogêneo e em repouso por 30 minutos para impregnação da resina na fibra antes da polimerização (Figura 77).

**Figura 77 – Preparo do compósito do produto**

Fonte: Autor (2020).

. A mistura foi despejada na forma frontal de acetato até sua marcação interna que indica a quantidade ideal do líquido, depois o líquido foi pressionado com a película de silicone e a forma de moldagem interna (Figura 78).

**Figura 78 – Moldagem do produto**



Fonte: Autor (2020).

O período de cura estabelecido nos experimentos realizados foi de 24h, portando deixou-se a forma com o compósito sobre uma superfície plana em temperatura ambiente durante 24h para total polimerização da resina de poliéster.

Após esse período o compósito despreendeu-se facilmente da forma obtendo assim o produto proposto, a carcaça do manete de vídeo game. A Figura 79 mostra a parte frontal da carcaça do manete.

**Figura 79 – Carcaça frontal do manete de vídeo game**



Fonte: Autor (2020).

A parte interna do manete é composta por circuitos eletrônicos e fonte de energia para alimentação, conforme podemos observar na ilustração da Figura 80, o uso contínuo deste equipamento pode causar pequenas variações de temperatura interna.

**Figura 80** – Circuito interno de um manete



Fonte: Adaptado de Meups.com (2020).

Para testar a variação de temperatura foi montado um circuito simples na parte interna do manete confeccionado utilizando uma bateria de 9V para alimentação e 2 leds. Na Figura 81 podemos observar o esquema de circuito com um led amarelo e outro vermelho.

**Figura 81** – Manete com bateria



Fonte: Autor (2020).

Manete com bateria, a carcaça foi mantida em uma superfície plana a temperatura de 32°C, um plástico tipo lona foi utilizado para tampar a parte de trás simulando um manete completamente fechado. Deixou-se a bateria em funcionamento por 6 horas e variação de temperatura foi de 0,8°C. A Figura 82 mostra a medição da temperatura diretamente na bateria inicialmente com 32°C e após 6h com 32,8°C.

**Figura 82** – Temperatura da bateria no manete



Fonte: Autor (2020).

Como observado no teste com bateria, não ocorre mudança de temperatura significativa, portanto o compósito com 25% de fibra de coco e resina poliéster pode ser aplicado na confecção de carcaças para equipamentos que demandam baixa voltagem de alimentação.

## 5 CONCLUSÃO

A viabilidade técnica de produção de um compósito de fibra de coco e resina poliéster foi comprovada neste estudo com base nos resultados obtidos nos ensaios mecânicos e análise microestrutural. Comparando os resultados de dureza, tração e flexão dos Cp's reforçados com fibra de coco e os Cp's com resina poliéster pura constatamos que a fibra influencia no aumento da dureza, resistência à tração e resistência à flexão.

Em relação a composição mássica de fibra de coco, o aumento de dureza e resistência é crescente até 25% de fibra de coco em relação a massa de resina poliéster apresentando uma média para dureza de 79,26 (SHORE D), média para tração de 27,43 MPa e média para flexão de 35,91 MPa, na concentração de 30% de fibra de coco os valores de dureza, resistência a tração e flexão começam a decair, mostrando uma tendência a fragilidade para o material.

As análises de MEV e microscopia óptica permitiram visualizar a interação e homogeneidade na distribuição das fibras de coco na matriz de resina poliéster, o que interferiu diretamente nas propriedades de dureza, tração e flexão. Assim como, comprovou a que o método de desenvolvimento por processo de modelagem por contato manual é eficiente para obtenção dos compósitos, indicando a possibilidade de um processo de produção em escala industrial simples.

Considerando-se os resultados obtidos, podemos comprovar que o uso de fibras de coco em compósitos poliméricos, proporciona melhorias nas características mecânicas e redução no consumo de polímeros e fibras sintéticas, evidenciando assim uma utilização que propicia ações sustentáveis e ecologicamente viáveis.

Como proposição de estudos futuros ficam abertos caminhos para experimentos que caracterizem o material com a adição da fibra de vidro e também a realização de outros tipos de ensaios mecânicos.

## REFERÊNCIAS

ADENIYI, A. G. et al. A review of coir fiber reinforced polymer composites. **Composites Part B: Engineering**, v. 176, p. 107305, nov. 2019.

ALBINANTE, S. R.; PACHECO, É. B. A. V.; VISCONTE, L. L. Y. Revisão dos tratamentos químicos da fibra natural para mistura com poliolefinas. **Química Nova**, v. 36, n. 1, p. 114–122, 2013.

ALHARBI, M. A. H. et al. Effects of chemical composition, mild alkaline pretreatment and particle size on mechanical, thermal, and structural properties of binderless lignocellulosic biopolymers prepared by hot-pressing raw microfibrillated Phoenix dactylifera and Cocos nucifera. **Polymer Testing**, v. 84, p. 106384, abr. 2020.

ALTEZ BASALDÚA, A. G. et al. Efecto de pudrición por hongos en las propiedades físicas y mecánicas del compuesto bambú-polipropileno. **Revista Mexicana de Ciencias Forestales**, v. 11, n. 62, 26 out. 2020.

ALVES, K. D. N. A. et al. Estudo da Evolução do Cultivo de Coco em Municípios do Estado do Pará e nos Principais Estados Brasileiros Produtores. **Revista Agroecossistemas**, v. 10, n. 2, p. 209, 19 nov. 2018.

AMARAL, JR, J. C.; MORAVIA, W. G. Thermal properties of polypropylene and high modulus polyethylene fibers reinforced concretes. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 13, n. 1, p. 32–38, fev. 2020.

BADRINATH, R.; SENTHILVELAN, T. Comparative Investigation on Mechanical Properties of Banana and Sisal Reinforced Polymer based Composites. **Procedia Materials Science**, v. 5, p. 2263–2272, 2014.

BALLA, V. K. et al. Additive manufacturing of natural fiber reinforced polymer composites: Processing and prospects. **Composites Part B: Engineering**, v. 174, p. 106956, out. 2019.

BAMIGBOYE, G. et al. Compressive Behaviour of Coconut Fibre (Cocos nucifera) Reinforced Concrete at Elevated Temperatures. **Fibers**, v. 8, n. 1, p. 5, 1 jan. 2020.

BARBOSA, R. A. et al. **Extração de Fibras de Coco para Aplicação em Materiais**



**de Engenharia.** XX Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, XVI Encontro Latino Americano de Pós-Graduação e VI Encontro de Iniciação à Docência - Universidade do Vale do Paraíba. **Anais...**2018

BENASSI, A. C.; FANTON, C. J.; SANTANA, E. N. DE. **O cultivo do coqueiro-anão-verde : tecnologias de produção.** Vitória: Incaper, 2013.

BENINI, K. C. C. DE C. Desenvolvimento e caracterização de compósitos poliméricos reforçados com fibras lignocelulósicas: HIPS / fibra de casca do coco verde e bagaço de cana de açúcar. **Universidade Estadual Paulista**, 2011.

BEZERRA, A. F. C. Desenvolvimento De Compósito Poliéster Insaturado / Fibras Vegetais (Caroá E Coco). **Universidade Federal de Campina Grande**, 2014.

BHATTI, I. A. et al. Dyeing of UV irradiated cotton and polyester fabrics with multifunctional reactive and disperse dyes. **Journal of Saudi Chemical Society**, v. 20, n. 2, p. 178–184, mar. 2016.

BLONSKAYA, I. V. et al. Observation of latent ion tracks in semicrystalline polymers by scanning electron microscopy. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 138, n. 8, p. 49869, 20 fev. 2021.

BOGIATZIDIS, C.; ZOUMPOULAKIS, L. Thermoset Polymer Matrix Composites of Epoxy, Unsaturated Polyester, and Novolac Resin Embedding Construction and Demolition Wastes powder: A Comparative Study. **Polymers**, v. 13, n. 5, p. 737, 27 fev. 2021.

CALEGARI, E. P.; OLIVEIRA, B. F. DE. Compósitos a partir de materiais de fontes renováveis como alternativa para o desenvolvimento de produtos. **Sustentabilidade em Debate**, v. 7, n. 1, p. 140–155, 30 abr. 2016.

CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e Engenharia de Materiais - Uma Introdução.** 9ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

CASTILHOS, L. F. F. Aproveitamento da Fibra de Coco. **Instituto de Tecnologia do Paraná – TECPAR**, p. 3–8, 2011.

CAVALCANTE, L. V. **A Diversidade da Geografia Brasileira: a nova geografia da**

**produção de coco no Brasil escalas e dimensões da análise e da ação de 9 a 12 de outubro de 2015.** XI Encontro Nacional da ENANPEGE. **Anais...2015**

CAVALCANTE, L. V. Os circuitos espaciais e os círculos de cooperação da produção de coco no Litoral Oeste do Ceará. **Caminhos de Geografia**, v. 17, n. 57, p. 41–58, 11 mar. 2016.

CAZETTA, A. L. et al. NaOH-activated carbon of high surface area produced from coconut shell: Kinetics and equilibrium studies from the methylene blue adsorption. **Chemical Engineering Journal**, v. 174, n. 1, p. 117–125, out. 2011.

CHEN, X. et al. Modern Scattering-Type Scanning Near-Field Optical Microscopy for Advanced Material Research. **Advanced Materials**, v. 31, n. 24, p. 1804774, jun. 2019.

COHIBRA. **Fibra de coco**. Disponível em: <<https://cohibra.com.br/substratos-2-fibra-de-coco/>>. Acesso em: 4 maio. 2020.

CORKUM, A. G. et al. The Leeb Hardness Test for Rock: An Updated Methodology and UCS Correlation. **Rock Mechanics and Rock Engineering**, v. 51, n. 3, p. 665–675, 8 mar. 2018.

D'ANTINO, T.; PAPANICOLAOU, C. (CORINA). Comparison between different tensile test set-ups for the mechanical characterization of inorganic-matrix composites. **Construction and Building Materials**, v. 171, p. 140–151, maio 2018.

DE OLIVEIRA, R. J. V. et al. Phaeosphaeria nodulispora, a new endophytic coelomycete isolated from tropical palm (Cocos nucifera) in Brazil. **Nova Hedwigia**, v. 103, n. 1–2, p. 185–192, 1 ago. 2016.

DEBNATH, S. Unexplored Vegetable Fibre in Green Fashion. In: **Green Fashion**. 1. ed. Singapore: Springer, 2016. p. 1–19.

DERNBACH, J. C.; MINTZ, J. A. Environmental Laws and Sustainability: An Introduction. **Sustainability**, v. 3, n. 3, p. 531–540, 23 mar. 2011.

DIAS, F. G. F. et al. Can platelet-rich plasma coating improve polypropylene mesh integration? An immunohistochemical analysis in rabbits. **International braz j urol**, v.

47, n. 2, p. 287–294, mar. 2021.

DOMINGUES, M. L. B. et al. Disposable coffee capsules as a source of recycled polypropylene. **Polímeros**, v. 30, n. 1, 2020.

EMBRAPA. Relatório de avaliação dos impactos das tecnologias geradas pela Embrapa. **EMBRAPA**, p. 1–39, 2019.

FARIAS, J. G. G. DE. Modificação superficial de fibras de coco por tratamento a plasma para utilização como fase de reforço em amido termoplástico. **Universidade Federal do Rio de Janeiro**, p. 1–96, 2012.

FERRARA, A. et al. Human dilated ascending aorta: Mechanical characterization via uniaxial tensile tests. **Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials**, v. 53, p. 257–271, jan. 2016.

FERREIRA, J. A. et al. Determination of pesticides in coconut ( *Cocos nucifera* Linn.) water and pulp using modified QuEChERS and LC–MS/MS. **Food Chemistry**, v. 213, p. 616–624, dez. 2016.

FERREIRA, J. A.; DE OLIVEIRA JÚNIOR, A. I.; DE SOUZA, J. R. P. Comparação Das Resistências Mecânicas Do Compósito Resina Poliéster/Fibra De Coco E Madeiras Brasileiras De Usos Estruturais. **Engevista**, v. 19, n. 5, p. 1364, 4 dez. 2017.

FERREIRA, L. B. **Sustentabilidade e as Fibras Naturais no Brasil**. Anais dos Colóquios de Moda - 2018. **Anais...2018**

FIEB. **Lideranças do setor de fibras naturais do Brasil se reúnem na Bahia**. Disponível em: <<http://www.fieb.org.br/Noticia/6717/Liderancas-do-setor-de-fibras-naturais-do-Brasil-se-reunem-na-Bahia.aspx>>. Acesso em: 4 abr. 2020.

GAO, W. et al. Self-Healable and Reprocessable Polysulfide Sealants Prepared from Liquid Polysulfide Oligomer and Epoxy Resin. **ACS Applied Materials & Interfaces**, v. 9, n. 18, p. 15798–15808, 10 maio 2017.

GELFUSO, M. V. et al. **Propriedades de Compósitos de Polipropileno Reforçado com Fibra de Coco**. VI Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica. **Anais...2011**

GIHWALA, D.; MARS, J. A.; PINEDA-VARGAS, C. Application of particle-induced X-ray emission, backscattering spectrometry and scanning electron microscopy in the evaluation of orthodontic materials. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v. 297, n. 3, p. 423–429, 20 set. 2013.

GONÇALVES, J. A. V. Compósitos à base de resina epóxi reforçados com fibra de coco. **Universidade Federal de Sergipe**, 2010.

GUERRERO, V. et al. Materiales compuestos de matriz poliéster reforzados con fibras naturales y sintéticas. **Congreso de Ciencia y Tecnología**, v. 8, n. 1, 2013.

HASAN, K. M. F. et al. A state-of-the-art review on coir fiber-reinforced biocomposites. **RSC Advances**, v. 11, n. 18, p. 10548–10571, 2021.

HERNANDEZ, D. A.; SOUFEN, C. A.; ORLANDI, M. O. Carbon Fiber Reinforced Polymer and Epoxy Adhesive Tensile Test Failure Analysis Using Scanning Electron Microscopy. **Materials Research**, v. 20, n. 4, p. 951–961, 6 jul. 2017.

HIBBELER, R. C. **Resistência dos Materiais**. 10. ed. São Paulo: [s.n.].

HUSSIAN SIYAL, S. et al. Mechanical Characteristics and Adhesion of Glass-Kevlar Hybrid Composites by Applying Different Ratios of Epoxy in Lamination. **Coatings**, v. 11, n. 1, p. 94, 15 jan. 2021.

JAVNI, I. et al. Thermoplastic polyurethanes with isosorbide chain extender. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 132, n. 47, p. n/a-n/a, 15 dez. 2015.

JAWAD, A. H. et al. Microwave-assisted preparation of mesoporous-activated carbon from coconut ( *Cocos nucifera* ) leaf by H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> activation for methylene blue adsorption. **Chemical Engineering Communications**, v. 204, n. 10, p. 1143–1156, 3 out. 2017.

JEONG, H. Y. et al. Visualizing Point Defects in Transition-Metal Dichalcogenides Using Optical Microscopy. **ACS Nano**, v. 10, n. 1, p. 770–777, 26 jan. 2016.

KAMARAL, L. C. J. et al. SSR markers reveal the population structure of Sri Lankan yellow dwarf coconuts (*Cocos nucifera* L.). **Tree Genetics & Genomes**, v. 12, n. 6, p. 116, 14 dez. 2016.

KUMAR, S. et al. Recent Development of Biobased Epoxy Resins: A Review. **Polymer-Plastics Technology and Engineering**, v. 57, n. 3, p. 133–155, 11 fev. 2018.

LI, K.; XU, Z. Decomposition of high-impact polystyrene resin in e-waste by supercritical water oxidation process with debromination of decabromodiphenyl ethane and recovery of antimony trioxide simultaneously. **Journal of Hazardous Materials**, v. 402, p. 123684, jan. 2021.

LIU, H. et al. Three-dimensional investigation of cycling-induced microstructural changes in lithium-ion battery cathodes using focused ion beam/scanning electron microscopy. **Journal of Power Sources**, v. 306, p. 300–308, fev. 2016.

LIU, S. et al. A review of extending performance of epoxy resins using carbon nanomaterials. **Composites Part B: Engineering**, v. 136, p. 197–214, mar. 2018.

LOPES, G. L. **Compêndio Online**. Disponível em: <<https://sites.unicentro.br/wp/manejoflorestal/cocos-nucifera-l-coqueiro-bahia/>>. Acesso em: 6 mar. 2020.

LOZANO, R. Analysing the use of tools, initiatives, and approaches to promote sustainability in corporations. **Corporate Social Responsibility and Environmental Management**, v. 27, n. 2, p. 982–998, 2 mar. 2020.

LUZURIAGA, A. R. DE et al. Epoxy resin with exchangeable disulfide crosslinks to obtain reprocessable, repairable and recyclable fiber-reinforced thermoset composites. **Materials Horizons**, v. 3, n. 3, p. 241–247, 2016.

MACHADO, B. DA S. et al. Transition characteristics of Brazilian vegetable fibers investigated by heating microscopy. **Journal of Natural Fibers**, v. 17, n. 3, p. 450–462, 3 mar. 2020.

MAHMOUDI, M. et al. Mechanical properties and microstructural characterization of selective laser melted 17-4 PH stainless steel. **Rapid Prototyping Journal**, v. 23, n. 2, p. 280–294, 20 mar. 2017.

MANICA, G. et al. Analysis of the resistance to fire of solid concrete boards with

polypropylene microfibers and long curing time. **Revista de la construcción**, v. 18, n. 3, p. 595–602, 2019.

MARCEAU, H. et al. In operando scanning electron microscopy and ultraviolet–visible spectroscopy studies of lithium/sulfur cells using all solid-state polymer electrolyte. **Journal of Power Sources**, v. 319, p. 247–254, jul. 2016.

MARINELLI, A. L. et al. Desenvolvimento de compósitos poliméricos com fibras vegetais naturais da biodiversidade: uma contribuição para a sustentabilidade amazônica. **Polímeros**, v. 18, n. 2, p. 92–99, jun. 2008.

MARTINS, C. R.; JÚNIOR, L. A. DE J. Evolução da produção de coco no Brasil e o comércio internacional - Panorama 2010. **EMBRAPA**, p. 1–32, 2011.

MI, X. et al. Multiple surface plasmon resonances enhanced nonlinear optical microscopy. **Nanophotonics**, v. 8, n. 3, p. 487–493, 7 fev. 2019.

MICCOLI, G. et al. A New Device to Test the Bending Resistance of Mechanical Endodontic Instruments. **Applied Sciences**, v. 10, n. 20, p. 7215, 16 out. 2020.

NAVEEN, J. et al. Thermal degradation and viscoelastic properties of Kevlar/Cocos nucifera sheath reinforced epoxy hybrid composites. **Composite Structures**, v. 219, p. 194–202, jul. 2019.

NETO, M. F. et al. **Tamanho do Genoma em Coqueiro (Cocos nucifera L.) via Citometria de Fluxo**. 7º Congresso Brasileiro de Melhoramento de Plantas. **Anais...2013**

NURAISSYAH, A.; NUGROHO, S. A.; FATIMAH, T. Physical characterization of coconut fruit (Cocos nucifera L) in the region of Jember regency. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 672, n. 1, p. 012008, 1 mar. 2021.

OKABE, T. et al. Molecular dynamics simulation of crosslinked epoxy resins: Curing and mechanical properties. **European Polymer Journal**, v. 80, p. 78–88, jul. 2016.

OLIVEIRA, D. M. DE. Influência do tratamento físico da fibra de coco nas propriedades mecânicas do biocompósito com matriz de poliéster insaturada. **Universidade Estadual Paulista**, 2018.

ORTIZ, G. E. M. Caracterización Mecánica Del Material Compuesto De Matriz Poliéster Con Fibra De Coco Para La Determinación De Propiedades Mecánicas En Aplicaciones Industriales. **Universidad Técnica De Ambato**, 2017.

OUADIL, B. et al. Surface modification of knit polyester fabric for mechanical, electrical and UV protection properties by coating with graphene oxide, graphene and graphene/silver nanocomposites. **Applied Surface Science**, v. 414, p. 292–302, ago. 2017.

PEREIRA, G. B. Caracterização De Compósitos HIPS/Fibra Da Casca Do Coco Verde Tratada E Confecção De Manual Interativo Para Aplicação Na Indústria Automobilística. **Centro Universitário de Volta Redonda**, 2016.

PEREIRA, G. B. et al. Caracterização De Compósitos De Poliestireno De Alto Impacto (HIPS) Reforçados Com Fibras De Coco Verde Para Eventual Aplicação Na Indústria Automobilística. **Cadernos UniFOA**, v. 12, n. 34, 2017.

PIMENTA, A. S. et al. Utilização de resíduos de coco (*Cocos nucifera*) carbonizado para a produção de briquetes. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 1, 29 mar. 2015.

PIRES, E. N. Efeito Do Tratamento De Superfície Em Fibras De Juta No Comportamento Mecânico De Compósitos De Matriz Epóxi. **Universidade Federal De Santa Catarina**, 2009a.

PIRES, J. S. C. Fibras Naturais: Características Químicas e Potenciais Aplicações. **Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho**, 2009b.

POILLUCCI, R. A.; HANSEN, C. J. Reducing use of styrene monomer in unsaturated polyester resins. **University of Massachusetts Lowell**, 2013.

RAVI KUMAR, K.; KIRAN, K.; SREEBALAJI, V. S. Characterization of mechanical properties of aluminium/tungsten carbide composites. **Measurement**, v. 102, p. 142–149, maio 2017a.

RAVI KUMAR, K.; KIRAN, K.; SREEBALAJI, V. S. Micro structural characteristics and mechanical behaviour of aluminium matrix composites reinforced with titanium carbide. **Journal of Alloys and Compounds**, v. 723, p. 795–801, nov. 2017b.

RITCHIE, E. T. et al. Mapping Free-Carriers in Multijunction Silicon Nanowires Using Infrared Near-Field Optical Microscopy. **Nano Letters**, v. 17, n. 11, p. 6591–6597, 8 nov. 2017.

RODRIGUES, J. DA S. Comportamento mecânico de material compósito de matriz poliéster reforçado por sistema híbrido fibras naturais e resíduos da indústria madeireira. **Universidade Federal do Pará**, 2008.

RONG, G. et al. Liquid-Phase Electrochemical Scanning Electron Microscopy for In Situ Investigation of Lithium Dendrite Growth and Dissolution. **Advanced Materials**, v. 29, n. 13, p. 1606187, abr. 2017.

RUBIO, M. P. et al. Virtual Reality Learning Environments in Materials Engineering: Rockwell Hardness Test. In: [s.l: s.n.]. p. 106–113.

SANCHEZ, E. M. S. et al. Compósito de resina de poliéster insaturado com bagaço de cana-de-açúcar: influência do tratamento das fibras nas propriedades. **Polímeros**, v. 20, n. 3, p. 194–200, 1 out. 2010.

SANJAY, M. R. et al. Characterization and properties of natural fiber polymer composites: A comprehensive review. **Journal of Cleaner Production**, v. 172, p. 566–581, jan. 2018.

SANTOS, A. M. DOS. Formulação e Caracterização De Compósitos Com Fibras Vegetais e Matriz Termoplástica. **Universidade Federal do Paraná**, 2010.

SANTOS, W. G. et al. **Composito Polimérico De Fibra De Coco: Análise De Tração E Mecanismos De Falha**. Blucher Chemical Engineering Proceedings. **Anais...**São Paulo: Editora Blucher, set. 2018

SARIKAYA, E.; ÇALLIOĞLU, H.; DEMIREL, H. Production of epoxy composites reinforced by different natural fibers and their mechanical properties. **Composites Part B: Engineering**, v. 167, p. 461–466, jun. 2019.

SCHNEIDER, E. L. et al. Reaproveitamento de resíduo de placas de circuito impresso como cargas em compósitos de polipropileno. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 25, n. 3, 2020.



SCUTARU, M. L. et al. Bending Tests Used to Determine the Mechanical Properties of the Components of a Composite Sandwich Used in Civil Engineering. **Procedia Manufacturing**, v. 32, p. 259–267, 2019.

SEKI, Y. et al. Kompozit Malzeme Üretiminde Kullanılacak Bitkisel Liflerin Alkali Modifikasyonu Sonrası Morfolojik ve Kimyasal Yapılarındaki Değişimin İncelenmesi. **Tekstil ve Mühendis**, v. 24, n. 108, p. 222–232, 31 dez. 2017.

SILAEX. **Resina Epóxi**. Disponível em: <<http://www.silaex.com.br/epoxi.htm>>. Acesso em: 4 jun. 2020a.

SILAEX. **Resina Poliéster Insaturado**. Disponível em: <<https://silax.ind.br/resina-poliester>>. Acesso em: 4 jun. 2020b.

SILVA, F. P. DA et al. Polipropileno Verde A Partir Do Glicerol: Estudo De Mercado E Instalação De Uma Planta No Brasil. **Revista Eletrônica Perspectivas da Ciência e Tecnologia - ISSN: 1984-5693**, v. 11, 19 dez. 2019.

SILVA JUNIOR, O. G. DA. Produção e caracterização de compósitos à base de fibras de curauá, amido termoplástico e polietileno, utilizando-se a termografia. **Universidade do Estado de Minas Gerais**, p. 1–130, 2013.

SOUZA, L. S. DE; BORGES, T. F. Influência Da Adição De Copolímero Em Bloco De Estireno-Butadieno (Sbs) No Poliestireno De Alto Impacto (Hips) Reprocessado. **Universidade do Vale do Paraíba**, 2011.

STEVENS, R. J.; GUTHRIE, W. S. **Scanning Tour of Polyester Polymer Concrete Overlays on Bridge Decks in California**. Tran-SET 2020. **Anais...**Reston, VA: American Society of Civil Engineers, 12 jan. 2021

T, S. M. K. et al. Characterization, thermal and dynamic mechanical properties of poly(propylene carbonate) lignocellulosic Cocos nucifera shell particulate biocomposites. **Materials Research Express**, v. 6, n. 9, p. 096426, 12 jul. 2019.

TABORDA, J. D. T. Propiedades Mecánicas De Una Matriz De Poliéster Reforzada Con Fibra De Coco Comparadas Con La Misma Matriz Reforzada Con Fibra De Vidrio. **Universidad Tecnológica de Pereira**, 2014.

TEOH, Y. H. et al. Fuel Injection Responses and Particulate Emissions of a CRDI Engine Fueled with Cocos nucifera Biodiesel. **Sustainability**, v. 13, n. 9, p. 4930, 28 abr. 2021.

TOWNSEND, T. World natural fibre production and employment. In: **Handbook of Natural Fibres**. 2<sup>a</sup> ed. [s.l.] Woodhead Publishing, 2020. p. 15–36.

TRETYAKOVA, T. V. et al. Comprehensive analysis of mechanical behavior and fracture processes of specimens of three-dimensional reinforced carbon fiber in tensile tests. **PNRPU Mechanics Bulletin**, n. 1, 2019.

VAINSENER, S. A. **Coco**. Disponível em: <[http://basilio.fundaj.gov.br/pesquisaescolar/index.php?option=com\\_content&view=article&id=515&Itemid=181](http://basilio.fundaj.gov.br/pesquisaescolar/index.php?option=com_content&view=article&id=515&Itemid=181)>. Acesso em: 4 fev. 2020.

VELOSO, Y. M. DA S. et al. Reutilização da fibra da casca do coco verde para a produção de matéria prima industrial. **Caderno De Graduação - Ciências Exatas E Tecnológicas - UNIT - SERGIPE**, v. 1, n. 3, p. 91–98, 2013.

VIVAGREEN. **UFRJ Cria Alternativas Ecológicas Para Materiais de Construção**. Disponível em: <<https://vivagreen.com.br/greenarq/ufrj-cria-alternativas-ecologicas-para-materiais-de-construcao/>>. Acesso em: 4 maio. 2020.

WANG, J. L.; MA, D. J.; SUN, L. The influence of crack forms on indentation hardness test results for ceramic materials. **Journal of Materials Science**, v. 50, n. 18, p. 6096–6102, 17 set. 2015.

WANG, P. et al. Scanning optical microscopy for porosity quantification of additively manufactured components. **Additive Manufacturing**, v. 21, p. 350–358, maio 2018.

WEARN, Y. N.; MONTAGNA, L. S.; PASSADOR, F. R. Compósitos de fibra de coco/LDPE: efeito do tratamento superficial das fibras de coco em compósitos verdes. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 25, n. 1, 2020.

XIAO, Y. et al. The genome draft of coconut (Cocos nucifera). **GigaScience**, v. 6, n. 11, 1 nov. 2017.

XU, Y.; WEN, W.; WU, J.-M. Titania nanowires functionalized polyester fabrics with

enhanced photocatalytic and antibacterial performances. **Journal of Hazardous Materials**, v. 343, p. 285–297, fev. 2018.

ZAMZANI, N. M.; MYDIN, M. A. O.; GHANI, A. N. A. Influence of 'Cocos Nucifera Linn' Fiber Volume Fraction on Water Absorption and Porosity of Foamed Concrete. **International Journal of Engineering and Advanced Technology**, v. 8, n. 6, p. 3428–3435, 30 ago. 2019.