



UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SUDESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E ENGENHARIAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

CARLOS ANTONIO SOUZA GURGEL JÚNIOR

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO EM TRAÇÃO E IMPACTO DE UM
COMPÓSITO POLIMÉRICO REFORÇADO COM FIBRAS DE ALGODÃO BRABO
(*COCHLOSPERMUM*) CONFECCIONADOS COM FIBRAS LONGAS E
ALINHADAS ANTES E APÓS MERCERIZAÇÃO**

UNIFESSPA
2018

CARLOS ANTONIO SOUZA GURGEL JÚNIOR

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO EM TRAÇÃO E IMPACTO DE UM
COMPÓSITO POLIMÉRICO REFORÇADO COM FIBRAS DE ALGODÃO BRABO
(*COCHLOSPERMUM*) CONFECCIONADOS COM FIBRAS LONGAS E
ALINHADAS ANTES E APÓS MERCERIZAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Materiais, no Instituto de Geociências e Engenharias da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará.

Orientador: Prof. Me. Márcio Paulo de Araújo Mafra.

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca II da UNIFESSPA. CAMAR, Marabá, PA

Gurgel Júnior, Carlos Antonio Souza

Avaliação do comportamento em tração e impacto de um compósito polimérico reforçado com fibras de algodão brabo (*Cochlospermum*) confeccionados com fibras longas e alinhadas antes e após mercerização / Carlos Antonio Souza Gurgel Júnior ; orientador, Márcio Paulo de Araújo Mafra. — 2018.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Campus Universitário de Marabá, Instituto de Geociências e Engenharias, Faculdade de Engenharia de Materiais, Curso de Engenharia de Materiais, Marabá, 2018.

1. Polímeros. 2. Materiais compostos. 3. Algodão - Acabamento. 4. Fibras. 5. Reaproveitamento (Sobras, refugos, etc.). I. Mafra, Márcio Paulo de Araújo, orient. II. Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará. III. Título.

CDD: 22. ed.: 620.192

CARLOS ANTONIO SOUZA GURGEL JÚNIOR

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO EM TRAÇÃO E IMPACTO DE UM
COMPOSITO POLIMÉRICO REFORÇADO COM FIBRAS DE ALGODÃO BRABO
(*COCHLOSPERMUM*) CONFECCIONADOS COM FIBRAS LONGAS E
ALINHADAS ANTES E APÓS MERCERIZAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Materiais, no Instituto de Geociências e Engenharias da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará.

Orientador: Prof. Me. Márcio Paulo de Araújo Mafra.

Data de aprovação: 23 /12 /2018

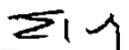
Conceito: EXCELENTE

Banca examinadora:



-Orientador

Prof. Me. Márcio Paulo de Araújo Mafra / UNIFESSPA



- Membro interno

Prof. Dr. Elias Fagury Neto / UNIFESSPA



- Membro interno

Prof. Me. José Charles Moraes de Oliveira / UNIFESSPA

MARABÁ-PA
2018

Dedico esse trabalho a minha mãe e padrasto, Irene Costa Gurgel e Nax Nando, aos meus avos Moacir de Souza Dias, Ana Maria de Souza Gurgel e Maria José (*In Memoriam*), ao meu avô José Chico, a minha tia Graça Gurgel Pontes a minha prima Vania Gurgel, ao amigo William Mathias Formachari de Oliveira.

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente a Deus. A minha mãe e meu padrasto, pela dedicação e por acreditarem e investir em mim, principalmente a minha mãe por ter me dado uma educação e formação moral de boa qualidade pela garra e esforço para me manter na faculdade, sem me deixar passar por dificuldades, aos meus avós Ana Maria Gurgel, Moacir de Souza Dias e Maria José (*In Memoriam*), a minha tia Graça Gurgel e prima Vânia Gurgel, que me ajudaram de todas as formas possíveis para que eu já mais pudesse desistir da minha graduação, a minha tia Diana Gurgel que foi a primeira pessoa da minha família a incentivar a fazer um curso superior, a minha prima Simone Gurgel que sempre se colocou à disposição no decorrer da pesquisa aos meus primos Daniel Santos, Marcos Winicius e todos os demais familiares.

Aos meus amigos Eduardo Carvalho que foi a primeira pessoa que me acolheu aqui na cidade Marabá, ao William Mathias, por ter me acolhido em sua casa no decorrer da caminhada, ao Marcos Mourão, Cleiton Lima, Cleidson Lima e aos meus amigos que fiz no decorrer do curso como a Lívia Maria Fernandes de Sousa, Pablo Reis, João André, Idailson, Danilo Luz, e também aos amigos que fiz na faculdade como a Rafaela Dutra, Roberto Nazareno.

Agradeço também a Marilda Formachari e Valtemir Oliveira que me ajudaram muito, Marcia e Flávia, pessoas extraordinárias que Deus mandou para minha vida.

Agradeço a Escola Valdecir onde dei início a minha formação, depois fui para a Escola Brasil Tropical onde fiz o fundamental e médio, agradeço aos meus professores que me recordo com muito carinho de cada um deles, agradeço também a IFPA onde estudei por dois anos, agradeço ao meu amigo e professor Marconiel do IFPA.

Agradeço a UNIFESSPA de modo geral, a todos os professores e técnicos da FEMAT, em especial ao meu orientador que ajudou de forma incondicional, e as demais pessoas que não foram citadas, mas que também são importantes na minha vida.

“Se enxerguei mais longe, foi porque me apoiei sobre os ombros de gigantes”, de Isaac Newton,

RESUMO

O mercado dos materiais compósitos tem crescido de forma constante nas últimas décadas e, hoje, inclui diversas aplicações, que vão desde automobilísticas até aviação espacial, diante disso, este tem se tornado cada vez mais objeto de estudo e pesquisa das comunidades científicas, as fibras de origem vegetal vem conquistando seu espaço, como aposta de novas matérias para o futuro, sendo essas biodegradáveis e de um custo menos oneroso no momento da produção. Dito isto o presente trabalho fez uso de uma fibra de origem vegetal, presente na Amazônia brasileira, conhecida popularmente no Estado do Pará como Algodão Brabo (*Cochlospermum*), essa pesquisa apresentou como objetivo principal: avaliação do comportamento mecânico de tração e impacto de acordo com as normas ASTM D3039 e ASTM D5942 respectivamente, nessa fibra aplicou-se o tratamento químico de mercerização com NaOH (hidróxido de Sódio), em três concentrações que vai desde sem tratamento químico até 5,0% NaOH, 7,5% NaOH e 10% de NaOH, a mercerização foi realizada num espaço de 3 horas em recipiente dentro de um banho maria a uma temperatura de $\approx 70^{\circ}\text{C}$, após o procedimento realizou-se microscopia de varredura eletrônica (MEV), onde se observou toda superfície das fibras as tratadas e a não tratada, todos os compósitos foram produzidos com a resina de poliéster isoftálica insaturada. Os resultados para o ensaio de tração não se apresentaram satisfatórios a medida que a concentração de hidróxido de sódio foi aumentando, já para a resistência ao impacto os valores aumentaram na medida que a concentração NaOH aumentou.

Palavras-chave: Origem vegetal; Fibras; Compósito Polimérico; Mercerização; Algodão Brabo e Caracterização Mecânica.

ABSTRACT

The market for composite materials has grown steadily in the last decade, and today it includes several applications, ranging from automobiles to space aviation. As a result, it has become an increasingly object of study and research in scientific communities, fibers of vegetable origin has conquered its space, as bet of new materials for the future, being these biodegradable and of a cost less onerous at the moment of the production. This study made use of a fiber of vegetal origin, present in the Brazilian Amazon, popularly known in the State of Pará as Cotton Brabo (*Cochlospermum*), this research had as main objective: evaluation of the mechanical behavior of traction and impact according to ASTM D3039 and ASTM D5942 respectively, the chemical treatment of mercerization with NaOH (sodium hydroxide) was applied in three concentrations ranging from no chemical treatment to 5.0% NaOH, 7.5% NaOH and 10 % of NaOH, the mercerization was carried out in a pot of 3 hours in a water bath at a temperature of 70 ° C, after which the scanning electron microscopy (SEM) was performed, where all surfaces of the treated fibers were observed and untreated, all composites were produced with the unsaturated isophthalic polyester resin. The results for the tensile test were not satisfactory as the sodium hydroxide concentration was increased, and for the impact strength the values increased as the NaOH concentration increased.

Keywords: Vegetable origin; Fibers; Polymeric composite; Mercerization; Dangerous Cotton and Mechanical Characterization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Classificação dos materiais compósitos.	23
Figura 2: Classificação de materiais compósitos segundo o reforço.	24
Figura 3: Compósito reforçado com fibras (a) contínuas; (b) descontínua (ou curtas) e (c) tramadas.	26
Figura 4: Diagrama tensão x deformação de compósitos reforçados com fibras alinhadas.	27
Figura 5: Ligação presente em polímeros termoplásticos.	29
Figura 6: Ligação presentes em polímeros termorrígidos.	30
Figura 7: Macromolécula de uma resina poliéster.	32
Figura 8: Reação do poliéster curado.	32
Figura 9: Classificação das fibras.	34
Figura 10: Composições de fibras de reforço.	34
Figura 11: Três configurações comuns para fibra de reforço.	35
Figura 12: Classificação da fibra, em função das propriedades químicas.	36
Figura 13: Estrutura de uma fibra vegetal, a imagem em MEV se refere a uma fibra de eucalipto, microscopia eletrônica de varredura (MEV).	38
Figura 14: Representação de uma fibra-celular.	39
Figura 15: Microfibrilas constituída de porções cristalinas, as micelas, que são formadas por segmentos de moléculas de celulose ordenadas.	40
Figura 16: Modelo para descrição da rigidez da fibra (a) Camadas em uma visualização o em 3D, (b) Camadas projetadas em uma exibição 2D.	41
Figura 17: Estrutura química da lignina.	42
Figura 18: (a) Caule da árvore popularmente conhecida com algodão brabo; (b) Semente da árvore de algodão brabo e (c) Folhas da planta.	45
Figura 19: Esquema do processo de laminação manual (hand lay Up).	47
Figura 20: Esquema de Laminação a pistola (Spray Up).	48
Figura 21: Processo de Centrifugação, aqui observa-se: (1) Pré-polímero; (2) Agente de cura para revestimento macio; (3) Agente de cura para revestimento duro; (4) Suporte da cabeça misturadora; (5) Cabeça misturadora; (6) Cobertura elastomérica; (7) Cilindro; (8).	49
Figura 22: Enrolamento.	50
Figura 23: Processo de Pultrusão.	51
Figura 24: Reação entre a fibra lignocelulósica e a solução de NaOH.	53
Figura 25: Modelo de uma máquina de ensaio de impacto.	54
Figura 26: Esquema do corpo de prova ASTM D3039.	56
Figura 27: Gráfico para o cálculo da tensão em tração da matriz para o alongamento da fibra.	57
Figura 28: Catalisador MEK - D45 e Resina Poliéster Isoftálica.	58
Figura 29: Fluxograma da metodologia aplicada para levantamento das características físicas do compósito estudado fabricados	59
Figura 30: fibras de algodão bravo normalizadas, com as dimensões $\approx 10\text{mm}$ de largura e 382mm de comprimento.	60
Figura 31: fibras de algodão brabo extraída do caule após 10 dias descansando em água.	61
Figura 32: Equipamento para MEV de bancada da marca HITACHI (modelo TM 3000).	62
Figura 33: Equipamento para análise de raios-x por dispersão de Energia (EDS).	63
Figura 34: Tear, aparato experimento utilizado nesse trabalho para confeccionar as mantas.	64
Figura 35: Fibras em seus recipientes com suas respectivas soluções de NaOH em várias concentrações, banho-maria.	65

Figura 36: (a) amarração da manta, (b) manta pronta e (c) tamanho da manta usual.	66
Figura 37: (a), (b), (c), (d), (e) e (f). Procedimento de ajuste e pesagem das pré-pregs de fibras.	68
Figura 38: (a) Marcação da região útil da transparência; (b) e (c) Delimitação da Região útil da transparência para confecção das placas; (d) Pesagem da Resina e do Catalisador e (e) Mistura da Resina e do Catalisador.	69
Figura 39: Esquema de montagem das placas com mantas de fibras naturais.	70
Figura 40: (a), (b), (c), (d) e (e). Resina e Transparência.	71
Figura 41: (a), (b), (c) e (d). Molhamento das mantas pela mistura de resina e catalisador.	72
Figura 42: (a), (b), (c), (d), (e). Procedimento de Fabricação das compósitos.	73
Figura 43: Placa de compósito de Algodão Brabo com resina de poliéster, pronta após uma semana de cura.	73
Figura 44: Molde metálico para produção de corpo de prova charpy segundo a norma ASTM 5942, (a) manta de algodão bravo mais resina; (b) placa do compósito pronto.	74
Figura 45: corpos de prova para tração axial segundo a norma ASTM D3039, (a) sem tratamento químico; (b) mercerizada com 5,0% de NaOH; (c) tratada com 7,5% NaOH e (d) tratada com 10% de NaOH.	75
Figura 46: Corpos de prova de impacto segundo a norma ASTM D5942, (a) fibra sem tratamento químico; (b) com 5,0% de NaOH; (c) com 7,5% de NaOH e (d) com 10% de NaOH.	76
Figura 47: Máquina universal de ensaios EMIC, modelo DL - 10.000.	77
Figura 48: Ilustração esquemática das dimensões do corpo de prova segundo a norma ASTM D 3039.	78
Figura 49: Aparato experimental para o ensaio de materiais compósitos, célula de carga de 5kN.	79
Figura 50: Medidas do corpo de prova de impacto segundo ASTM D5942.	80
Figura 51: Observa-se (a) máquina de ensaio de impacto Charpy; (b) montagem do corpo de prova no dispositivo de ensaio e corpos de prova em conformidade com a norma ASTM D5942 e (c) corpos de prova prontos para o ensaio de impacto.	81
Figura 52: Lupa de Microscopia eletrônica portátil AIBOULY 500x.	82
Figura 53: Morfologia da fibra de Algodão Brabo sem tratamento de mercerização, a) aumento de 100x, b) aumento de 300x, c) aumento de 500x e d) aumento de 1000x.	84
Figura 54: Espectro de EDS da Fibra de Algodão Brabo sem tratamento químico.	85
Figura 55: Morfologia da fibra de Algodão Brabo com tratamento de mercerização a 5,0% NaOH, a) aumento de 100x, b) aumento de 300x, c) aumento de 500x.	86
Figura 56: Espectro de EDS da Fibra de Algodão Brabo mercerizado a 5,0 % NaOH.	87
Figura 57: Morfologia da fibra de Algodão Brabo com tratamento de mercerização a 7,5% NaOH, a) aumento de 100x, b) aumento de 300x, c) aumento de 500x.	88
Figura 58: Espectro de EDS da Fibra de Algodão Brabo mercerizado a 7,5 % NaOH.	89
Figura 59: Morfologia da fibra de Algodão Brabo com tratamento de mercerização a 10% NaOH, a) aumento de 100x, b) aumento de 300x, c) aumento de 500x.	90
Figura 60: Espectro de EDS da Fibra de Algodão Brabo mercerizado a 10% NaOH.	91
Figura 61: Curvas tensão versus deformação do corpo de prova da resina pura.	93
Figura 62: Gráfico tração da fibra de Algodão Brabo.	95
Figura 63: Análise fractográfica dos corpos de prova de tração, a) sem tratamento químico, b) tratada a 5% NaOH, c) tratada a 7,5% de NaOH e d) tratada a 10% de NaOH.	97
Figura 64: Superfície de fratura do corpo de prova de resina pura do ensaio de impacto. (a) ilustra micrografia do lado esquerdo, (b) o lado direito do corpo de prova.	98
Figura 65: Gráfico de resistência ao impacto da fibra de Algodão Brabo.	99

Figura 66- Análise fractográfica dos corpos de prova de impacto, a) sem tratamento químico, b) tratada a 5% NaOH, c), tratada a 7,5% de NaOH e d) tratada a 10% de NaOH.	100
--	-----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Comparativo entre as propriedades dos polímeros termoplásticos e termorrígidos.	31
Tabela 2: Propriedades de algumas fibras lignocelulósicas e fibras sintéticas.	44
Tabela 3: Percentuais de cada elemento da análise para as cargas de Algodão Brabo sem mercerização.	85
Tabela 4: Percentuais de cada elemento da análise para as cargas de Algodão Brabo mercerizado a 5,0% NaOH.	87
Tabela 5: Percentuais de cada elemento da análise para as cargas de Algodão Brabo mercerizado a 7,5% NaOH.	88
Tabela 6: Percentuais de cada elemento da análise para as cargas de Algodão Brabo mercerizado a 10% NaOH.	91
Tabela 7: Resultados de ensaio de tração de corpo de prova da resina pura.	92
Tabela 8: Resultado de tração para os corpos de prova confeccionados com as fibras de Algodão Brabo alinhadas, com e sem mercerização.	94
Tabela 9: Resultados da caracterização mecânica (impacto) da matriz polimérica pura.	97
Tabela 10: Resultados da caracterização mecânica (impacto) dos compósitos reforçados por fibras longas e alinhadas.	99

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 OBJETIVO	17
2.1 OBJETIVOS GERAIS	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3 JUSTIFICATIVA	18
4 REFERENCIAL TEÓRICO	19
4.1 POLÍMEROS	19
4.2 MATERIAIS COMPÓSITOS	21
4.2.1 COMPÓSITOS POLIMÉRICOS REFORÇADOS POR FIBRAS	25
4.3 MATRIZ POLÍMERICA	28
4.3.1 MATRIZ DE POLIÉSTER	31
4.4 CLASSIFICAÇÃO DAS FIBRAS:	33
4.4.1 Fibras vegetais e suas propriedades físicas	37
4.4.2 Lignina:	41
4.4.3 ESTUDO DE FIBRAS E SEU POTENCIAL COMO NOVO MATERIAL PARA ENGENHARIA:	43
4.4.4 Fibra de Algodão Brabo (<i>Cochlospermum</i>)	45
4.4.5 PRODUÇÃO DE MATERIAIS COMPÓSITOS REFORÇADOS COM FIBRA	46
4.4.5.1 Laminação manual (<i>Hand lay Up</i>)	47
4.4.5.2 Laminação a pistola	48
4.4.5.3 Centrifugação	49
4.4.5.4 Enrolamento	50
4.4.5.5 Pultrusão:	51
4.5 MERCERIZAÇÃO:	52
4.6 NORMAS DE ENSAIO MECÂNICOS DE TRAÇÃO E IMPACTO PARA MATERIAIS COMPÓSITOS	53
4.6.1 Ensaio Mecânicos	53
4.6.1.1 ASTM D 5942 (Ensaio de Impacto).....	54
4.6.1.2 ASTM D3039 (Ensaio de Tração).....	55
5. MATERIAIS E MÉTODOS	58
5.1 MATERIAIS	58
5.1.1 Matriz polimérica	58
5.1.2 Fibras naturais de algodão brabo (<i>Cochlospermum</i>)	59

5.2 METODOLOGIA EXPERIMENTAL.....	59
5.2.1 Extração das Fibras de Algodão Brabo.....	60
5.2.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Espectroscopia de Difração de raios-x por Dispersão de Energia (EDS).....	62
5.2.3 Tear.....	63
5.2.4 Hidróxido de Sódio (NaOH).....	64
5.2.5 Mercerização (tratamento químico das fibras com NaOH).....	64
5.2.6 Confeccção das Pré-pregues.....	66
5.2.7 Fabricação dos materiais compósitos.....	67
5.2.8 Ensaio de tração axial dos materiais compósitos.....	76
5.2.9 Compósitos com fibras consecutivas e alinhadas.....	77
5.2.10 Ensaio de Impacto dos Materiais Compósitos.....	79
5.2.11 Análise do Aspecto Fractografico.....	81
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	83
5.3.1 AVALIAÇÃO DA EXTRAÇÃO E PREPARAÇÃO DAS FIBRAS.....	83
5.3.2 MEV E EDS DAS FIBRAS COM E SEM TRATAMENTO.....	83
Fibra sem tratamento de mercerização com NaOH, MEV.....	83
Fibra sem tratamento de mercerização com NaOH, EDS.....	85
Fibra de Algodão Brabo mercerizada com 5,0% NaOH, MEV.....	86
Fibra de Algodão Brabo mercerizada com 7,5% NaOH, MEV.....	87
Fibra com tratamento de mercerização 7,5 % de NaOH, EDS.....	88
Fibra de Algodão Brabo mercerizada com 10 % NaOH, MEV.....	89
Fibra com tratamento de mercerização 10 % de NaOH, EDS.....	90
5.3.3 RESULTADOS DO ENSAIO DE TRAÇÃO E ASPECTO DA FRATURA.....	92
5.3.3.1 Resistência a tração dos corpos de prova de Matriz Pura.....	92
5.3.3.2 Fibras Longas e Alinhadas.....	93
5.3.3.3 Análise fractográfica das possíveis falhas dos corpos de prova alinhados de tração de algodão brabo.....	96
5.4 RESULTADO DO ENSAIO DE IMPACTO E ASPECTO DA FRATURA.....	97
5.4.1 Ensaio de impacto da resina pura.....	97
5.4.2 Fibras Contínuas e Alinhadas.....	98
5.4.3 Análise fractografica das possíveis falhas dos corpos de prova alinhados de impacto de algodão brabo.....	100
6. CONCLUSÃO.....	101
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	103

1 INTRODUÇÃO

Segundo Barbosa, (2011) O mercado dos materiais compósitos tem crescido de forma constante nas ultimas década e, hoje, inclui diversas aplicações, que vão desde: aeroespaciais, biomédicas, indústria automobilística e na infra-estrutura civil.

Nesses novos tempos de trabalho, busca-se cada vez com maior intensidade materiais que possam sanar os mais variados problemas que norteiam os projetos de engenharia, partindo desse princípio os materiais compósitos a um bom tempo vêm sendo pesquisado pelas comunidades científicas e industrial, com objetivo de aperfeiçoar os projetos com os seus materiais já preestabelecidos, no âmbito: civil, aeronáutico, automobilístico e naval.

Dito isso a formulação e caracterização desses tem sido de grande valia para os pesquisadores. Segundo Shackelford, (2008) cada vez mais, esses materiais estão sendo aplicados em construções civis, como pontes por exemplo; com melhores razões resistência-peso e em automóveis como uso mais eficiente de combustível.

O uso de fibras de origem vegetal como reforço em matriz poliméricas tem sido de grande valia, para a comunidade científica, pois estas apresentam o objetivo de substituir de forma parcial o total as fibras sintéticas. Para Oliveira, (2017) *apud* Nóbrega, (2007) esse fato se dar porque as fibras vegetais se apresentam de forma abundante, densidade apreciável, boa resistência mecânica, são biodegradáveis, baixa abrasividade conferindo ao processo baixo custo na produção, e não são tóxicos. Tornando o processo vantajoso comparado com outros processos mecânicos de produção.

O advento dos compósitos como classe de materiais distinta deu-se na metade do século XX com a fabricação de compósitos multifásicos (fases diferentes unidas) deliberadamente projetados e engenheirados, tais como os polímeros reforçados com fibra de vidro. Embora materiais multifásicos, tais como tijolos de argila reforçado com palha, conchas marinhas e mesmo ligas como aço fossem conhecidas a milênios, o reconhecimento desse novo conceito de combinar materiais diferentes durante a fabricação levou à identificação dos compósitos como uma nova classe distinta dos materiais cerâmicos e poliméricos. (CALLISTER et al 2015 p. 535)

Na visão de Shackelford (2008) a madeira é um material estrutural que se assemelha a fibra de vidro, ou seja, um compósito reforçado com fibra natural. As fibras da madeira são

alongadas e feitas de células biológicas mortas. A matriz corresponde aos depósitos de lignina e hemicelulose.

As fibras de origem vegetal podem ser usadas como elementos de reforços, com a finalidade de melhorar as propriedades mecânicas e químicas dos materiais compósitos, dependendo da orientação que estes se encontram, podem conferir um ganho significativo de resistência a tração e impacto, a orientação é de suma importância pois os compósitos naturais de modo geral apresentam anisotropia, ou seja, a resistência mecânica apresenta valores distintos dependendo da posição que estas se encontrarem dentro da matriz polimérica. De acordo com Oliveira, (2017) variados fatores podem influenciar de forma significativa nas propriedades físico-mecânicas de compósitos reforçados por cargas de fibras vegetais, entre eles: o modelo de matriz e fibra, a fração volumétrica e mássica das fases, a dimensão, a orientação e o tratamento da fibra, o tratamento da fase polimérica, o processo de fabricação, entre outros.

Para Oliveira (2017) *apud* Silva (2010); os compósitos com adição de fase particulada, fatores como a natureza, o tamanho, a geometria e a fração mássica das partículas afetam significativamente suas propriedades.

De modo geral, as fibras naturais apresentam algumas desvantagens no que diz respeito ao reforço em matrizes poliméricas tais como: degradação em temperaturas por volta de $\sim 200^{\circ}\text{C}$ e higroscopicidade (capacidade de absorver água da atmosfera), com a temperatura de deterioração relativamente baixa, esse fato pode limitar algumas aplicações desse material em particular, pois a partir do momento que essa degradação ocorre dar-se-á início, a evolução de voláteis alterando, de maneira significativa as propriedades mecânicas.

Em virtude disso o presente trabalho tem como finalidade realizar o levantamento dos dados mecânico do material compósito com matriz de poliéster, reforçados com fibras alinhadas de Algodão Brabo (*Cochlospermum*) variando a concentração de NaOH, antes e depois de passar pelo tratamento químico de mercerização, por meio de ensaios de impacto e tração, para aplicações em diversos setores da engenharia, e enriquecimento da literatura acerca dessa planta. Motivos sociais, econômicos e ambientais servem como motivação para o interesse nesta pesquisa.

2 OBJETIVO

2.1 OBJETIVOS GERAIS

Este trabalho tem como objetivo avaliar o comportamento mecânico em ensaio de tração e de impacto de compósitos de matriz poliéster, reforçados com fibras de ALGODÃO BRABO e matriz de poliéster após tratamento químico de mercerização, para o estudo das propriedades mecânicas do mesmo.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Fabricar corpos de prova alinhados em uma única direção;
- ✓ Utilizar as normas ASTM D3039 e ASTM D5942 para fabricação de materiais compósitos para ensaio de tração e impacto respectivamente;
- ✓ Avaliar as propriedades mecânicas dos corpos de prova, com diferentes concentrações de NaOH (hidróxido de sódio) por meio da mercerização;
- ✓ Melhorar a eficiência da interação da interface entre fibra e matriz polimérica através do tratamento químico de mercerização utilizando as concentrações de NaOH em 5,0; 7,5 e 10%.
- ✓ Avaliar a morfologia das fibras a partir da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).

3 JUSTIFICATIVA

A pesquisa em questão apresenta um grande benefício para área de materiais, sendo esta de grande valia para as comunidades científicas, tecnológicas, econômicas e por último, mas não menos importante para o benefício do meio ambiente. Pois acredita-se que no futuro não muito distante, trabalhar com materiais de origem renovável será mais satisfatório.

O trabalho realizado será de grande valia para a comunidade científica e, também como referência para quem deseja pesquisar mais sobre a flora da Amazônia.

A necessidade de estudos mais profundos sobre as vantagens do uso de fibras naturais como reforço estrutural em compósitos poliméricos justifica a introdução deste trabalho no meio científico e tecnológico.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 POLÍMEROS

Polímeros, etimologicamente falando, essa palavra tem origem no grego, onde o prefixo *poli* significa (muitos) e *meros* unidade de (repetição), ou seja, é algo que se repete de maneira indiscriminada, essa repetição da molécula, faz com que a estrutura do material apresente característica físico-químicas idênticas por material, internamente os materiais poliméricos se assemelham ao alimento “macarrão” suas ramificações apresentam esse aspecto. Essa classe de materiais, apresenta ligações primárias covalentes e em algumas situações ligações de segunda ordem, como: Dipolo-dipolo, forças de Van der Halls e lodom. A matéria-prima para o processamento de um material polimérico é o monômero, isto é, uma molécula com uma (mono) unidade de repetição (BARBOSA, 2011 *apud* CANEVAROLO, 2002).

Para um entendimento do tema, iremos falar dos polímeros quanto a sua resistência mecânica, estrutura molecular, comportamento térmico, e se são recicláveis (termoplásticos) ou não (termorrígidos).

Os termoplásticos são aqueles que sob o efeito de temperatura e pressão controlada assumem a forma da matriz, estes recebem esse nome, porque são recicláveis, de maneira indiscriminada, minimizando os impactos ambientais.

De acordo com Barbosa (2011) em nível molecular, à medida que a temperatura se eleva, as forças de ligação secundárias são lentamente destruídas (pelo fato do aumento do movimento molecular), de tal modo que, o movimento relativo de cadeias adjacentes é facilitado quando uma tensão é aplicada. Dessa maneira torna-se possível a reciclagem desta classe de polímeros, ou seja, os termoplásticos podem ser remoldados, sem alterar suas cadeias poliméricas, a grosso modo, rompendo-se apenas as ligações secundárias envolvidas na estrutura polimérica. Os termoplásticos são relativamente moles e dúcteis e compõem-se da maioria dos polímeros lineares e alguns que apresentam algumas estruturas ramificadas com cadeias flexíveis (BARBOSA, 2011 *apud* MANO, 2000), Ex: PE, PP, PVC, PS, PET e etc. Já os polímeros termorrígidos não são recicláveis, isso se dá pela seguinte característica química, quando estes atingem a sua temperatura de fusão o mesmo começa a degradar-se, por apresentarem ligações cruzadas, ou seja, por não apresentarem uma certa linearidade na sua estrutura molecular, torna-se impossível “refazer” as ligações desse de polímeros.

Nova alteração de temperatura e pressão não faz efeito algum, tornando-os materiais insolúveis, infusíveis e não-recicláveis. Durante o tratamento térmico inicial, ligações cruzadas covalentes são formadas entre cadeias moleculares adjacentes; essas ligações prendem as cadeias entre si para resistir aos movimentos vibracionais e rotacionais da cadeia a temperaturas elevadas, sendo que o rompimento destas ligações só ocorrerá sob temperatura muito elevadas. (BARBOSA 2011 p. 45).

Os termorrígidos são um bom exemplo de polímeros, com resistência mecânica e comportamento térmico apreciável, estes em algumas situações chegam a substituir o aço. Um bom exemplo é o Kevlar, que é um termofixo que chegar a ter uma resistência ao impacto 7 vezes maior que a do aço de baixo carbono, esse é muito aplicado em coletes a prova de balas e em blindagem de veículos automotores. Mas na maioria das situações estes são duros em comparação aos termoplásticos, mas em contrapartida apresentam boa estabilidade dimensional. De acordo com Mano (2002) os polímeros termofixos são geralmente mais duros, e mais frágeis do que os termoplásticos, e possuem melhor estabilidade dimensional, ex: Baquelite (resina de fenol-formaldeído), epóxi e etc. O trabalho em questão fez uso da resina poliéster para a produção das placas de compósitos.

Os materiais produzidos a partir de resinas poliéster, apresentam custo de fabricação satisfatório e resistência mecânica aceitável, tendo estes uma boa aceitabilidade no âmbito dos projetos de engenharia, que buscam melhor relação resistência/peso. Estas resinas apresentam ainda, boa estabilidade dimensional e são de fácil manuseio (MALLICK, 1993).

De acordo com Barbosa (2011) *apud* Rosato & Rosato (2004) as características e limitações das resinas termorrígidas epóxi e poliéster são: resina epóxi apresenta como característica: excelente propriedade em compósitos, inercia química, propriedades elétricas e térmicas consideráveis e baixa contração no decorrer do processo de cura. Limitações: longos ciclos de cura melhores propriedades obtidas em altas temperaturas de cura. Fazendo desta um excelente material para aplicações de laminados de fibras de sintéticas.

4.2 MATERIAIS COMPÓSITOS

De acordo com William F. (2011), ele faz a seguinte pergunta: “que é um material compósito”? Infelizmente não se tem uma definição amplamente aceita e difundida sobre o que é um material compósito. O dicionário Aurélio, define um compósito como algo composto de partes distintas ou (constituíntes).

Para Margem (2013) *apud* Zweben (1998) a norma ASTM D3878-95, define um material compósito como uma substância constituída de dois ou mais materiais, insolúveis entre si e quando combinados formam um material de engenharia útil, tendo uma reconhecível interface entre eles com propriedades pré-determinadas.

Segundo Callister (2015) de maneira geral, um compósito pode ser definido como qualquer material multifásico que exibe uma proporção significativa das propriedades de ambas as fases constituíntes, tal que é obtida melhor combinação de propriedades.

Apesar de que a combinação do termo compósito esteja atrelada às chamadas tecnologias de última geração, nas quais peças e dispositivos tem origem nesse material, são aplicadas em itens, utilizados em: satélites, aeronaves, helicópteros, implantes ortopédicos, odontológicos biocompatíveis, veículos de Fórmula 1, plataformas marítimas, plataformas de petróleo, pontes, telescópios, instrumentos musicais e estruturas inteligentes em geral, a origem desta importante classe de materiais remonta a incontáveis milhares de anos, uma vez que madeiras, ossos e tecidos musculares são exemplos notáveis em termos de eficiência estrutural dos chamados compósitos naturais (HULL et al., 1996).

No âmbito da engenharia de materiais, podemos encontrar materiais compósitos, sejam eles naturais ou sintéticos, na categoria dos naturais tem-se: madeira, conchas, dentes, ossos e etc. Na classe dos sintéticos, apresentam-se: concreto, fibras de carbono-carbono, cermet (que é uma junção entre cerâmica e metal), fibra de vidro-S (essa é muito empregada na produção de hélices de helicópteros nos EUA) e etc. Nestes e em vários outros setores, muitos profissionais têm sentido a necessidade de conceber produtos com estes novos materiais (LEVY NETO E PARDINI, 2006).

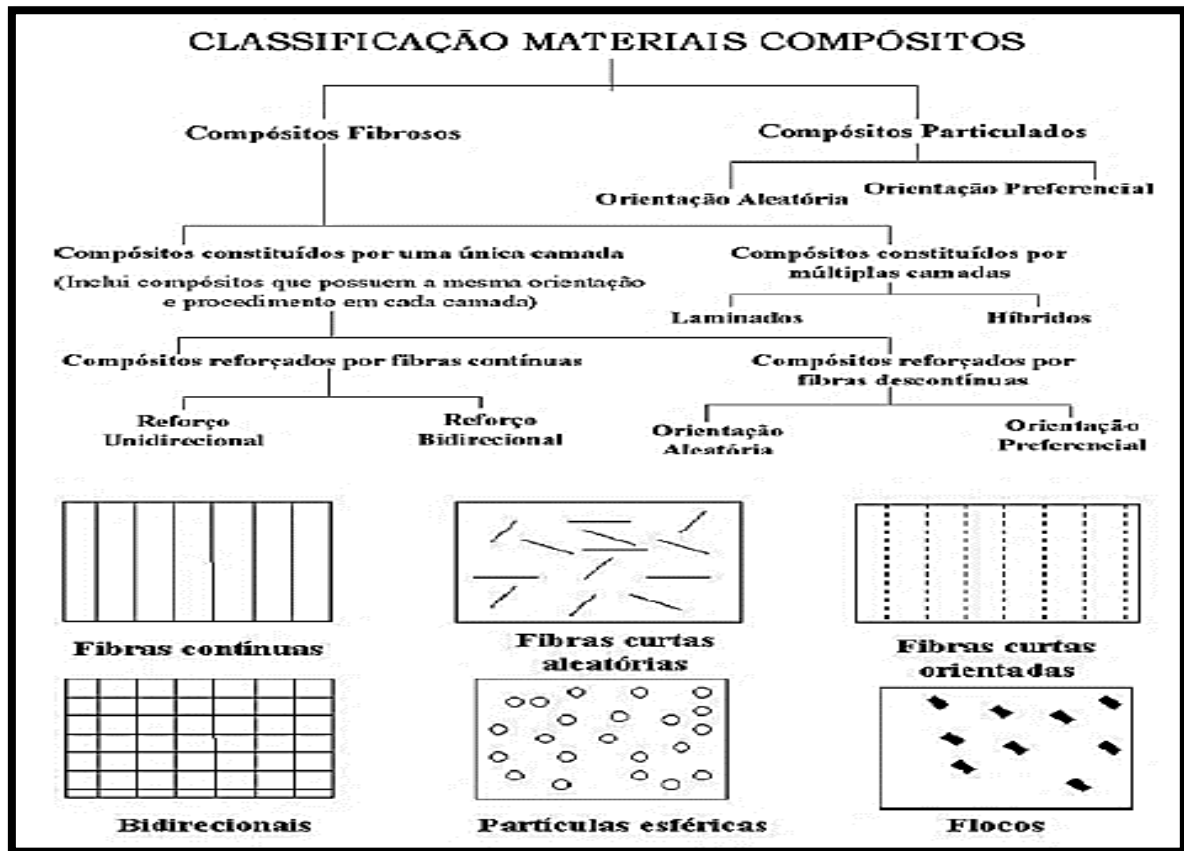
A grosso modo, dentro da classe de materiais de engenharia podemos encontrar materiais compósitos e híbridos. A junção de dois materiais já existentes com fases distintas configura-se material compósito, nessa união busca-se uma melhor interação entre os elementos

envolvidos. De acordo com Shackelford, (2008) os híbridos são tecidos tramados que consistem em dois ou mais fibras de reforço[...].

Quando se pesquisa a viabilidade de se produzir um material compósito busca-se uma cooperação e um sinergia entre as fases dos elementos envolvidos (ASKELAND, 2014), sempre buscando o melhor de cada material, afim de atender as expectativas do projeto e ou aplicação deste. De acordo com Galvão (2011) os compósitos possuem dois ou mais constituintes fisicamente distintos numa escala microscópica, separados por uma interface, sendo muito importante à especificação destes constituintes. Segundo Galvão (2011) *apud* Mathews (1994) o segundo constituinte, disperso na matriz, é citado como uma fase de reforço, que atua aprimorando as propriedades mecânicas da matriz. O material compósito tem como característica básica dois tipos de fases: a matriz que tem a finalidade de proteger sua estrutura e as outras fases contra a ação do meio ambiente e, particularmente, corrosão e abrasão, e o reforço que altera as propriedades da matriz, podendo proporcionar uma maior resistência (BARBOSA, 2011 *apud* BLEDZKI E GASSAN, 1999 & BROUTMAN, 1990).

Para Oliveira (2017) a matriz normalmente é um material contínuo que compreende a fase dispersa. As propriedades mecânicas de um material compósito, tem sua origem a partir de fatores como: a geometria da fase dispersa, distribuição, orientação e da compatibilidade interfacial entre os elementos constituintes da mistura. Para que o material em questão possa ser de confiabilidade apreciável é necessário que haja uma melhor interação entre matriz e reforço, afim de trabalharem juntos para resistirem de maneira adequada as solicitações mecânicas impostas pelos carregamentos de força. De maneira geral, a matriz pode ser de origem: polimérica, metálica ou cerâmica. O mesmo vale para o reforço, que pode estar na forma de dispersão de partículas, fibras, bastonetes, lâminas ou plaquetas (BARBOSA, 2011 *apud* JONES, 1994; RATNAM et al, 2008).

Figura 1: Classificação dos materiais compósitos.



Fonte: Ventura, (2009).

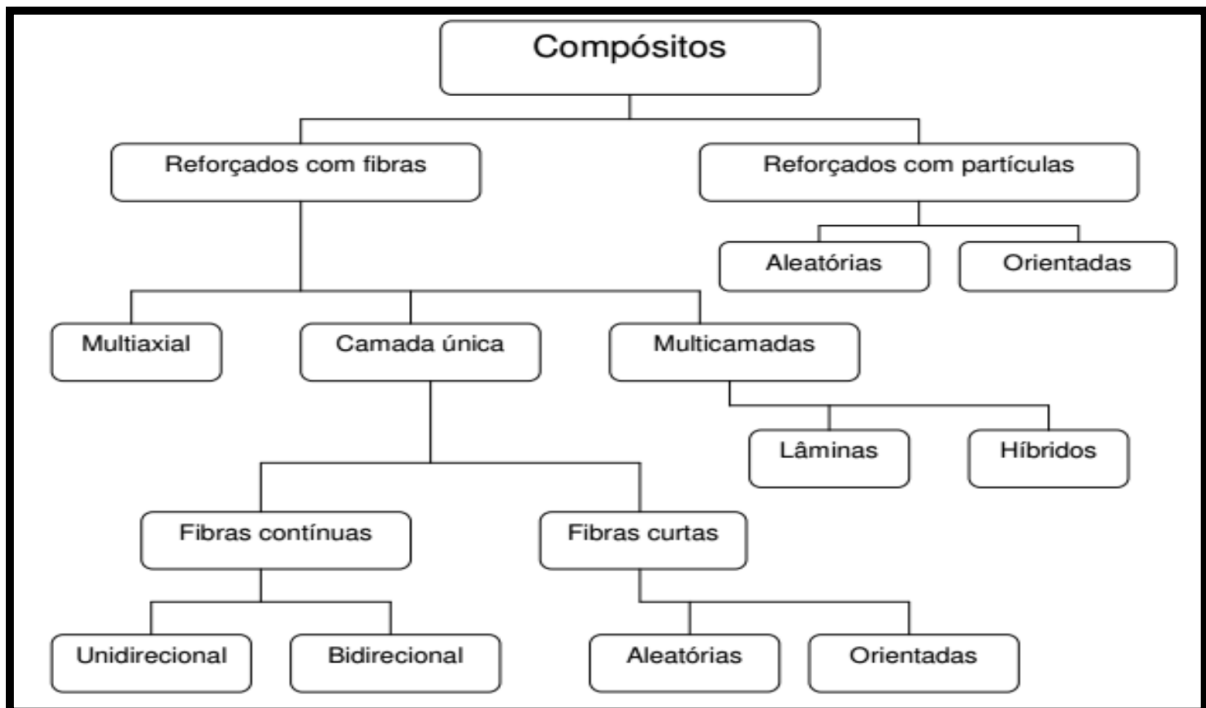
A interação entre materiais distintos pode estar relacionando com dois tipos de interação, propriamente física, sejam elas de primeira ordem, tais como: ligações covalentes e de segunda ordem como por exemplo; forças de Van der Waals. O caráter da ligação está correlacionado com a compatibilidade entre a matriz e a fase de reforço. Segundo Oliveira (2017) a adesão inadequada entre as fases envolvidas na interface poderá provocar o início de falhas, comprometendo o desempenho do compósito. Um fato interessante é que os materiais compósitos podem apresentar um leque relativamente extenso de propriedades físicas, químicas e mecânicas, que podem ser conseguidas, dependendo da matriz que se deseja utilizar, do reforço e da maneira que este vai estar distribuído dentro da matriz, que podem ser observados na Figura 2.

De modo geral é necessário classificar o material compósito, pois dependendo da orientação em que o reforço se encontra dentro da matriz polimérica, esta irá se encaixar dentro de uma classificação universal.

Algumas propostas foram feitas para a classificação dos compósitos, visto que ainda não há uma classificação universal, oficial, para os materiais compósitos, como é apresentado na figura 1. Estes materiais podem ser agrupados de acordo com a forma, processo, tipo de matriz, tipo de reforço, entre outros critérios (OLIVEIRA, 2017, p 19).

De maneira sucinta Oliveira (2017) *apud* Junior (2013) classifica quanto à natureza da fase dispersa e da matriz, no entanto, são as mais encontradas na literatura.

Figura 2: Classificação de materiais compósitos segundo o reforço.



Fonte: Neto & Pardini, (2006).

Diante do exposto é notável que os materiais compósitos têm uma gama considerável de classificação e aplicação, é notório que este é um material multifásico e dependendo da orientação do material de reforço pode apresentar propriedades físicas apreciáveis dentro dos projetos de engenharias, nos mais variados segmentos.

Em virtude do exposto, tais estudos mostram uma diversificação de conceitos aliado à adoção de um critério mais abrangente, sendo assim os compósitos constituem uma classe heterogênea, multifásica, sendo polímero ou não. Muito embora as características dos compósitos possam variar significativamente em função do tipo de aplicação a que se destinam, pelo que foi visto os conceitos se completam e não se contradizem. (BARBOSA, 2011, p 48).

4.2.1 COMPÓSITOS POLIMÉRICOS REFORÇADOS POR FIBRAS

Os materiais compósitos com matriz polimérica, além de poderem aliar uma boa resistência mecânica e com uma ductilidade apreciável da matriz, oferecem a possibilidade de se obter materiais com combinações de propriedades desejadas (AQUINO, 2005 *apud* MONTEIRO et al., 1998).

A tendência em se obter “ligas poliméricas”, misturas e compósitos, é possível devido a alguns fatores: elevado custo no desenvolvimento de novos polímeros, ou seja, tornado caro a busca por novos polímeros; aplicações específicas de compósitos e ligas; aperfeiçoamento de propriedades e redução de custos através da combinação de materiais caros com materiais mais baratos; entre outros (ASKELAND, 1985).

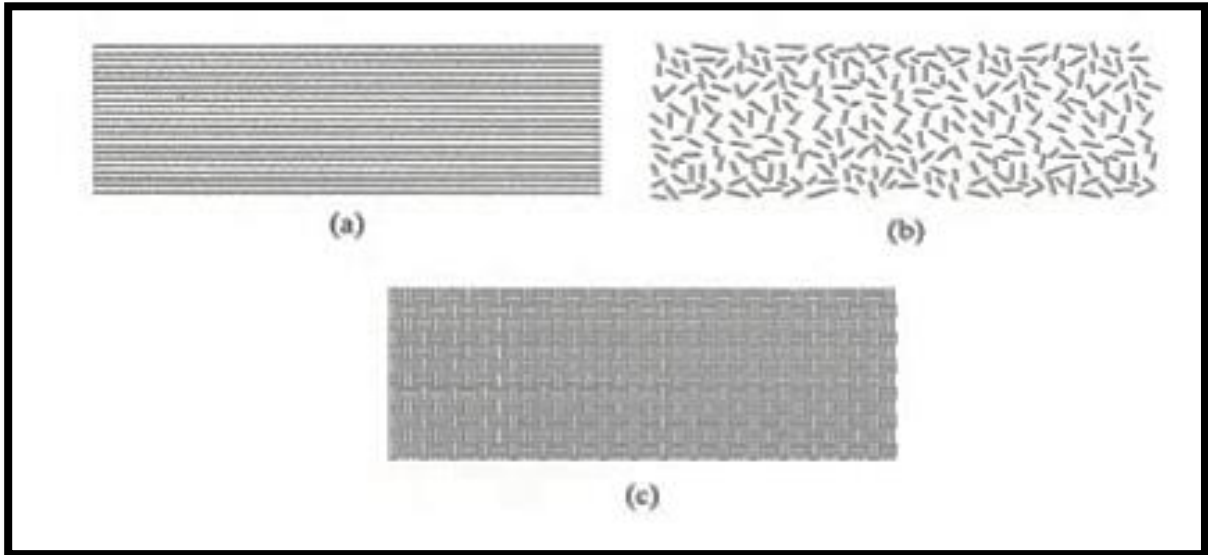
Uma das vantagens dos compósitos poliméricos reforçados com fibra é que, estas promovem um aumento na resistência mecânica e uma redução na densidade do composto. Compósitos reforçados com fibra são classificados pelo comprimento das fibras que o compõe: compósito de fibra contínua (longa) (a); compósito de fibra curta ou aleatório (b) e tramados como tecidos (c), como se pode observa na figura abaixo (SANTOS, 2013 *apud* NETO e PARDINI, 2006).

Os reforços aplicados aos compósitos poliméricos propiciam melhorias em suas propriedades físicas e térmicas, modificam sua aparência superficial e características de processamento, além de minimizar o custo do material utilizado no processamento (AQUINO, 2005 *apud* LAVENGOOD & SILVER, 1988; FREIRE, 1992).

Para Quirino (2010), o arranjo e a concentração das fibras exercem influência sobre a resistência mecânica e outras propriedades de compósitos reforçados por fibra. Com relação ao arranjo, as fibras podem ser dispostas de duas maneiras: aleatórias e alinhadas, como foi observado na Figura 3, onde a (a) e a (c) são alinhadas e a (b) representa a aleatória, onde espera-se que os compósitos que tenham as fibras com sua direção bem definida apresentem melhores resistência mecânica do que os compósitos com configuração aleatória.

Os compósitos reforçados por fibras contínuas normalmente apresentam melhor resistência mecânica do que os compósitos reforçados por fibras descontínuas, esses últimos apresentam comportamento isotrópico em uma escala macroscópica e propriedades mecânicas ortotrópicas que conduzem a mecanismos de falhas específicas. (MILANESE, 2008 p. 42).

Figura 3: Compósito reforçado com fibras (a) contínuas; (b) descontínua (ou curtas) e (c) tramadas.



Fonte: Santos, (2013) *apud* Adaptado de Shackelford (2008).

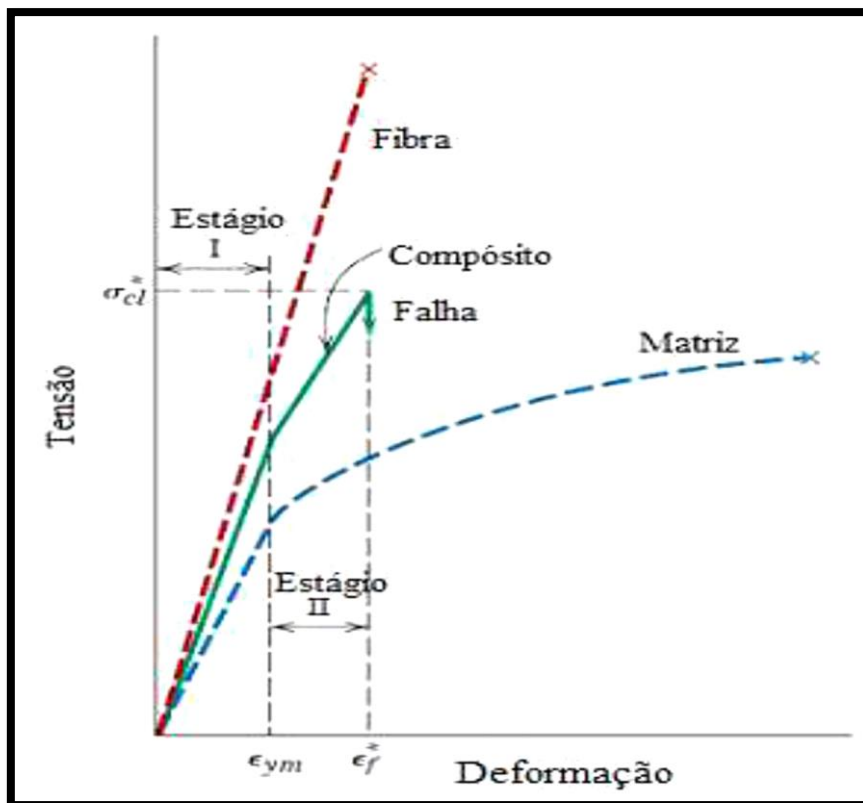
Segundo Barbosa (2011) *apud* Aquino (2005) os compósitos poliméricos são classificados segundo sua formação em fase contínua (matriz) que é reforçada por uma fase descontínua (fibras), essa se agrega físico-quimicamente após um processo de (*cross-linking*), termo usado no campo da ciência dos polímeros que, quer dizer, ligações cruzadas, geralmente ligações transversais promovem uma diferença nas propriedades físicas dos polímeros, formando esse fenômeno polimérico no processo de cura, etapa mais importante desse procedimento.

Para que a interação entre a matriz polimérica e o reforço em questão tem uma boa interação é necessário que, se tenha conhecimento das propriedades físico-química das fibras, que configurarão força e rigidez ao compósito, haja vista que essa é uma das maiores problemáticas envolvidas nesse procedimento, pois, para que aja uma interação ideal, é necessário que se faça um pré-tratamento na fibra, afim de melhorar a interação entre os componentes envolvidos.

O grande problema é a adesão da fibra na matriz polimérica. Este processo requer uma boa ligação entre a matriz polimérica e as fibras. Má aderência na interface significa que a plena capacidade do composto não pode ser explorada e deixa-o vulnerável a ataques ambientais que pode enfraquecê-lo, reduzindo sua vida útil. Pouca aderência entre polímeros hidrofóbicos e hidrofílicos resultam em baixo desempenho mecânico devido à má ou boa interação com a água. (BARBOSA, 2011, p 2).

Para Carvalho (2005), compósitos poliméricos reforçados com fibras vegetais alinhadas unidirecionalmente, ao serem submetidos a solicitações mecânicas com a tração, o início da falha se dar pelo colapso das fibras nas seções de menor resistência, havendo assim uma redistribuição das tensões entre as demais fibras por meio da matriz. Para Francklin (2017) com o aumento gradual das tensões, ocorre a ruptura de novas fibras, o que resulta na ruptura do compósito.

Figura 4: Diagrama tensão x deformação de compósitos reforçados com fibras alinhadas.



Fonte: Callister, (2015).

De acordo com Satyanaryana et. *al.*, (2005) estas características podem ser inibidas ou melhoradas por meio de tratamentos físicos e químicos. Tratamentos físicos incluem a cominuição da fibra, ou seja, elevação da área superficial da mesma com isso pode melhorar de maneira significativa. Outro procedimento envolve aplicações químicas, nesse caso usa-se uma solução de caráter básico, afim de retirar ou diminuir a lignina e hemicelulose que contem naturalmente nas fibras de origem vegetal.

Os compósitos a base de matriz polimérica classificam-se em dois grandes grupos os termofixos (epóxi, poliamida, poliéster) e termoplásticos (poli-éter-cetona, poli-sulfona, poliéterimida) (BARBOSA, 2011).

Na moldagem destas duas fases, as ligações cruzadas entre as moléculas poliméricas, acopla essas duas fases proporcionando ao material final, propriedades especiais que definem suas, moderna e ampla aplicabilidade, (MARGEM, 2013 *apud* BOYNARD, et al, 2003).

Segundo Margem (2013) os produtos fabricados a partir das resinas e das fibras usadas como reforço, sejam elas sintéticas ou naturais, estas configuram aos compósitos baixo peso específico, como consequência do baixo peso específico apresentado pelas resinas, ou seja, estas apresentam uma densidade apreciável, ideal para aplicações onde requer elevada resistência mecânica e massa considerável. Devido à esta, e outras propriedades características dos materiais compósitos é que eles são difundidos e aplicados nos setores de aeronáutica, naval, automobilístico e outros (MARGEM, 2013 *apud* CANEVAROLO, 1991).

4.3 MATRIZ POLÍMERICA

Para Finkler, (2014) os polímeros aplicados em compósitos de matriz poliméricas estão contidos em dois grupos: os termoplásticos e os termorrígidos. As matrizes poliméricas são denominadas termofixas ou termoplásticas, estes são de uso recorrente no dia a dia, em empresas de materiais poliméricos, isso porque todos os polímeros que são produzidos e ou fabricados, são recicláveis ou inutilizáveis depois que sua vida útil é atingida. Essas duas classificações de polímeros apresentam comportamento distinto em exposição a elevadas temperaturas, os termoplásticos “amolecem” com maior facilidade comparado aos termorrígidos, este último, apresenta uma resistência elevada, quando exposto a temperaturas consideravelmente alta. A grande problemática dos termorrígidos é que quando este degrada-se em elevadas temperaturas, torna-se impossível refundi-lo, pois internamente apresenta ligações covalentes cruzadas, uma vez que essas, são “quebradas” não é possível obter as configurações iniciais que foram obtidas no processo de cura, diferentemente dos

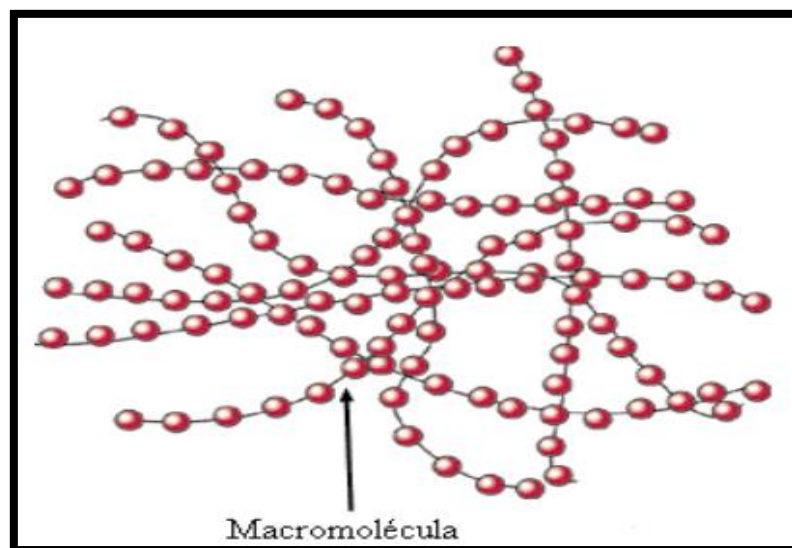
termoplásticos, que podem ser refundidos indiscriminadamente, conservando suas propriedades mecânicas e químicas.

A escolha da matriz polimérica dependerá das propriedades físicas, mecânicas e térmicas exigidas para uma determinada aplicação, como também do processo de fabricação escolhido e do custo associado (FINKLER, 2014 *apud* BARRA, 2005). Essa escolha vai ter grande implicação nas características físicas dos materiais compósitos, pois estes vão se comportar de maneira distinta mediante a temperaturas elevadas, causando degradação significativa no material, podendo progredir para um colapso do mesmo.

A principal diferença entre os dois compósitos poliméricos está no comportamento característico quando aquecidos, isto é, os termoplásticos são polímeros capazes de serem moldados várias vezes, devido à característica de tornarem-se fluidos sob ação do aumento da temperatura e depois se solidificarem quando há um decréscimo da temperatura. (FINKLER, 2014 p.11).

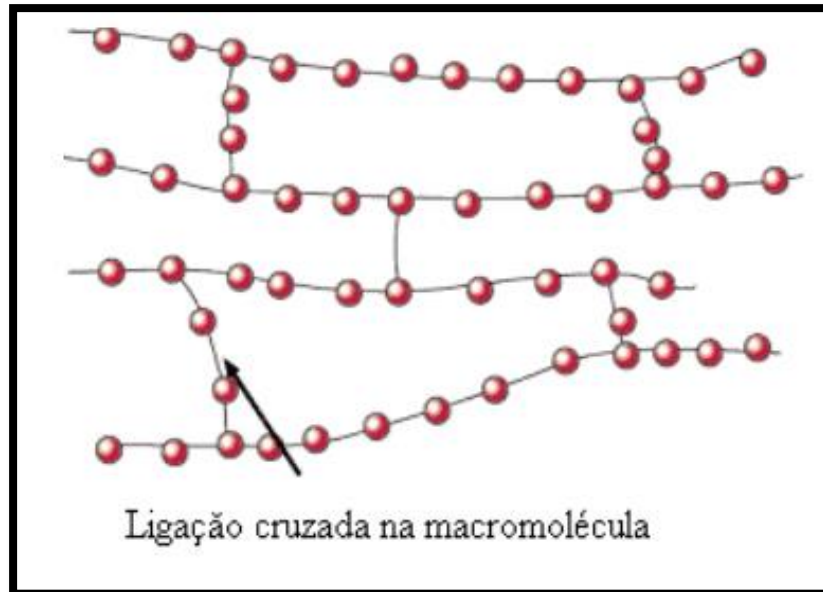
Em contrapartida, os termorrígidos não apresentam comportamento similar dos termoplásticos, uma vez que, esses, quando expostos a temperaturas elevadas, não apresentam uma fluidez característica tal qual nos termoplásticos tornando-os totalmente diferentes, fato esse explicado pela as ligações que ambos apresentam, nas figuras abaixo, pode-se observar a ilustração das ligações que os termoplásticos e termorrígidos.

Figura 5: Ligação presente em polímeros termoplásticos.



Fonte: Finkler, (2014).

Figura 6: Ligação presentes em polímeros termorrígidos.



Fonte: Finkler, (2014).

Estes conceitos são de grande valia, quando deseja-se usar matriz polimérica, para produção de compósitos com reforço por fibra

Nos compósitos reforçados por fibras, tanto sintéticas quanto vegetais, vários tipos de polímeros têm sido utilizados como matrizes sejam eles termoplásticos ou termorrígidos. Quanto aos compósitos reforçados por fibras vegetais, os mais comumente empregados são polímeros termorrígidos (poliéster, epóxi e fenólico), devido à capacidade, da polimerização poder ser realizada a baixas temperaturas, reduzindo o risco de deterioração das fibras. Ainda assim, termoplásticos (polietileno, poliestireno, polipropileno, etc.) são também utilizados como matrizes em compósitos, devido à maior tenacidade à fratura, maior resistência ao impacto, maior tolerância a danos em relação aos termorrígidos, além da capacidade de reciclagem desses materiais. (OLIVEIRA, 2017. p. 24).

Dependendo da matriz que se deseja aplicar no processamento do compósito, esta implicará em propriedades e características físicas que podem dar ganho significativo de resistência a esforços que estes podem sofrer durante os trabalhos mecânicos. Estas propriedades únicas podem ser observadas na tabela abaixo.

Tabela 1: Comparativo entre as propriedades dos polímeros termoplásticos e termorrígidos.

Termoplásticos	Termorrígidos
Reciclável mecanicamente	Não reciclável mecanicamente
Tempo ilimitado de armazenamento	Tempo limitado de armazenamento
Alta viscosidade quando fundido	Baixa viscosidade durante o processamento
Baixa resistência à fluência	Alta resistência à fluência
Temperatura de uso limitada à Tg e Tm. Baixa estabilidade térmica e dimensional	Alta resistência térmica e dimensional

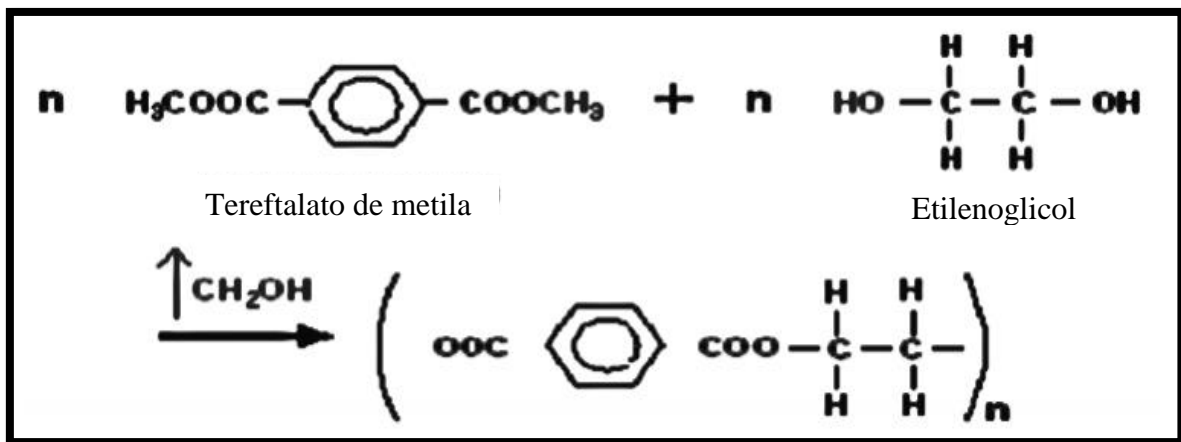
Fonte: Silva, (2014).

Segundo Silva (2014) a escolha da matriz depende da aplicabilidade do compósito e das propriedades desejadas. Em posse dessa tabela é possível escolher a melhor matriz de acordo com as necessidades do projeto.

4.3.1 MATRIZ DE POLIÉSTER

De acordo com Serafin, (2015) as resinas poliésteres, são de longe os polímeros mais empregados na produção de peças em compósitos de matriz polimérica é o poliéster insaturado. Para Silva, (2014) resinas poliésteres formam uma família de polímeros de elevada massa molecular, oriundos do processo de condensação de ácidos carboxílicos somados com glicóis, classificando-se como resinas saturadas ou insaturadas, dependendo especificamente dos tipos de ácidos utilizados, que irão configurar o modelo de ligação entre os átomos de carbono da cadeia molecular. De acordo com Rodriguez, (1996) palavra poliéster etimologicamente significa: poli, de muitos, e éster é uma função química; um éster é obtido por meio da reação de ácidos orgânicos, nesse caso um ácido carboxílico com um álcool, tendo como produtos da reação um éster e água. O pesquisador Pinto, (2002), afirma que o poliéster insaturado é um termofixo e tem sua estrutura química diferente dos poliésteres termoplásticos, pois, além da típica ligação éster, ele possui duplas ligações insaturadas capazes de reagir com monômeros vinílicos. Essa reação de condensação tendo com um dos produtos: um poliéster que pode ser observado na figura abaixo.

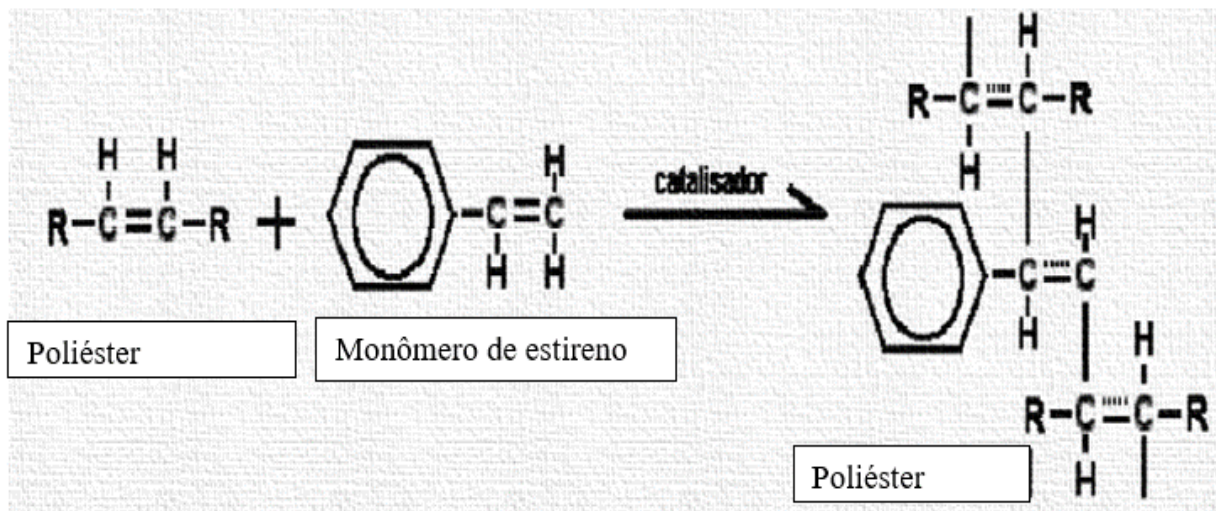
Figura 7: Macromolécula de uma resina poliéster.



Fonte: Silva, (2014).

Os poliésteres insaturados podem ser produzidos em duas bateladas, primeiramente o processo de condensação do ácido e do álcool, para produzir uma resina solúvel, e posteriormente a adição de um agente de ligação, para formar uma resina termoestável (SILVA, 2014). Segundo Silaex, (2006) as duplas ligações são quebradas pela ação de um catalisador (peróxido orgânico, calor ou radiação), para reagirem novamente entre si, dando origem a um polímero tridimensional de características termoestáveis, e, portanto, infusíveis e irreversíveis, estas podem ser observados na reação da figura abaixo.

Figura 8: Reação do poliéster curado.



Fonte: Silva, (2014).

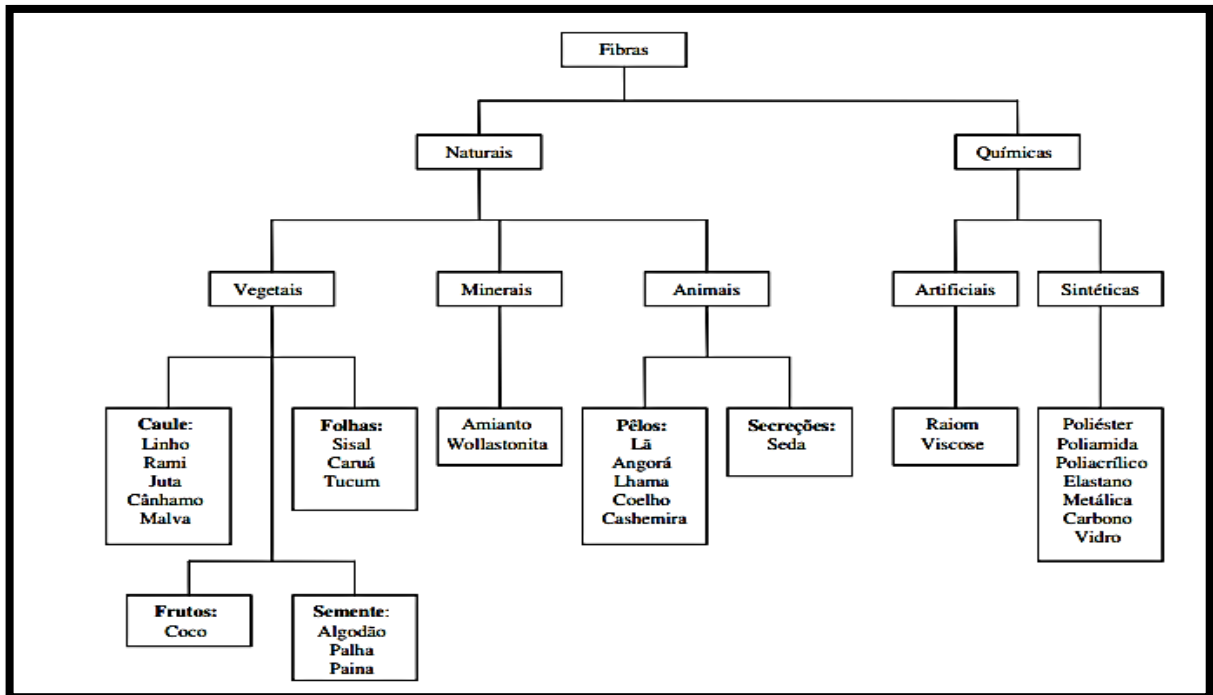
4.4 CLASSIFICAÇÃO DAS FIBRAS:

Tecnologicamente, os compósitos de maior importância são aqueles em que a fase dispersa se apresenta na forma geométrica de uma fibra. Os objetivos dos projetos, que envolvem materiais compósitos reforçados com fibras, relacionam, com frequência, elevada resistência e ou rigidez e, em contrapartida, necessita de densidade apreciável. Essas propriedades são expressas em termos de parâmetros de resistência específica e módulo específico (CALLSITER, 2015).

Em função da composição as fibras, estas podem ser classificadas em duas categorias distintas, tais como: orgânicas e inorgânicas. E as fibras orgânicas ainda se separam em naturais ou sintéticas. Existem controvérsias tocantes a alguns tipos de fibras e sua classificação, basicamente no que se refere às fibras de celuloso (BARBOSA, 2011).

Apesar de provenientes da natureza (plantas fibrosas ou madeira), o pré-tratamento antes do seu emprego ainda suscita opiniões contraditórias (BARBOSA, 2011 *apud* BLEDZKI, et al., 1996).

Os exemplos mais comuns de materiais compostos sintéticos são aqueles com fibras de reforço em escala micrométrica. Dentro dessa categoria estão subdivididos em dois grupos distintos: (1) fibra de vidro, geralmente usando fibras de vidro com valores moderadamente elevados de módulo elástico, e (2) compósitos avançados com fibras de módulos ainda mais elevados. Do mesmo modo compara-se os materiais sintéticos a um material compósito que vem apontando relativa importância nos últimos anos pelas comunidades científicas, esse compósito reforçado com fibra natural: é a madeira (SHACKELFORD, 2006).

Figura 9: Classificação das fibras.

Fonte: Milanese, (2008).

Fibra de vidro é um exemplo clássico de compósito moderno, como está listado na figura abaixo:

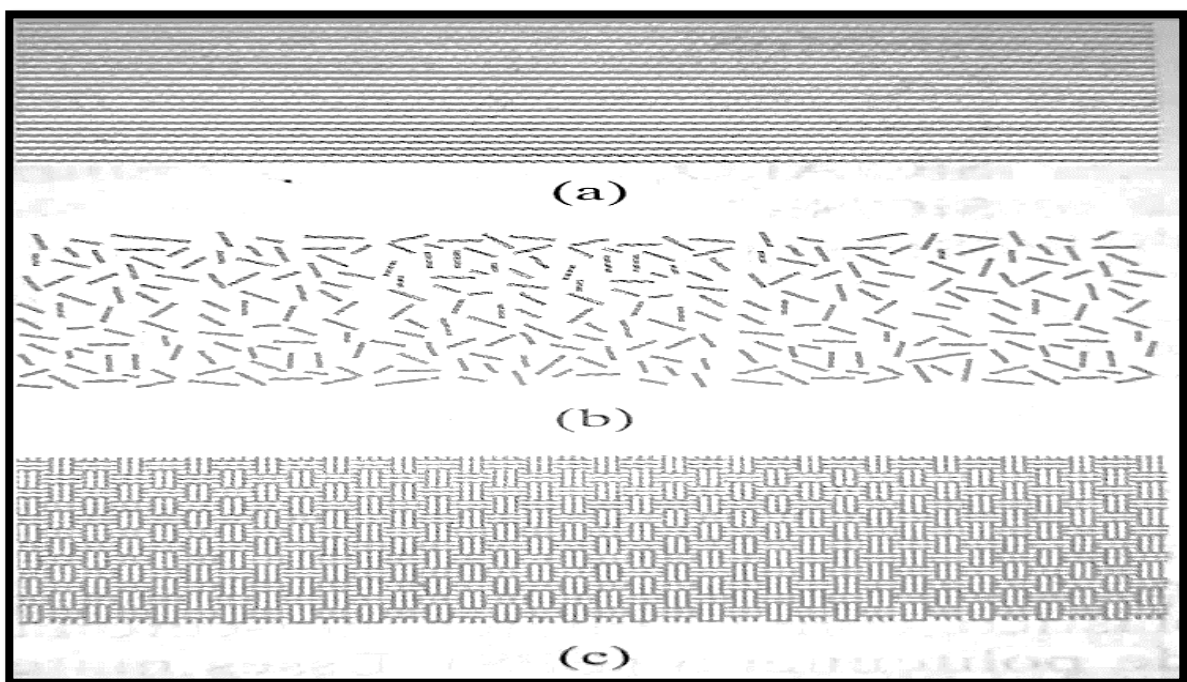
Figura 10: Composições de fibras de reforço.

Designação	Característica	Composição ^a (% p)								
		SiO ₂	(Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃)	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	B ₂ O ₃	TiO ₂	ZrO ₂
Vidro-A	Sílica de cal de soda comum	72	<1	10		14				
Vidro-AR	Resistente a bases alcalinas (para reforço de concreto)	61	<1	5	<1	14	3		7	10
Vidro-C	Resistente à corrosão química	65	4	13	3	8	2	5		
Vidro-E	Composição elétrica	54	15	17	5	<1	<1	8		
Vidro-S	Alta resistência e alto módulo	65	25		10					

Fonte: Shackelford, (2006) apud J. G. Mohr et. al., (1978).

As fibras classificadas como naturais podem ser subdivididas em vegetais, animais e minerais. As fibras minerais são constituídas por tramas cristalinas com extensão apreciável. As fibras de origem animal têm cadeias proteicas, enquanto as, vegetais apresentam natureza celulósica (BARBOSA, 2011). Dentre as categorias de fibras citadas, as últimas se apresentam em maior abundância no âmbito das fibras que são aplicadas na produção de compósitos que tem como reforço as fibras, sejam elas: (a) fibras contínuas, (b) fibras discretas e ou curtos e (c) tecido tramado, que é usado para criar uma estrutura laminada, tal qual na figura abaixo.

Figura 11: Três configurações comuns para fibra de reforço.

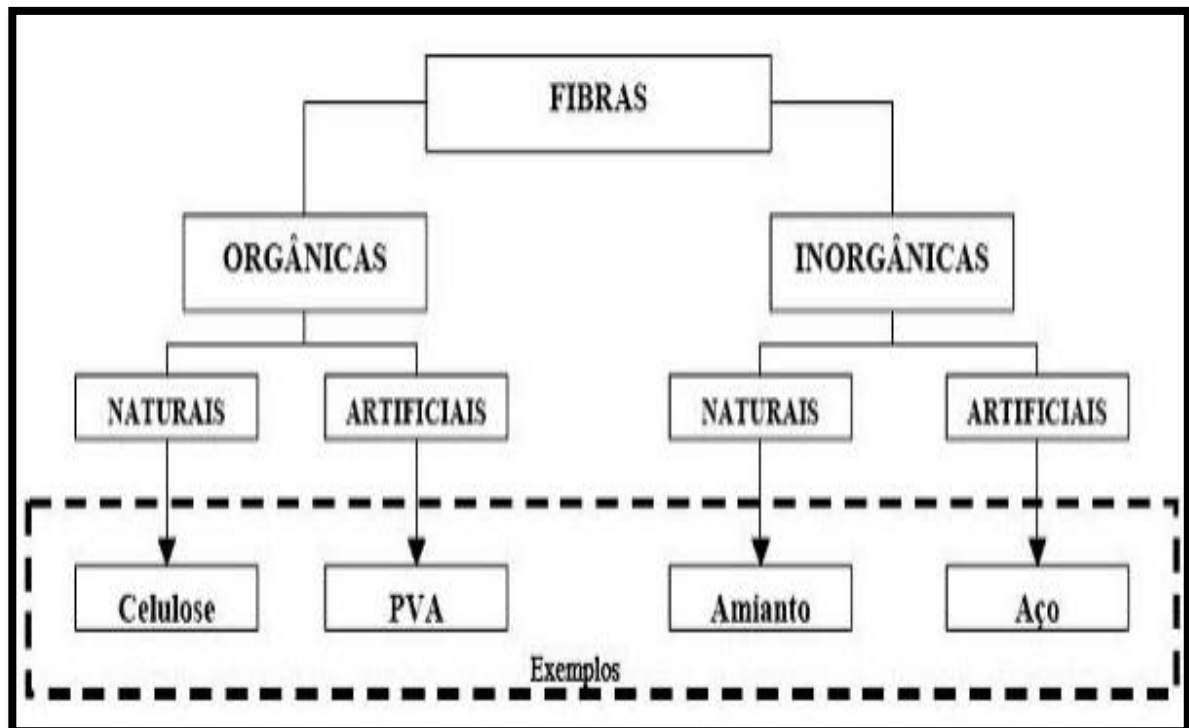


Fonte: Shackelford, (2006).

De acordo com Giacomini, (2003) além da abundância e disponibilidade, uma das principais vantagens da utilização deste tipo de fibra consiste no reduzido consumo de energia envolvido em sua produção, quando comparado ao necessário para a fabricação das fibras sintéticas. Na opinião de Barbosa, (2011) é sabido que a durabilidade destas podem ser severamente comprometidas, caso seja incorporada a uma matriz, com caráter alcalino, que, ao longo do tempo, afetam sua integridade estrutural. Para Bledzki e Gassan, (1999) de forma a minimizar estes efeitos as fibras podem sofrer tratamentos superficiais que a protegem da ação da água e de outros agentes agressivos, e podem ser projetados de forma a colaborar na aderência fibra-matriz. As fibras podem se dividir em subclasses, de acordo com suas

características mecânicas como por exemplo a elasticidade, essa propriedade peculiar se apresenta em duas classes fibras: sejam elas de baixo e alto módulo, dessa maneira, direcionando suas aplicações. As fibras de elevado módulo melhoram de maneira apreciável a resistência do compósito, principalmente à tração, que nesse trabalho de longe será uma das características mais apreciadas, enquanto as de baixo módulo propiciam melhores resistências ao impacto e permitem ao compósito trabalhar no estágio pós fissurado, controlando a abertura e propagação das fissuras aumentando consideravelmente sua tenacidade quando aplicados teores adequados (CAETANO *et al.*, 2004). Na Figura 12, observa-se algumas classificações das fibras.

Figura 12: Classificação da fibra, em função das propriedades químicas.



Fonte: Zhu *et al.*, (1994).

A pesquisa por novos materiais, tem sido de grande valia para as comunidades científicas, pois estas buscam de maneira significativa alterar e ou manipular as propriedades físicas e químicas dos materiais, a fim de poder adequá-los para as mais diversas situações de enfrentadas no âmbito da engenharia em todas as esferas. A descoberta de novas características em fibras naturais recentemente exploradas na flora brasileira como é o caso da fibra de “ALGODÃO BRABO”, abre um leque de oportunidades para a pesquisa e produz novos processos investigativos e de cunho comparativo com as demais classificações de fibras sendo estes: vegetais, animais ou minerais.

4.4.1 Fibras vegetais e suas propriedades físicas

Segundo Barbosa, (2011) as fibras vegetais são estruturas alongadas de seção transversal vazada e circulares, distribuídas por toda planta, podendo ser caracterizada de acordo com a origem anatômica, como fibras de talo, fibras de folha, fibras de lenho e fibras de superfície. As partes fibrosas do talo ocorrem no floema (parte da planta, responsável pelo transporte da seiva bruta e sais minerais necessários para a planta) que fica na entrecasca do talo, por exemplo, as fibras de juta, rami, linho, algodão e piaçava. As fibras de folha são retiradas das folhas dos vegetais, a título de exemplo pode-se citar as fibras de sisal, curauá, abacaxi e banana. É visto que nas literaturas essas plantas apresentam fibras em seu caule em abundância, constituindo a estrutura da planta, por onde ocorre geralmente o processo de fotossíntese das plantas a grosso modo.

Para Caetano *et al.*, (2004) as fibras de superfície formam uma camada protetora de caules, folhas, frutos e sementes das plantas, como as fibras de açaí, coco e as fibras de algodão.

Nas pesquisas de Barbosa, (2011) para minimizar o consumo das reservas de petróleo e facilitar a reciclagem dos carros usados e diminuir a obsolescência, os engenheiros vem cada vez mais, buscando novos materiais para aplicar em equipamentos e produtos já estabelecidos. Visto isso, os pesquisadores estão usando fibras naturais como reforço ou até mesmo na substituição completa de componentes automotivos.

De acordo com Wambua *et al.*, (2003) o uso de fibras lignocelulósicas como reforço para materiais poliméricos, como substituto de fibras sintéticas, vem crescendo de maneira quase que exponencial nos últimos anos, principalmente nos setores industriais, tais como embalagens e automóveis, e na construção civil na forma de compósitos.

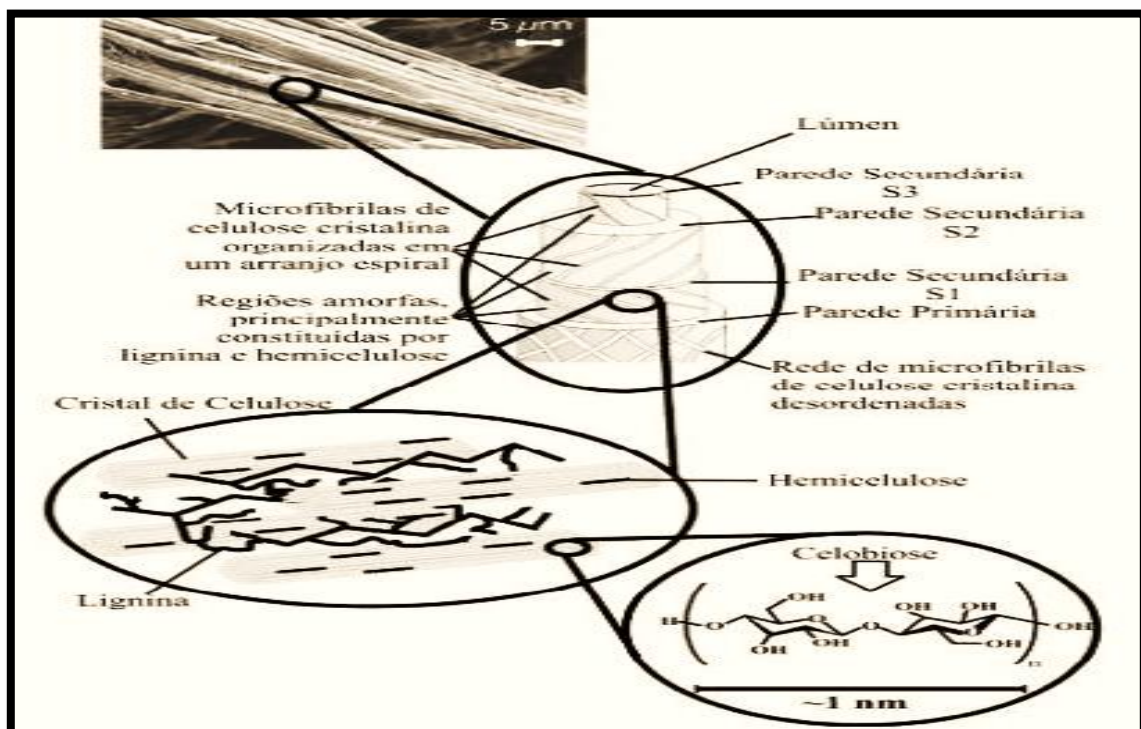
As fibras vegetais são consideradas como compósitos de fibrilas de celulose, mantidas coesas por uma matriz constituída de lignina e hemicelulose. Além destes componentes, são encontrados pectina, compostos inorgânicos, moléculas extraíveis com solventes orgânicos e outros componentes em baixas concentrações. Cada fibra-celular individual tem estrutura complexa formada por paredes celulares que circundam o lúmen. (FRANKLIN, 2017. p. 67).

As paredes são constituídas de camadas formadas por feixes de microfibrilas que crescem no vegetal em forma de espiral, com diferentes orientações angulares (SILVA *et al.*, 2009; BLEDZKI E GASSAN, 1999; BARBOSA, 2011).

“Cada fibra lignocelulósica tem uma estrutura de camadas complexas; constituída por uma parede primária fina, inicialmente depositada durante o crescimento das células, que rodeia uma parede secundária. A parede secundária é constituída por três camadas (S1, S2 e S3), onde a camada intermediária (S2) determina as propriedades mecânicas da fibra e consiste em uma série de microfibrilas, helicoidalmente formadas por longas cadeias de celulose e organizadas no sentido da fibra. (FRANCKLIN, 2017. p.67).

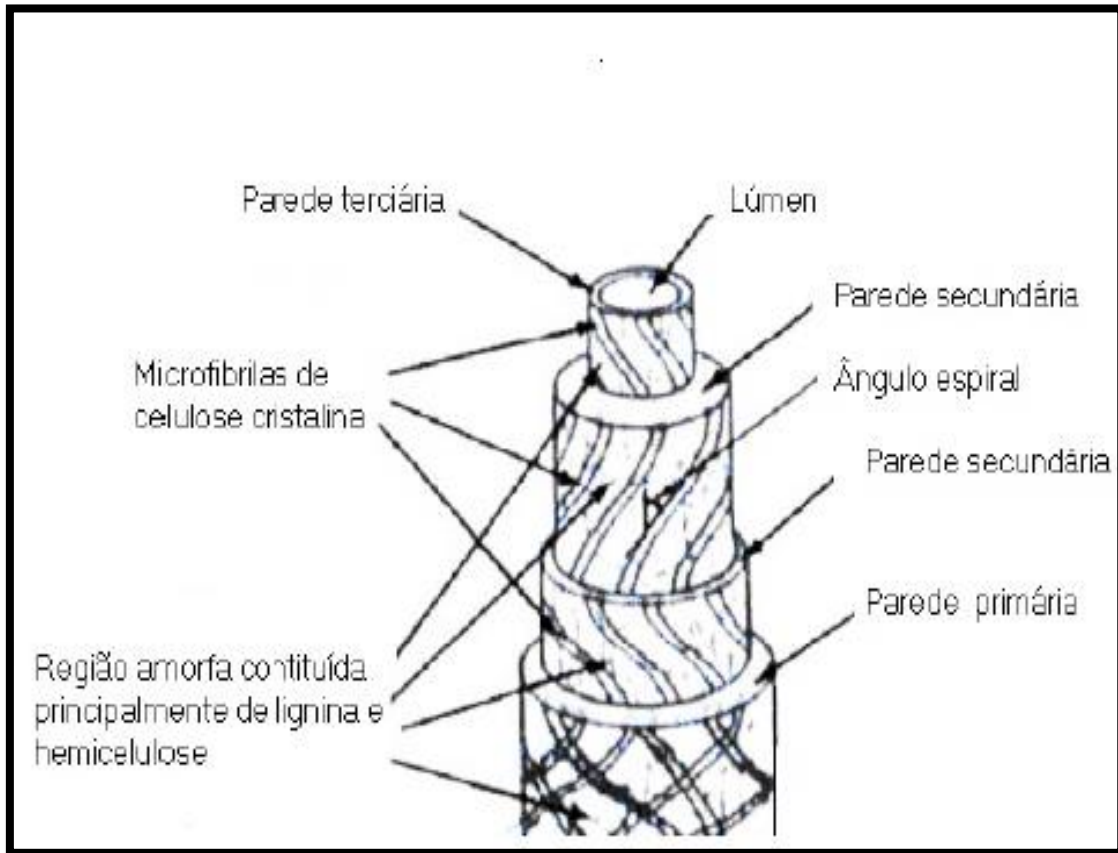
O esquema da estrutura da fibra pode ser observado na Figura 13, mostrando as todas camadas que uma fibra possa apresentar, de maneira detalhada é possível observar as microfibrilas de celulose, por onde ocorre funções vitais para a planta.

Figura 13: Estrutura de uma fibra vegetal, a imagem em MEV se refere a uma fibra de eucalipto, microscopia eletrônica de varredura (MEV).



Fonte: Bledzki & Gassan, (1999).

Figura 14: Representação de uma fibra-celular.

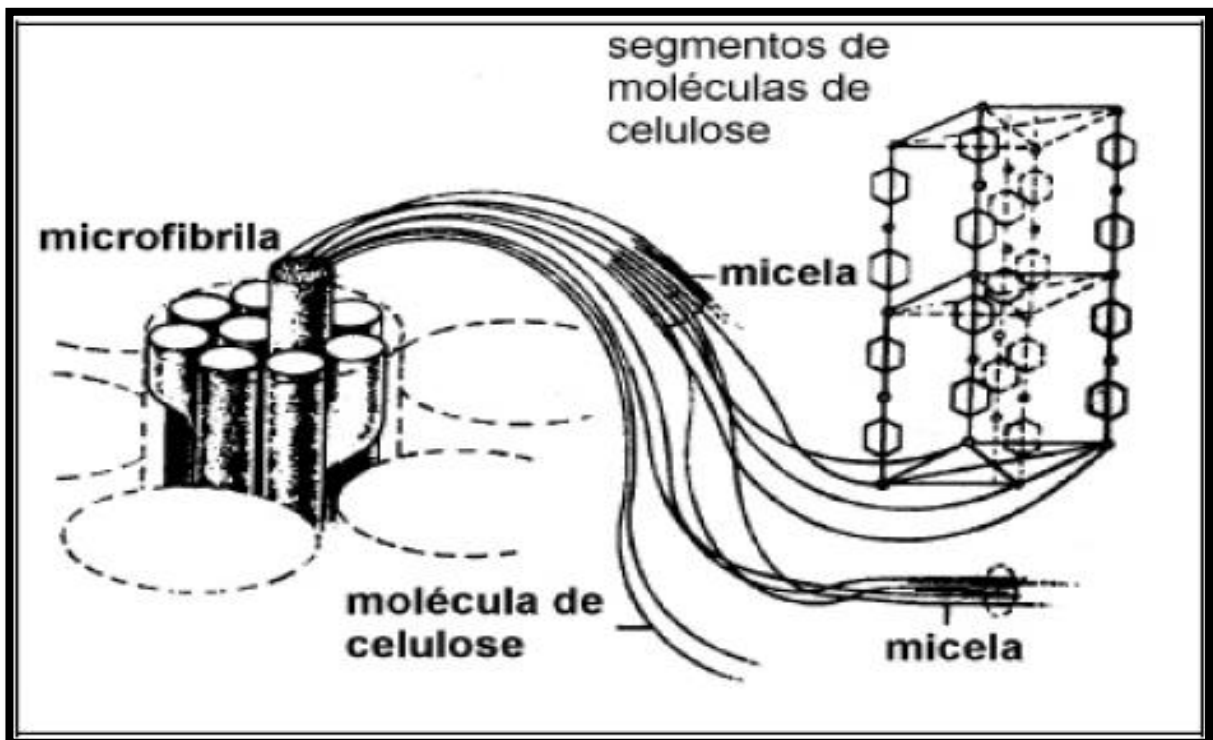


Fonte: Silva *et al.* (2009).

Como se observa na Figura 14, cada fibra-celular individual tem estrutura complexa formada por paredes celulares que rodeiam o lúmen. Essas paredes são descritas da seguinte maneira: que vai da parte externa para interna: primária, secundária, e assim por diante. As paredes são constituídas de camadas formadas por feixes de microfibrilas que vão crescendo juntamente com o vegetal em forma de espiral, com diferentes orientações angulares (BARBOSA, 2011). A Figura 15 é a representação de uma fibra-celular, a qual pode apresentar regiões de seção variada que vai desde: transversal circular até oval ou achatada (BLEDZKI e GASSAN, 1999). As microfibrilas tem como constituinte principal a celulose, e esta, é interligada com a hemicelulose. Outro importante constituinte das paredes é a lignina, substância hidrofóbica impregnada principalmente nas camadas próximas à superfície, e que tem função de sustentação (BLEDZKI e GASSAN, 1999).

De acordo com Barbosa, (2011) uma única fibra para os vários tipos de plantas consiste em várias células. Estas células são formadas por microfibrilas cristalinas de celulose que são conectadas a uma camada de lignina e hemicelulose, estas podem influenciar de maneira significativa na coesão da fibra, pois tanto a lignina como a hemicelulose funcionam como uma espécie de “cola,” como pode ser observado na Figura 15.

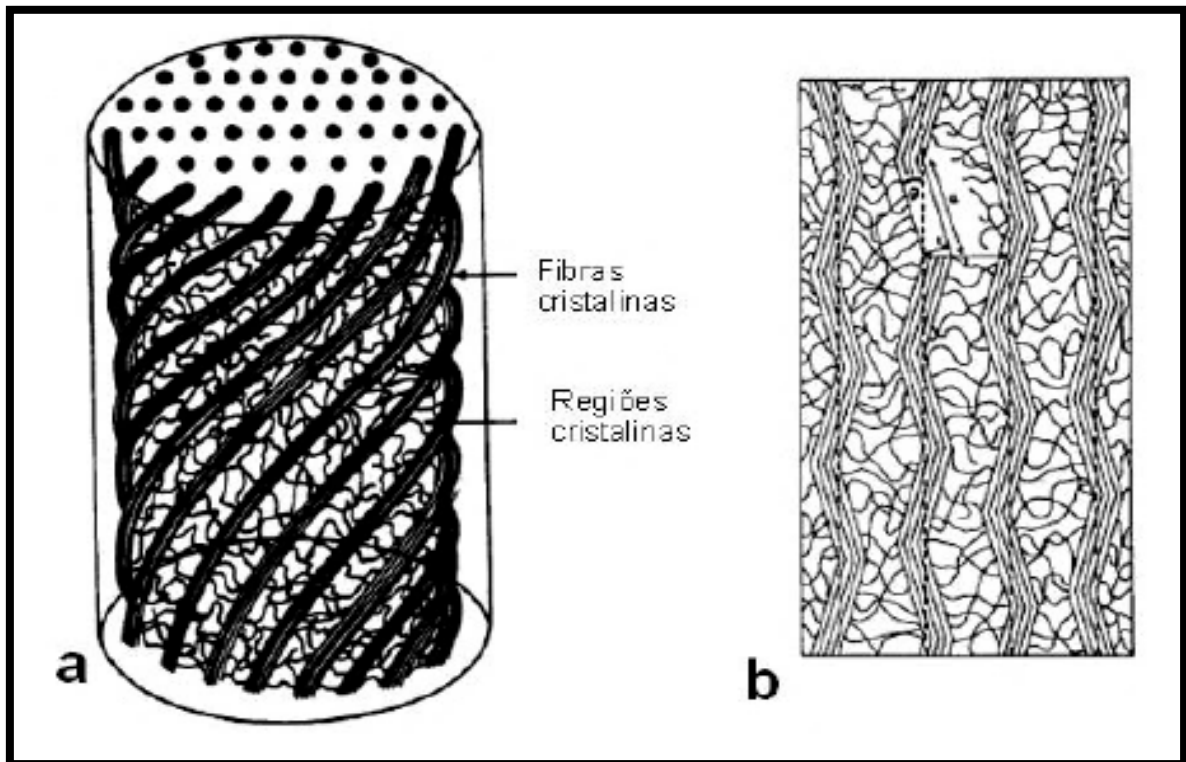
Figura 15: Microfibrilas constituída de porções cristalinas, as micelas, que são formadas por segmentos de moléculas de celulose ordenadas.



Fonte: Bledzki e Gassan, (1999).

Para Barbosa, (2011) as microfibrilas são constituídas por micelas, as quais são cristais de moléculas de celulose na ordem de Angstroms, ordenadas paralelamente em diferentes estruturas alotrópicas como pode ser observado na figura acima, ou seja, esse pequeno grau de cristalinidade confere a rigidez da fibra. A fibra tende a elevar sua rigidez à medida que aumenta o teor de celulose na estrutura da mesma e diminui os ângulos de espiral em relação ao eixo da fibra (BLEDZKI e GASSAN,1999). Na Figura 16 é possível observar como se comporta a rigidez da fibra vegetal.

Figura 16: Modelo para descrição da rigidez da fibra (a) Camadas em uma visualização o em 3D, (b) Camadas projetadas em uma exibição 2D.



Fonte: Bledzki e Gassan, (1999).

4.4.2 Lignina:

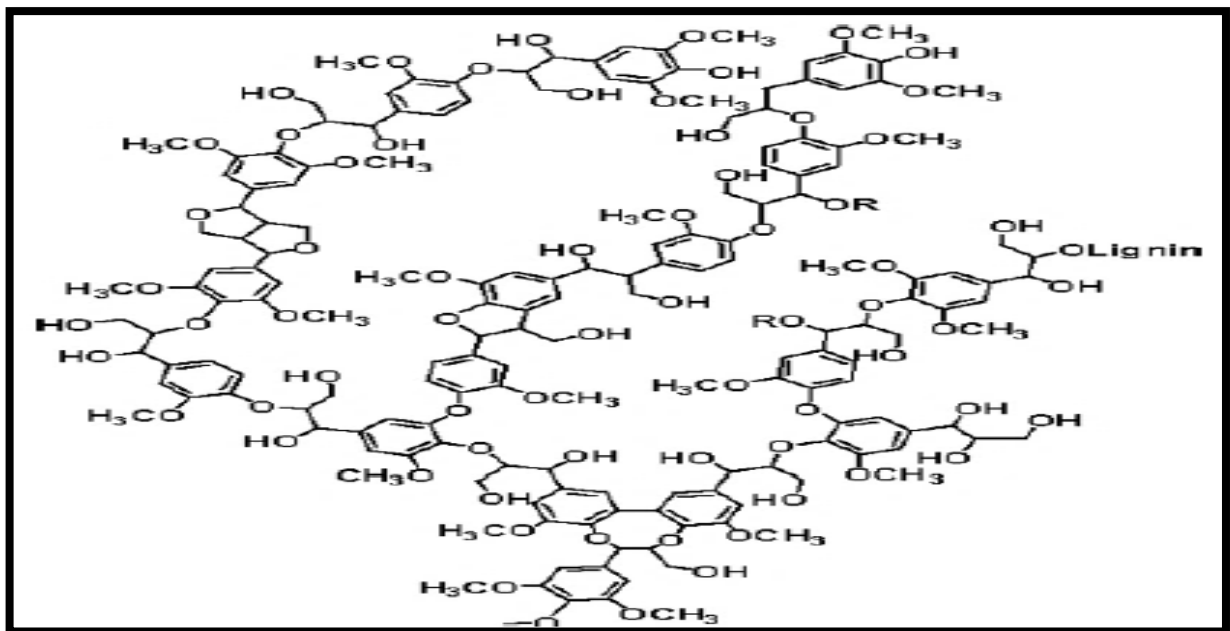
Para Di Benedetto, (2015) a palavra lignina etimologicamente vem do latim *lignum*, que por definição significa madeira. Trata-se de um dos componentes de maior relevância dos tecidos de gimnospermas e angiospermas. Segundo as pesquisas de Fengel, (1983) é conhecido que a lignina tem como função principal o transporte de água, nutrientes e metabolitos.

De acordo Serafim, (2015) a lignina é basicamente um polímero aromático constituído de um sistema heterogêneo e ramificado sem nenhuma unidade repetidora definida. Presente em elevados teores na composição do endocarpo seco, junto da celulose e da hemicelulose, em quantidades menores.

A lignina, apresenta maior importância na aplicação de compósitos, exerce a função de proteção sobre os componentes polissacarídeos da parede celular promovendo, portanto, a rigidez e a resistência física que tanto se procura nos novos materiais tecnológicos. Ela atua como uma parede hidrofóbica impermeável. (DI BENEDETTO, 2015.p 32).

Segundo Klock, (2005) é uma substância responsável por conferir resistência mecânica, rigidez, impermeabilidade e uma inercia química apreciável a ataques microbiológicos, no decorrer do desenvolvimento da célula a lignina é incorporada como último componente na parede, penetrando as fibras e assim enrijecendo e dando maior resistência mecânica a planta. De acordo com Serafim, (2015) *et al*, Siimer, (2006) a lignina ocorre em várias plantas, mas apresenta variação na composição em plantas distintas. Para Serafim, (2015) a lignina é o produto, final do metabolismo da planta. De acordo com as literaturas a lignina se apresenta de forma distinta em plantas dependendo do porte da planta. Um dos componentes mais encontrados na lignina é a celulose, ou seja, uma mistura de hidrogênio, carbono e oxigênio, de acordo com as literaturas esse é de longe um dos principais componentes encontrados nas plantas, abaixo observa-se a estrutura química da lignina

Figura 17: Estrutura química da lignina.



Fonte: Plant physiology, (2015).

Segundo Di Oliveira, (2001) em investigações realizadas há mais ou menos 150 anos, verificou-se o interesse científico e econômico sobre a lignina, nesse estudo conclui-se que a lignina é uma substância amorfa, de natureza aromática e muito complexa, e faz parte da parede celular e da lamela média dos vegetais.

4.4.3 ESTUDO DE FIBRAS E SEU POTENCIAL COMO NOVO MATERIAL PARA ENGENHARIA:

Necessita-se cada vez mais de reciclagem e crescer de forma sustentável para que isso possa ocorrer é necessário a pesquisa e a busca por novos materiais que poluam cada vez menos ou até mesmo não agridam o meio ambiente no momento do seu processamento e ou obtenção de forma alguma, pensado nisso vem-se cada vez mais buscando nas fibras de origem vegetal propriedades mais próximas dos materiais que já existem no mercado (metal, polímero e cerâmica). Isso tem-se tornado uma prioridade pois as plantas apresentam um potencial de propriedades apreciáveis que podem ser aproveitadas nos projetos de engenharia, dessa maneira mostrando-se como substitutos a altura de materiais já pré-estabelecidos no mercado. A ideia principal é que no futuro quando tivermos um estudo completo das fibras com potencial de materiais engenharia, possa-se cultivar e preservar as plantas afim de gerar renda nas comunidades mais afastadas, fazendo com que os moradores possam preservar a flora para as posteridades.

Para Barbosa, (2011) existem inúmeras aplicações para fibras naturais, uma delas é como material usado nos mais variados projetos de engenharia, na última década uma quantidade considerável de informações sobre elas vem sendo divulgada em artigos e trabalhos científicos.

Toda via, alguns pontos são relevantes sobre estas características físico-químicas, e devem ser levadas em consideração (BLEDZKI & GASSAN, 1999). De acordo com Mohanty *et. al.*, (2002) as propriedades mecânicas da fibra podem sofrer variação quanto a sua natureza física dependendo de onde é retirada, há basicamente dois lugares que pode se extrair as fibras: do caule ou da folha.

Para Barbosa, (2011) *apud* Wambua *et al*, (2003) apesar dos inconvenientes, as fibras lignocelulósicas apresentam vantagens sobre as fibras sintéticas, especialmente a de vidro, isso porque as fibras de origem vegetal apresentam baixo custo na obtenção e menor gasto do ferramental, pois possuem baixa abrasividade, densidade apreciável tornando-a uma boa

candidata para aplicações em projetos de engenharia, que necessitam de leveza e resistência mecânica, comparando-se as fibras de vidro que apresentam maior onerosidade. Toda via as pesquisas apontam um elevado potencial como um material de engenharia para as fibras lignocelulósicas. De acordo com Monteiro *et al*, (2009) fibras lignocelulósicas são comparativamente de longe as mais baratas, leves e não-abrasivas para equipamentos de processamento e mais flexíveis, o que contribui para compósitos mais resistentes.

Quando, se fala em produzir um determinado produto de locomoção, busca-se basicamente duas propriedades: baixa densidade e resistência mecânica elevada, por exemplo no início do século XX quando começou a produção de veículos automotores, os mesmos consumiam muito combustível, pois apresentavam densidade muita elevada, o carro era muito pesado, ou seja, consumia muito combustível, atualmente os veículos apresentam menor densidade logo isso reflete-se no em uma maior autonomia, e cada vez mais buscar materiais mais leves e resistentes para a fabricação de veículos.

As fibras apresentam boas propriedades físicas se comparadas as fibras sintéticas, a Tabela 2, apresenta valores de propriedades mecânicas de algumas plantas.

Tabela 2: Propriedades de algumas fibras lignocelulósicas e fibras sintéticas.

Fibras	Densidade ρ (g/cm ³)	Tensão Máxima σ (MPa)	Módulo de Elasticidade (Gpa)	Máximo σ/ρ (MPa.cm ³ /g)
Bambu (<i>Bambusa vulgaris</i>)	1,03 – 0,49	106	-	-
Banana (<i>Musa sapientum</i>)	0,67 – 1,50	700 - 800	27 - 32	1194
Buriti (<i>Mauritia flexuosa</i>)	0,63 – 1,12	129 – 254	-	403
Coco (<i>Cocos nucifera</i>)	1,15 – 1,52	95 – 220	4 – 6	191
Algodão (<i>Gossypium M.</i>)	1,51 - 1,60	287 – 800	6 – 13	530
Curauá (<i>Ananas erectifolium</i>)	0,57 – 0,92	117 – 3000	27 – 80	2193
Linho (<i>Linum esitatissimum</i>)	1,30 – 1,50	344 – 1035	26 – 28	496
Juta (<i>Corchorus capsularis</i>)	1,30 – 1,45	393 – 800	13 – 27	615
Piassava (<i>Attalea funifera</i>)	1,10 – 1,45	109 – 1750	5 – 6	1591
Abacaxi (<i>Ananas comosus</i>)	1,44 – 1,56	362 – 1627	35 – 83	1130
Rami (<i>Boehmeria nivea</i>)	1,5	400 – 1620	61 – 128	1080
Sisal (<i>Agave sisalana</i>)	1,26 – 1,50	287 – 913	9 – 28	725
Madeira macia	0,46 – 1,50	112 – 1000	11 – 40	2174
Vidro	2,50 – 2,58	2000 – 3450	70 – 73	1380
Carbono	1,78 – 1,81	2500 – 6350	230 – 400	3567
Aramida	1,44	3000 – 4100	63 – 131	2847

Fonte: Monteiro et al., (2011).

Algumas dessas fibras já são bem utilizadas nos projetos de engenharia outras nem tanto, ainda necessitam de pesquisas mais aprofundadas para serem aplicadas, mas é possível observar o potencial que as plantas lignocelulósicas.

4.4.4 Fibra de Algodão Brabo (*Cochlospermum*).

Cochlospermum é o nome científico do Algodão brabo e se encontra presente em todas as regiões do Brasil, ou seja, não é uma árvore endêmica. Há registros dessa espécie também na Bolívia e Paraguai. Esta costuma ocorrer em formações abertas, é mais comum na região do Cerrado. Pode atingir um tamanho médio em torno de 3 a 15 metros de altura na sua fase final de formação (OLIVEIRA, 2018 *apud* LLERAS, E. 2015). Na Figura 18 observa-se o caule da árvore, a semente e a folhagem, essas imagens foram de suma importância para ajudar na identificação da mesma. Atualmente essa planta não apresenta grande relevância industrial, pois ainda se sabe muito pouco sobre a mesma, que carece de estudos mais aprofundados.

Figura 18: (a) Caule da árvore popularmente conhecida com algodão brabo; (b) Semente da árvore de algodão brabo e (c) Folhas da planta.



Fonte: Autor, (2018).

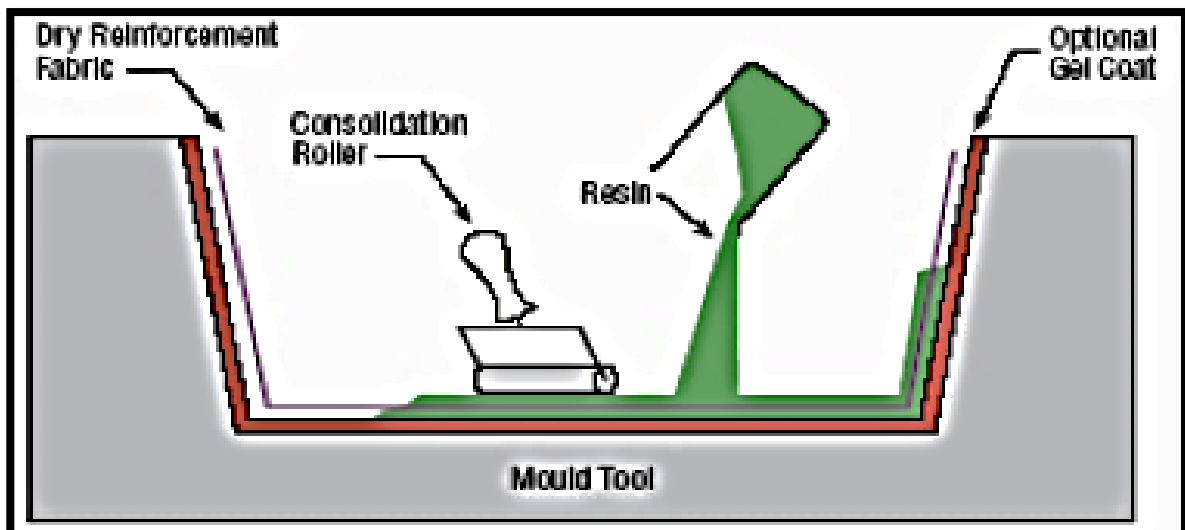
4.4.5 PRODUÇÃO DE MATERIAIS COMPÓSITOS REFORÇADOS COM FIBRA.

De acordo com Oliveira, (2017) no processamento de compósitos (moldagem), diferentemente dos materiais metálicos e cerâmicos, a manufatura do material em si ocorre ao mesmo tempo em que o componente é submetido à moldagem. Esse processo ocorre de maneira paralela, minimizando tempo, tornando esse processo rápido, se comparado com processos para obter outros materiais como por exemplo processos siderúrgicos que demanda um tempo mais elevado. Como aqui predomina-se a técnica de moldagem, antes de aplicar a mesma é necessário saber qual o tipo de reforço, natureza do reforço, geometria da peça e etc. Essas propriedades são necessárias para saber qual o modelo ideal de moldagem a ser aplicado nesse procedimento. Algumas operações podem ser automatizadas e ou manuais, vai depender da demanda que o fabricante tem. Segundo Oliveira, (2017) os procedimentos de fabricação podem ser manuais e/ou automatizados e a modelagem pode ser feita em matriz aberta ou fechada. Os moldes abertos podem ser do tipo macho ou fêmea e os fechados incorporam, simultaneamente, as características dos moldes tipos machos e fêmea (OLIVEIRA, 2017 *apud* NETO e PARDINI, 2006). Nos processos de fabricação de materiais compósitos busca-se sempre produzir peças com baixo custo. Nas palavras de Levy Neto E Pardini, (2006) os processos de fabricação correspondem a por volta de 50 a 60% do custo total de um compósito, vendo que aqui o processo corresponde por uma parcela expressiva do valor total do produto. Na produção de compósitos laminados, existem nas literaturas basicamente os seguintes modelos, que serão vistos nos tópicos abaixo.

4.4.5.1 Laminação manual (*Hand lay Up*)

De acordo com Mota, (2010) nesse procedimento, a superfície é devidamente preparada, sendo então utilizado um molde com cera desmoldante e álcool desmoldante, no qual feltros de fibras enrolados, mechas trançadas, mantas ou outros tecidos de fibras são colocados. Impregna-se o molde com resina devidamente preparada, utilizando-se um pincel para melhorar a adesão do polímero com o reforço, é comum também utilizar um rolo de alumínio afim de reduzir a presença de bolhas que se formam no decorrer do processo, essas bolhas podem fragilizar o compósito ou se tornar um concentrador de tensões. Na figura abaixo observa-se o esquema dessa técnica.

Figura 19: Esquema do processo de laminação manual (*hand lay Up*).

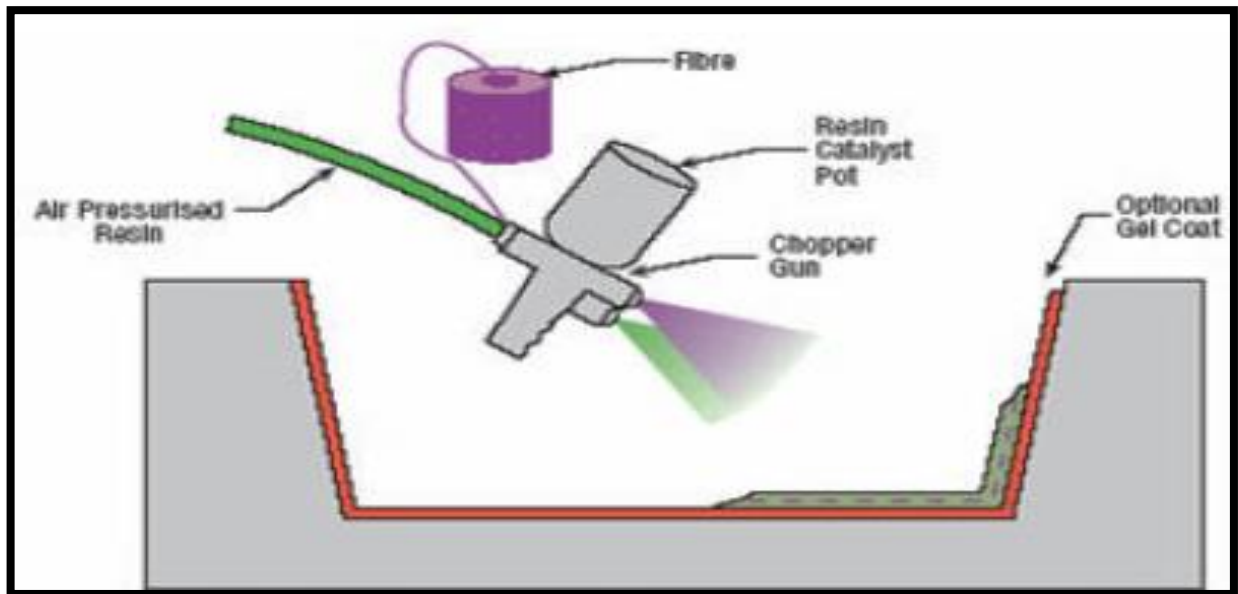


Fonte: Mota, (2010) *apud* Saint Gobain Vertrotex (2008).

4.4.5.2 Laminação a pistola

De acordo com Mota, (2010) neste método, também denominado (*Spray Up*) laminação a pistola, os fios cortados e a resina são lançadas ao mesmo tempo em uma matriz preparada e um rolo é passado para melhorar a adesão entre o reforço e a matriz de poliéster. A finalidade de se passar esse rolo e neutralizar a presença de bolhas para ter uma impregnação quase que total na peça. Na imagem abaixo pode-se observar o esquema de laminação a pistola.

Figura 20: Esquema de Laminação a pistola (*Spray Up*).

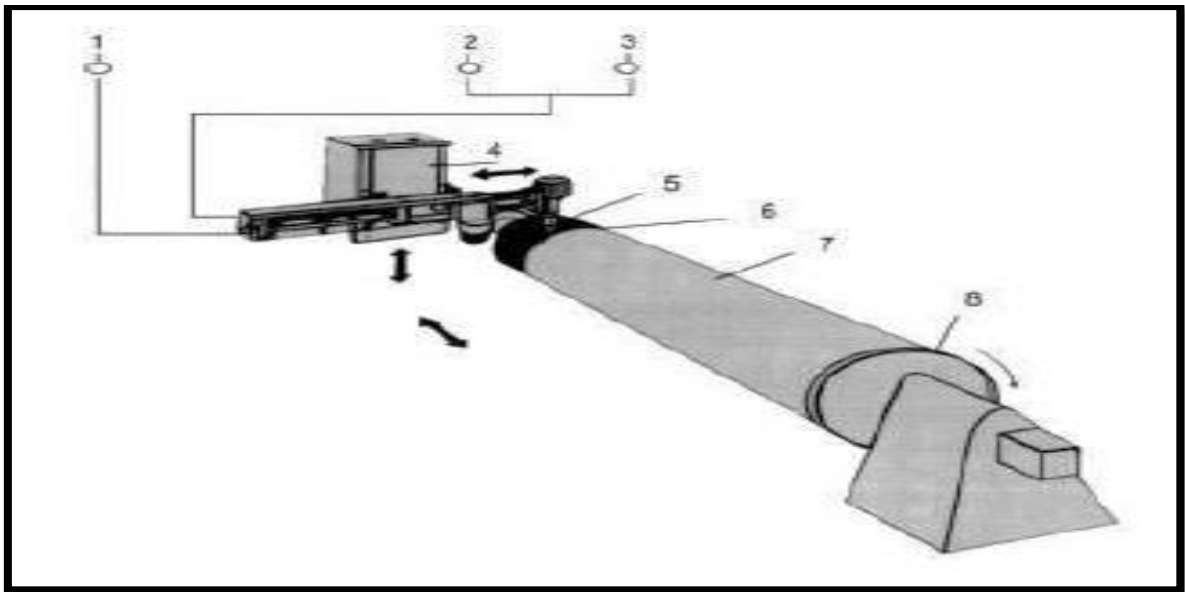


Fonte: Mota, (2010) *apud* Saint Gobain Vertrotex (2008).

4.4.5.3 Centrifugação

Nesse modelo de processamento mistura-se tanto a resina quanto os agregados em um grande moinho, onde é realizada a cura, esse processo ocorre in situ. Na figura abaixo observa-se o aparato experimental que é necessário para esse método.

Figura 21: Processo de Centrifugação, aqui observa-se: (1) Pré-polímero; (2) Agente de cura para revestimento macio; (3) Agente de cura para revestimento duro; (4) Suporte da cabeça misturadora; (5) Cabeça misturadora; (6) Cobertura elastomérica; (7) Cilindro; (8)

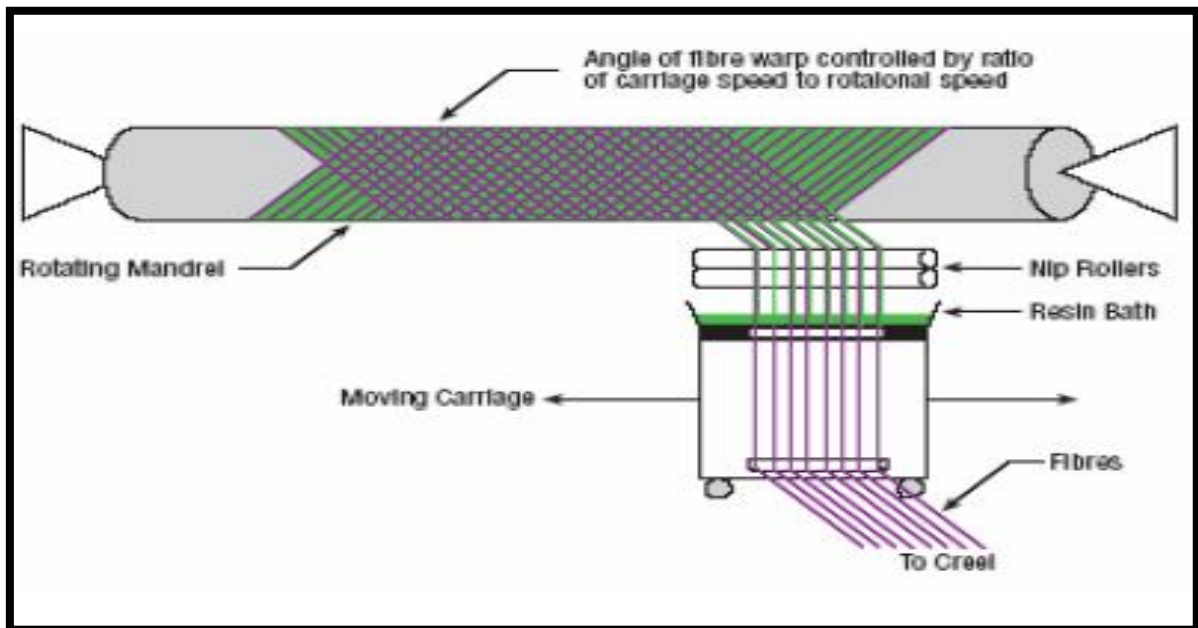


Fonte: Mota, (2010) *apud* Saint Gobain Vertrotex (2008).

4.4.5.4 Enrolamento

Segundo Mota, (2010) Enrolamento ou *Filament Winding*. Essa técnica a modelagem é feita por meio de enrolamento das fibras contínuas através de uma matriz giratória. Também podem ser utilizados mantas ou tecidos nas bateladas do processo de enrolamento. Esse procedimento é bastante difundido nas produções de peças de geometria cilíndrica e tubulações. Abaixo observa-se o esboço dessa técnica.

Figura 22: Enrolamento.

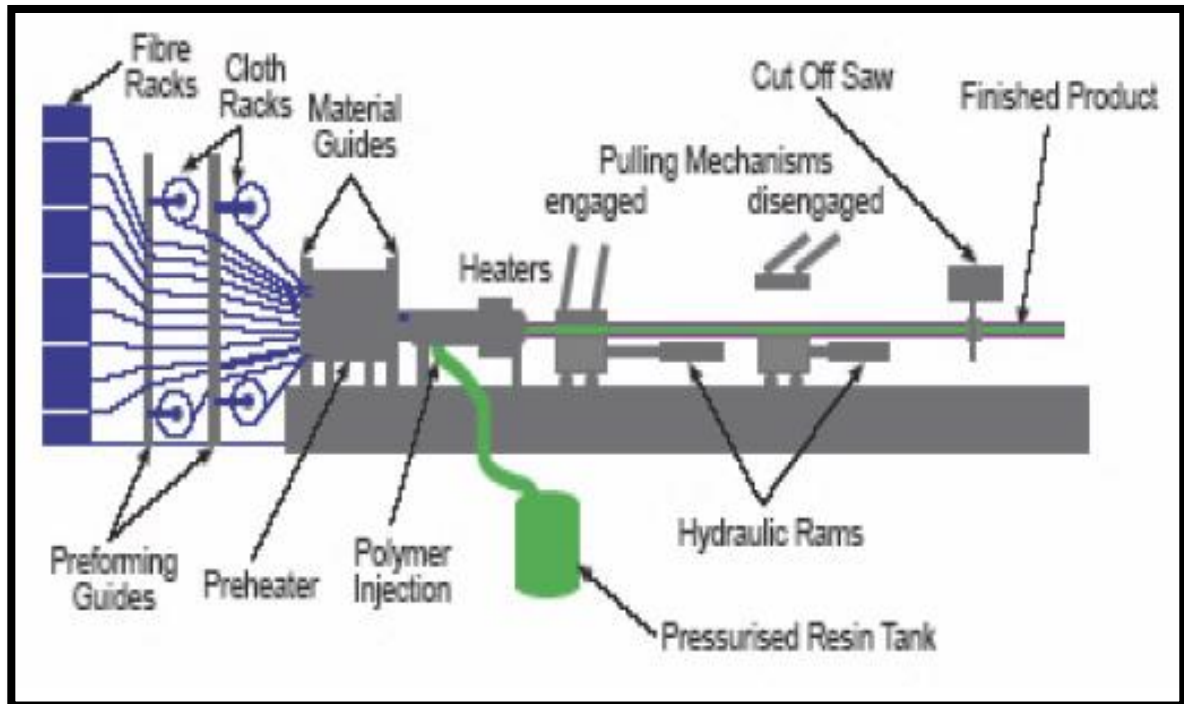


Fonte: Mota, (2010) *apud* Saint Gobain Vertrotex (2008).

4.4.5.5 Pultrusão:

Neste processo, fibras são aglomeradas com resinas, essas por sua vez são esticadas por meio dos moldes aquecidos, produzindo assim a polimerização da resina. É a técnica usada para obtenção de perfis.

Figura 23: Processo de Pultrusão.



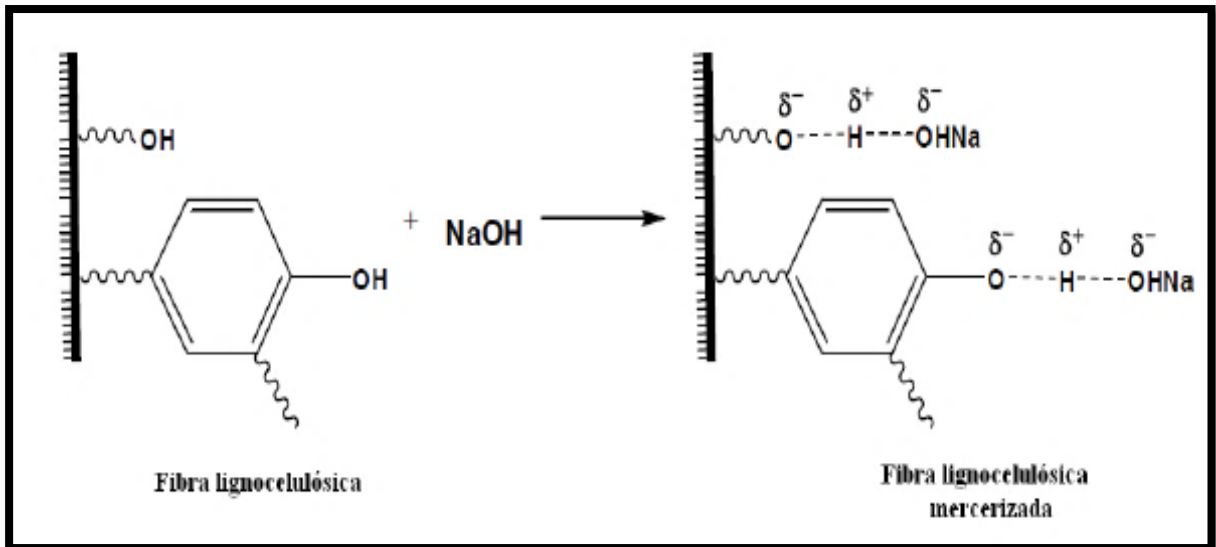
Fonte: Mota, (2010) *apud* Saint Gobain Vertrotex (2008).

4.5 MERCERIZAÇÃO:

O processo de mercerização é um tratamento físico-químico aplicado em materiais fibrosos, afim de melhorar a resistência mecânica, trata-se de um banho químico, no qual o material de interesse é mergulhado em um tanque com uma solução de hidróxido de sódio (NaOH), com uma certa concentração pré-estabelecida, nesse banho a fibra fica por um determinado tempo. De acordo com Gurgel, (2007) a mercerização é o tratamento das fibras de celulose com solução aquosa de soda caustica (NaOH), ela modifica as propriedades mecânicas da fibra, tais como: estrutura fina, morfologia da fibra e conformação das cadeias de celulose. Com esse procedimento pode-se elevar-se a resistência mecânica de maneira significativa, tornando o material mais rígido. Nas palavras de Gurgel, (2007) *apud* Beatriz et al., (2006) estas transformações resultam em elevada adsorção devido a mercerização aumentar a área superficial específica da fibra, fazendo com que os grupos hidroxila das macromoléculas de celulose tornar-se mais facilmente trabalháveis.

Segundo Carvalho, (2010) *apud* Djidjelli, (2009) esse método consiste em tratamento à base de lixívia forte que tem como base o hidróxido de sódio (NaOH) concentrado, que é aplicado à fibra. Este método é bastante difundido por se tratar de uma técnica menos onerosa e apresentar facilidade no momento da aplicação. O objetivo desse procedimento é reduzir a concentração de lignina, hemicelulose e outros componentes orgânicos, para que as fibras possam apresentar uma adesão mais eficiente com a matriz polimérica. De acordo com as pesquisas de Climaco et al., (2009) essa técnica ajuda na remoção de lignina, de hemiceluloses e de outros componentes da fibra ($\text{Fibra-OH} + \text{NaOH} \leftrightarrow \text{Fibra-O-Na}^+ + \text{H}_2\text{O}$). Esse processo de quebra das moléculas também disponibiliza grupos antes inacessíveis a agentes químicos (CLIMACO et al., 2009 *apud* ABREU, 2011). Essa reação pode ser observada na Figura 24, que esboça a reação.

Figura 24: Reação entre a fibra lignocelulósica e a solução de NaOH.



Fonte: Guimarães, (2011).

A ideia geral desse tratamento químico é melhorar de maneira significativa a resistência mecânica da fibra de origem lignocelulósica, a ideia é aqui é mergulha as fibras por um espaço de tempo, e observar até que ponto esse tratamento químico é interessante.

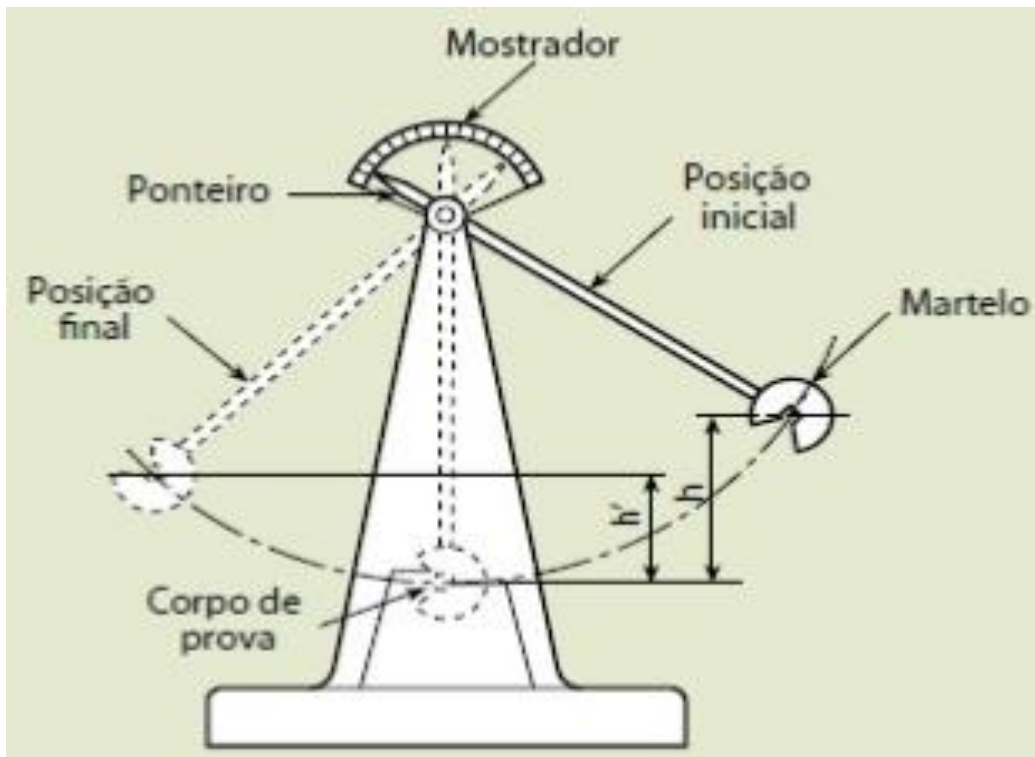
4.6 NORMAS DE ENSAIO MECÂNICOS DE TRAÇÃO E IMPACTO PARA MATERIAIS COMPÓSITOS

4.6.1 Ensaios Mecânicos.

Ensaios mecânicos, são operações normatizadas, de extrema importância para a área de engenharia e afins, estes servem para testar as propriedades mecânicas de um determinado lote de materiais, esse procedimento verifica os materiais para observar se as normas estão sendo respeitadas pelo fabricante. Os ensaios dos materiais são de: tração, compressão, impacto, flexão e etc. Esses experimentos são regidos por normas, afim de que qualquer perito em qualquer laboratório destinado para esse fim, possa obter valores de forma singular, no Brasil usa-se as normas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) que é a representante da ASTM (*American Society for Testing and Materials*). Nesse trabalho usaremos duas normas específicas para materiais compósitos e poliméricos, a ASTM D5942 e ASTM D3039.

4.6.1.1 ASTM D 5942 (Ensaio de Impacto).

Figura 25: Modelo de uma máquina de ensaio de impacto.



Fonte: Serafim, (2015).

Essa norma serve como base para ensaios mecânicos do tipo impacto, a mesma direcional, como deve-se proceder para obter a propriedade mecânica de resistência a tenacidade em materiais poliméricos. O modelo de corpo de prova tipo *charpy*, será utilizado nessa metodologia. Para se obter o valor de tenacidade do material que se deseja testar, segue-se os seguintes passos: primeiramente, leva-se o corpo de prova até a máquina de ensaio de impacto, esta é composta por um pêndulo, chamado de martelo, este por sua vez é solto de uma altura pré-estabelecida por um comando do operador, o equipamento é dotado de um marcado onde registra-se a força que o mesmo atingiu o corpo de prova, na figura acima é possível verificar o esquema do ensaio de impacto e todos os seus componentes.

Segundo Serafim, (2015) esse ensaio tem por finalidade mensurar o comportamento mecânico do material em relação ao seu comportamento frágil, já que o experimento consiste na aplicação de carga em velocidade rápida, e por esse fato, o mesmo não apresenta tempo suficiente para absorver a energia, falhando de modo frágil e levando o material ao colapso.

Para Oliveira (2017) de acordo com as confecções dos corpos de prova do material a ser testado, a mesma deve se apresentar na forma de uma peça retangular. A norma fornece as medidas que o corpo de prova deve ter, assim como suas tolerâncias.

De acordo com Oliveira, (2017) *apud* Costa, (2016) os ensaios de impacto *charpy* sem entalhe são realizados conforme os procedimentos da norma e com as dimensões de acordo com o demonstrado esquematicamente na mesma. Para obter os valores desejados usa-se as seguintes equações matemáticas:

$$a_c u = \frac{w}{(h) \times (b)} \times 10^3 \quad (1)$$

Onde:

W = energia absorvida ao quebrar os corpos de prova em J.

h = espessura do corpo de prova, mm.

b = largura do corpo de prova, mm.

Aplicando os valores obtidos no ensaio do material polimérico em questão é possível obter os valores de tenacidade.

4.6.1.2 ASTM D3039 (Ensaio de Tração).

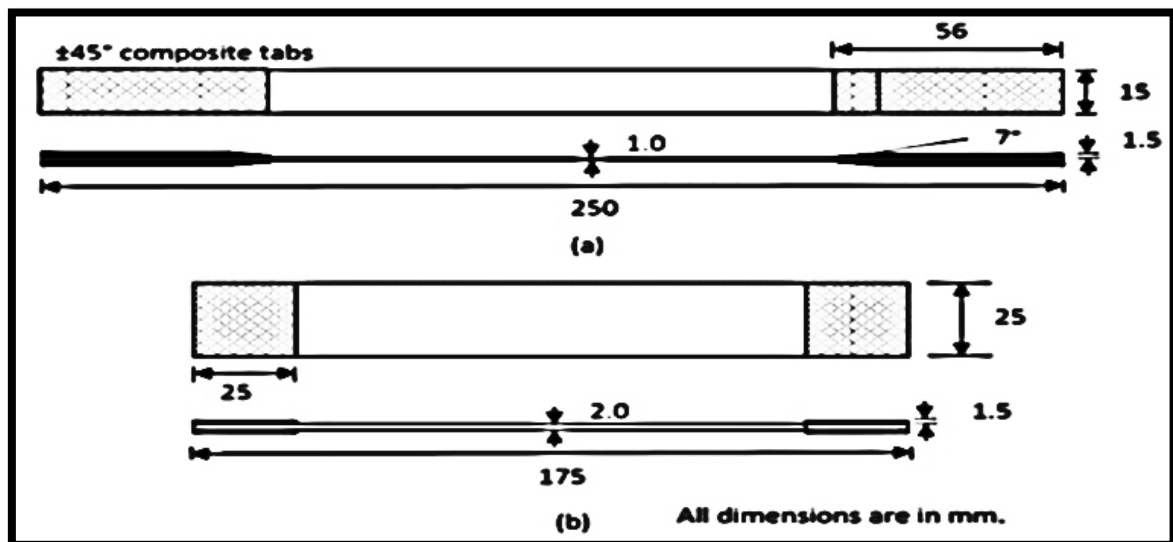
O ensaio de tração para materiais polímeros e compósitos laminados é regido pela norma ASTM D3039, nesta observa-se os passos que devem ser seguidos para a experimentação deste modelo. Neste experimento o corpo de prova é alongado no sentido axial até o momento do colapso. Segundo Mafra, (2018) O experimento é realizado em um corpo de prova de geometria e dimensões preestabelecidas para que os resultados obtidos sejam comparados e ou reproduzidos. O corpo de prova é preso no aparato mecânico afim de ser esticado na direção axial, para se fazer o levantamento das características físicas do material que está sendo ensaiado, o experimento ocorre em baixa velocidade e com esforços solicitantes gradativos. De acordo com (MAFRA, 2018 *apud* NETO, 2016) a carga aplicada no ensaio é mensurada na própria máquina, e, normalmente o ensaio ocorre até a ruptura. Nas palavras de Mafra, (2018) *apud* ASTM D3039, (2000) O teste da norma D 3039 – 76 funciona bem para corpos de prova ‘*orthotropic*’ (que possuem diferentes propriedades em diferentes direções ortogonais), pois eles produzem tensões uniformes na peça.

“A ASTM D 3039/ D 3039 M-00 determina que os corpos de prova tenham uma espessura entre 0,508 a 2,54mm, uma largura de 12,7mm e um vão de no mínimo 12,7 mm para os ensaios de tração longitudinal, ou seja, com as fibras na direção longitudinal. Para os ensaios de tração transversal, ou seja, com as fibras na direção transversal, uma largura de 25,4mm e comprimento útil mínimo de 38,1mm. (ASTM D 3039).

Os tabs são pregados com adesivos nos extremos dos corpos para que as tensões sejam transmitidas das garras da máquina sem danificar os corpos de prova. Os tabs para fixação na máquina de ensaio são de fibra de vidro medindo 60 x 12,75 x 7,4mm para a tração longitudinal e 60x 25,4 x 7,4mm para a tração transversal, sendo colados nas extremidades dos corpos de prova. (ASTM D 3039). MAFRA, 2018 *apud* ASTM D3039,2000, p. 33”

Na Figura 26 observa-se o esquema do corpo de prova, e como este deve ser produzido

Figura 26: Esquema do corpo de prova ASTM D3039.



Fonte: Astm, (2000).

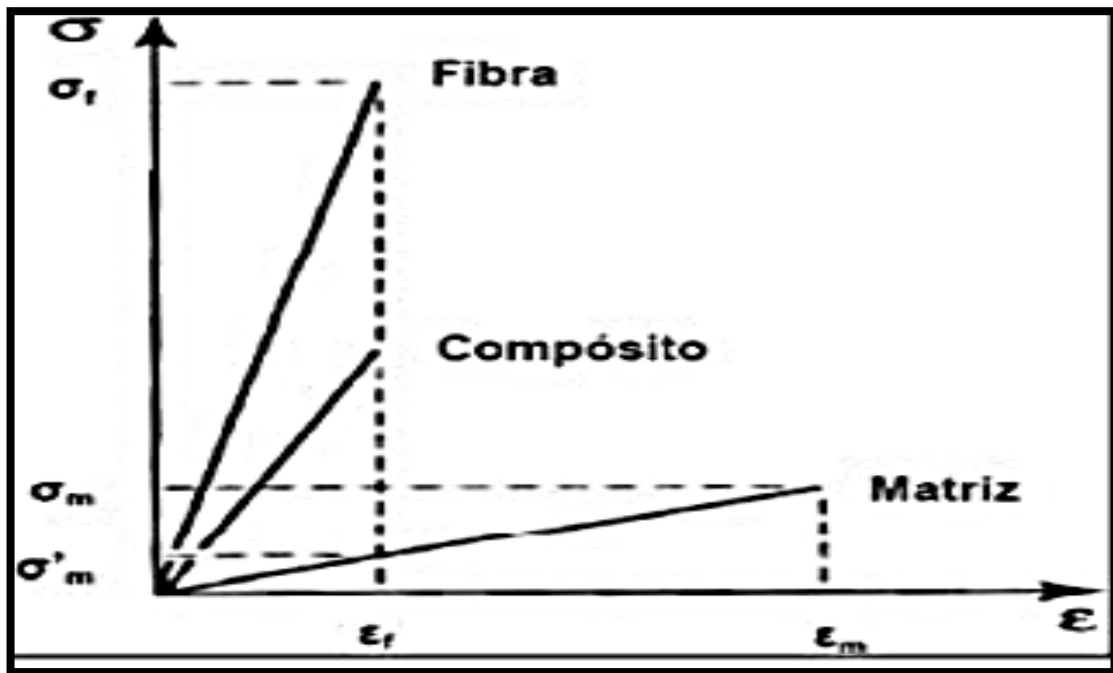
Na produção do corpo de prova são adicionados uma folha de plástico com a finalidade de reduzir as tensões no momento da colagem e distribuir de maneira significativa na superfície do material compósito laminado contra danos. Os tabs são obtidos a partir de laminados de vidro/epóxi, que devido ao baixo módulo de elasticidade do compósito, deformam-se elasticamente distribuindo tensões por uma grande área e absorvendo energia. (ASTM D 3039)

O valor de resistência à tração (σ_C) de um compósito reforçado com fibras curtas pode ser determinado pela equação a seguir, obtida da “Regra das Misturas” que pode ser observada abaixo.

$$\sigma_c = \sigma_s \phi f \left[1 - \frac{l_c}{2l_f} \right] k + \sigma'_m \quad (2)$$

Onde σ_s é o valor da resistência à tração da fibra, a resistência do compósito (σ_c) sofre influência direta de σ_s ; l_f é o comprimento médio do reforço presente no compósito. σ_m é a tensão em tração da matriz para o alongamento na ruptura da fibra. Pode ser calculado graficamente, conforme Figura 27.

Figura 27: Gráfico para o cálculo da tensão em tração da matriz para o alongamento da fibra.



Fonte: Agarwal *apud* Esmeraldo et al.; (2006).

Em posse desse gráfico é possível calcular a tensão de ruptura do compósito da fibra e da matriz, dessa maneira a norma ASTM D3039 nos traz conceito de como proceder mediante a trabalho com fibras naturais.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 MATERIAIS

5.1.1 Matriz polimérica

A matriz polimérica empregada no desenvolvimento desta pesquisa foi a resina poliéster isoftálica insaturada, com catalisador Metil-Etil-Cetona (MEK – D45). Ambos produzidos e comercializados pela empresa CENTERGLASS Resinas e Fibras de vidro LTDA. O catalisador MEK-D45 foi aplicado na proporção 1 % (v/v), de acordo com as observações de Oliveira, (2013) o mesmo conferiu qualidades apreciáveis tais como: boa trabalhabilidade e resistência mecânica aos compósitos produzidos.

Figura 28: Catalisador MEK - D45 e Resina Poliéster Isoftálica.



Fonte: Autor, (2018).

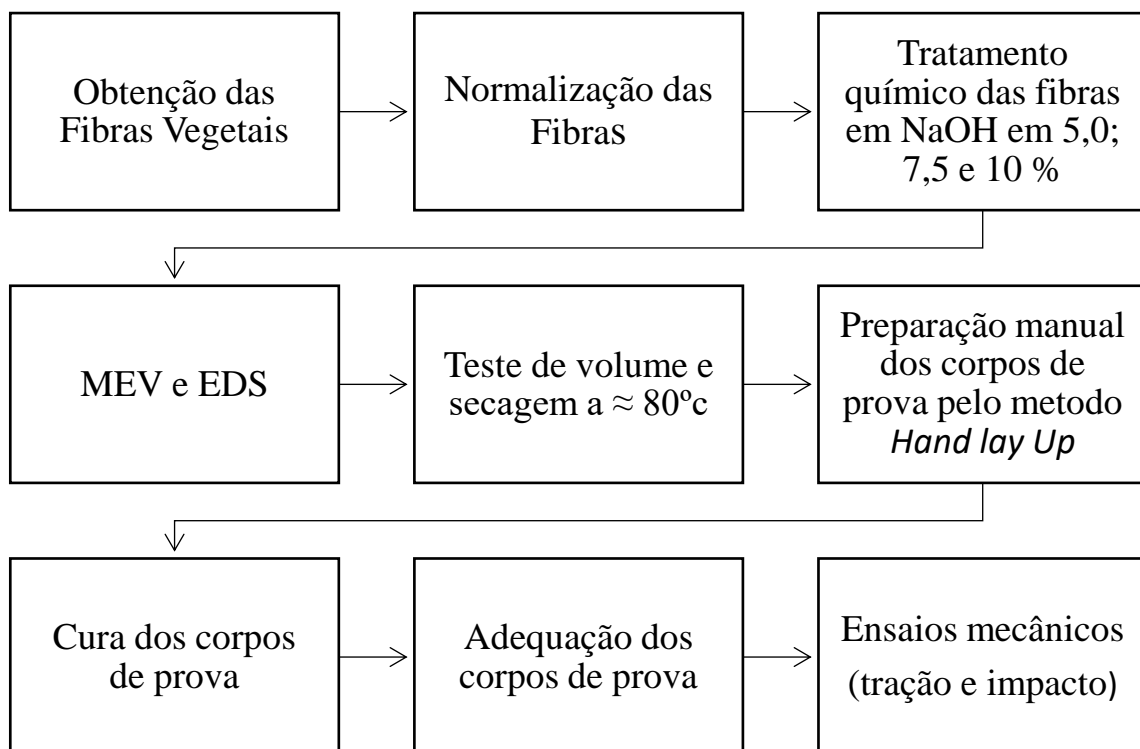
5.1.2 Fibras naturais de algodão brabo (*Cochlospermum*).

As fibras foram extraídas na região sul do Estado Pará nas proximidades da cidade de Itupiranga no km 72 da rodovia federal BR-230 transamazônica, com ajuda de um guia local para o reconhecimento da árvore. Essa fibra foi escolhida devido apresentar grande resistência mecânica de acordo com os moradores locais, ela é retirada e utilizada para amarração de casas na floresta, segundo os locais essa fibra depois que seca (perde a água), torna-se bastante resistente e difícil de soltar tornando está um elo de fixação ideal.

5.2 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

A Figura 29 descreve de maneira simples como ocorreu a pesquisa desde da coleta do material até o ensaio do compósito em questão.

Figura 29: Fluxograma da metodologia aplicada para levantamento das características físicas do compósito estudado fabricados



Fonte: Autor, (2018).

5.2.1 Extração das Fibras de Algodão Brabo

Depois de ter extraído as cascas da árvore estas foram colocadas de molho por aproximadamente 10 dias, para facilitar a extração da fibra da casca, após decorrido o período, as fibras começaram a se soltar do caule de forma espontânea, facilitando a retirada das mesmas. Depois desse procedimento foram levadas sob a luz do sol e subsequentemente foram normalizadas para serem confeccionados os corpos de prova.

Figura 30: fibras de algodão bravo normalizadas, com as dimensões $\approx 10\text{mm}$ de largura e 382mm de comprimento.



Fonte: Autor, (2018).

Figura 31: fibras de algodão brabo extraída do caule após 10 dias descansando em água.

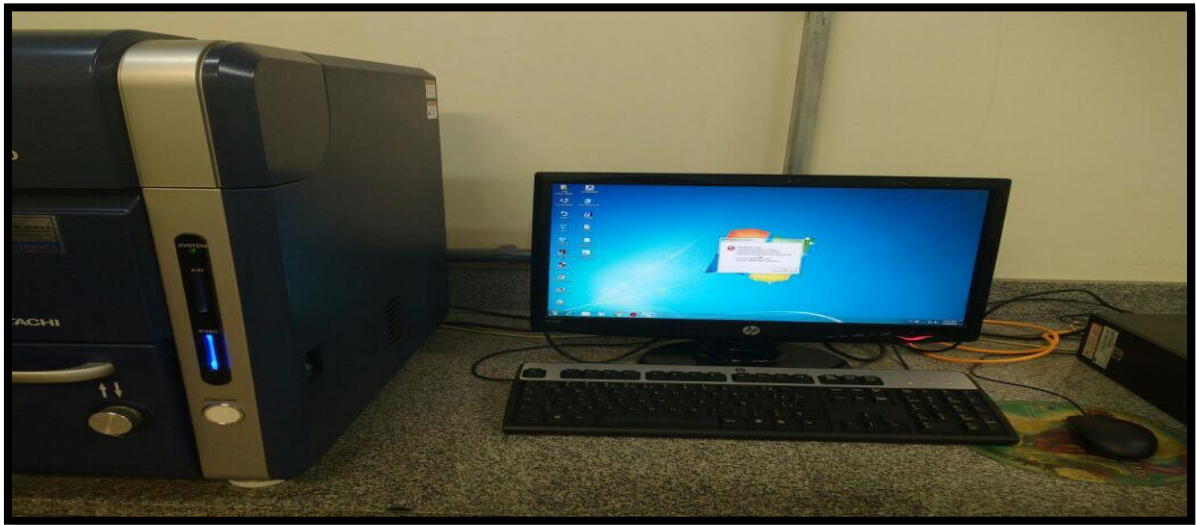


Fonte: Autor, (2018).

5.2.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Espectroscopia de Difração de raios-x por Dispersão de Energia (EDS).

As análises de microscopia eletrônica de varredura foram produzidas nas dependências do Laboratório de Caracterização Microestrutural do Instituto de Geociências e Engenharias da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará no campus II. No equipamento de bancada da marca HITACHI (modelo Tm. 3000), este pode ser verificado na Figura 32.

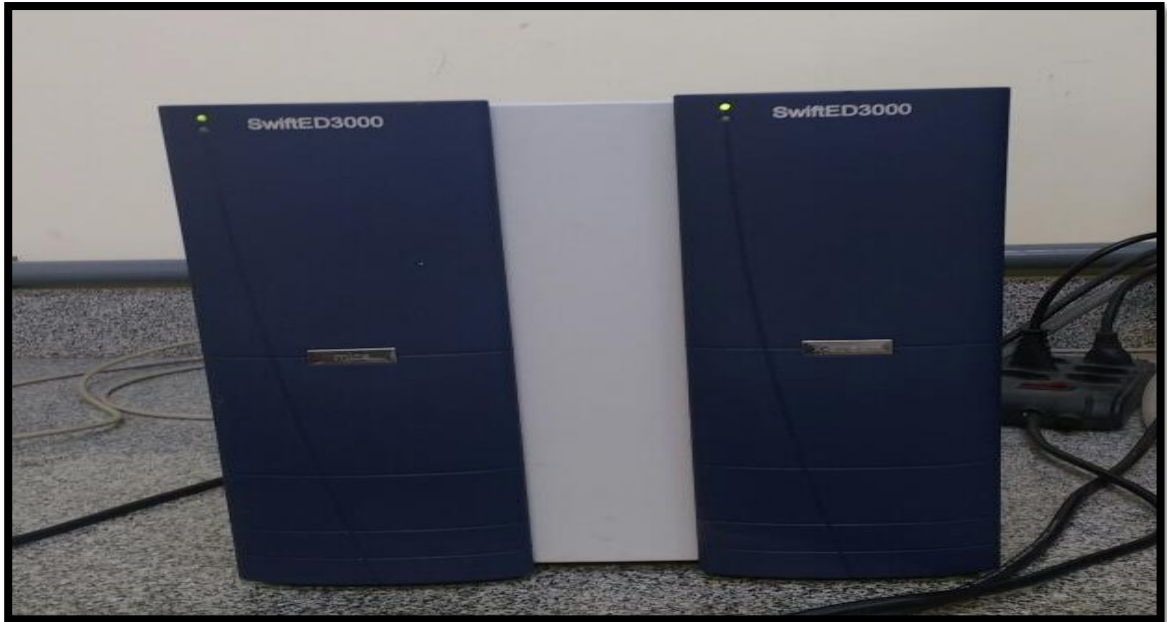
Figura 32: Equipamento para MEV de bancada da marca HITACHI (modelo TM 3000).



Fonte: Autor, (2018).

Foram coletadas amostras de toda a superfície das fibras, onde as imagens foram geradas por elétrons secundários de um filamento de tungstênio de 15 kV. A espectroscopia de energia dispersiva de raios-x (EDS), é uma técnica de mensuração analítica empregada para a análise dos elementos que constituem a amostra. Suas capacidades de caracterização são devidas porque cada elemento se comporta de forma única, ou seja, quando são excitados apresenta faixas de range que podem ser captados pelo equipamento de varredura.

Figura 33: Equipamento para análise de raios-x por dispersão de Energia (EDS).



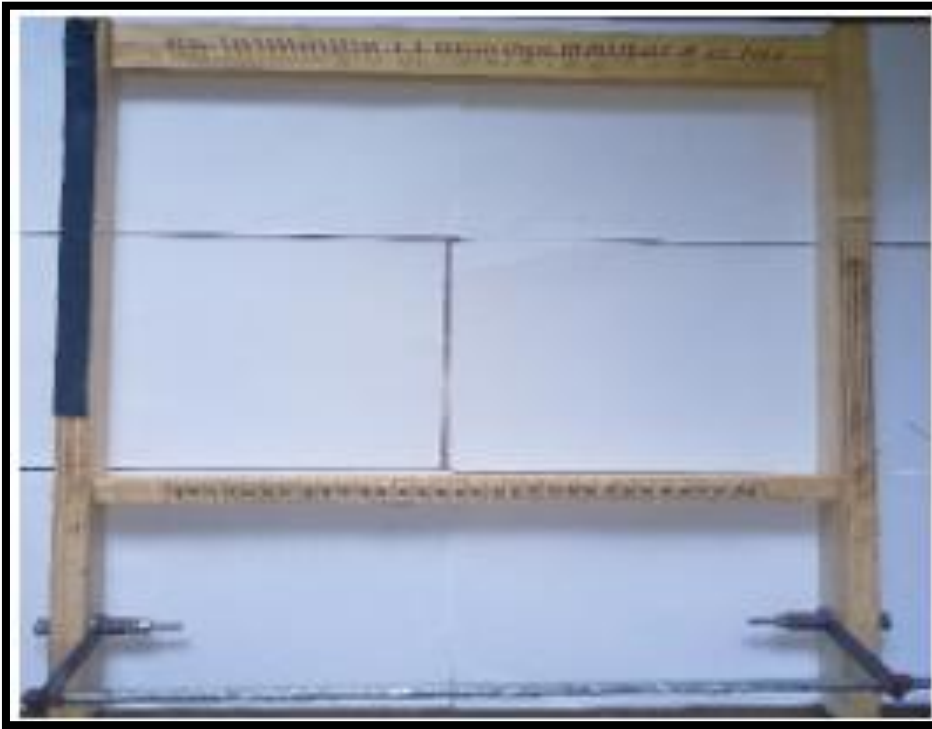
Fonte: Autor, (2018)

A análise foi feita para observar os detalhes da região da superfície das fibras, por meio de espectroscopia de energia dispersiva (EDS), marca OXFORD (modelo Swift ED3000), para identificar fases presentes.

5.2.3 Tear

O Tear é um equipamento mecânico utilizado para fins de tecelagem, com a finalidade de fabricar tecidos, malhas, tapetes, etc. Nessa pesquisa, o tear foi empregado para a fabricação dos tecidos de fibras assim como para o alinhamento das mesmas, para posterior produção dos corpos de prova de acordo com a norma ASTM D3039. O emprego do tear é de suma importância pois este torna as fibras alinhadas tal qual a norma descreve, todavia, esse procedimento é muito demorado, mas ainda é o mais eficiente, na Figura abaixo observa-se o aparato mecânico.

Figura 34-Tear, aparato experimento utilizado nesse trabalho para confeccionar as mantas.



Fonte: Autor, (2018).

5.2.4 Hidróxido de Sódio (NaOH)

O hidróxido de sódio utilizado neste trabalho foi o NaOH P.A. com 98% de pureza, aqui preparou-se três concentrações afim de realizar um tratamento químico na fibra, as concentrações empregadas nessa pesquisa foram as seguintes: 5,0%; 7,5% e 10% de NaOH em solução.

5.2.5 Mercerização (tratamento químico das fibras com NaOH).

Inicialmente fez-se uma pesquisa nas literaturas para criar as condições ideais para o procedimento de mercerização, essa técnica consiste em mergulhar as fibras sejam elas de origem vegetal ou animal, em uma solução que pode ser de natureza ácida ou básica, nesse caso, foi aplicado uma solução alcalina. Essa técnica tem como finalidade principal, extrair matéria orgânica a fim de melhorar a interação entre fibra e matriz, os compostos retirados da fibra são a lignina e a n-celulose, de acordo com as literaturas pesquisadas, uma leve diminuição da lignina pode melhorar de maneira significativa a adesão entre a fibra e a matriz polimérica,

traduzindo de forma significativa em ganho de propriedades mecânicas, como maior módulo de elasticidade e elevação da tenacidade.

Nesse trabalho foram definidas três concentrações, a fim de se observar qual apresentará melhor desempenho, definiu-se as seguintes molaridades de NaOH (hidróxido de sódio), 5,0%; 7,5% e 10%, depois de definidas as concentrações, fez os cálculos para 1000ml de solução para cada molaridade, onde usando uma regra de três simples, obteve-se 50 gramas de NaOH para a concentração de 5,0%; 75 gramas de NaOH para 7,5% e 100 gramas de NaOH para a concentração de 10%.

Em seguida as soluções foram transferidas para recipientes com as fibras de algodão brabo em banho maria em uma temperatura de aproximadamente 70°C por 3 horas, abaixo observa-se a imagem desse procedimento

Figura 35: Fibras em seus recipientes com suas respectivas soluções de NaOH em várias concentrações, banho-maria.



Fonte: Autor, (2018).

Depois de 3 horas de molho em uma temperatura de 70°C nas respectivas soluções, retirou-se todas as fibras, onde foram lavadas até atingir um PH próximo do neutro, e logo após foram levadas para secagem natural por 24 horas no laboratório de compósitos. Depois do ocorrido deu-se início a fabricação dos pré-pregs, ou seja, as mantas.

5.2.6 Confeção das Pré-pregues.

Após as operações necessárias realizadas nas fibras, tais como: normalização, secagem e mercerização, deu-se início a fabricação das mantas (pré-pregs) com auxílio do tear, este serve para alinha as fibras formando ao final do processo uma espécie de manta com as fibras, para alinha essa fibras utilizou-se fios de Sisal que não tem nenhuma interferência no compósito final, este serve apenas para unir uma fibra na outra para facilitar procedimentos futuros que serão feitos com essas mantas, essa linha é disposta pela tear em uma distância de 4 cm de um fio para outro, onde tem-se fios que ficam fixo e outros moveis, esses fios fixo e moveis tem a função de entrelaçar a manta, com isso permite-se que os fios passem por cima e por baixo da fibra, é de suma importância relatar que o primeiro e último fio deverão ser fixos. Abaixo observa-se o esboço dessa técnica.

Figura 36: (a) amarração da manta, (b) manta pronta e (c) tamanho da manta usual.



Fonte: Autor, (2018).

5.2.7 Fabricação dos materiais compósitos.

Os materiais compósitos produzidos para este trabalho seguiram de maneira fiel as normas ASTM D3039 (ensaio de tração) e ASTM D5924 (ensaio de impacto). Para fibras alinhadas, abaixo serão apresentados o passo-a-passo do processo de fabricação das placas de compósito onde se empregou a técnica *hand-up* para produção dos compósitos.

ETAPA 1: Adequação do tamanho e pesagem das pré-pregs:

Nessa etapa as pré-pregs são dimensionados tomando como referência o tamanho da peça de madeira que auxiliaram na prensagem dos compósitos, para logo em seguida as mesmas passam por uma pesagem, com o seu peso aferido o mesmo é levado para a secagem em uma estufa por um período de 10 minutos, isso para que, ocorra uma eliminação total da umidade que se encontra presente nas fibras. Em seguida realizou-se novamente a pesagem, tem-se então o peso inicial e final da pré-preg das fibras. As Figuras 37, ilustram como são conduzidos os procedimentos de ajuste e pesagem das pré-pregs, que irão ser empregadas na confecção das placas de compósitos em: a) Pré-preg de fibra de Algodão brabo; b) Marcação para o corte; c) Corte da pré-preg; d) Pré-preg dimensionada ao tamanho da placa de madeira; e) Pesagem da pré-preg e f) Secagem da pré-preg.

Figura 37: (a), (b), (c), (d), (e) e (f). Procedimento de ajuste e pesagem das pré-pregs de fibras.

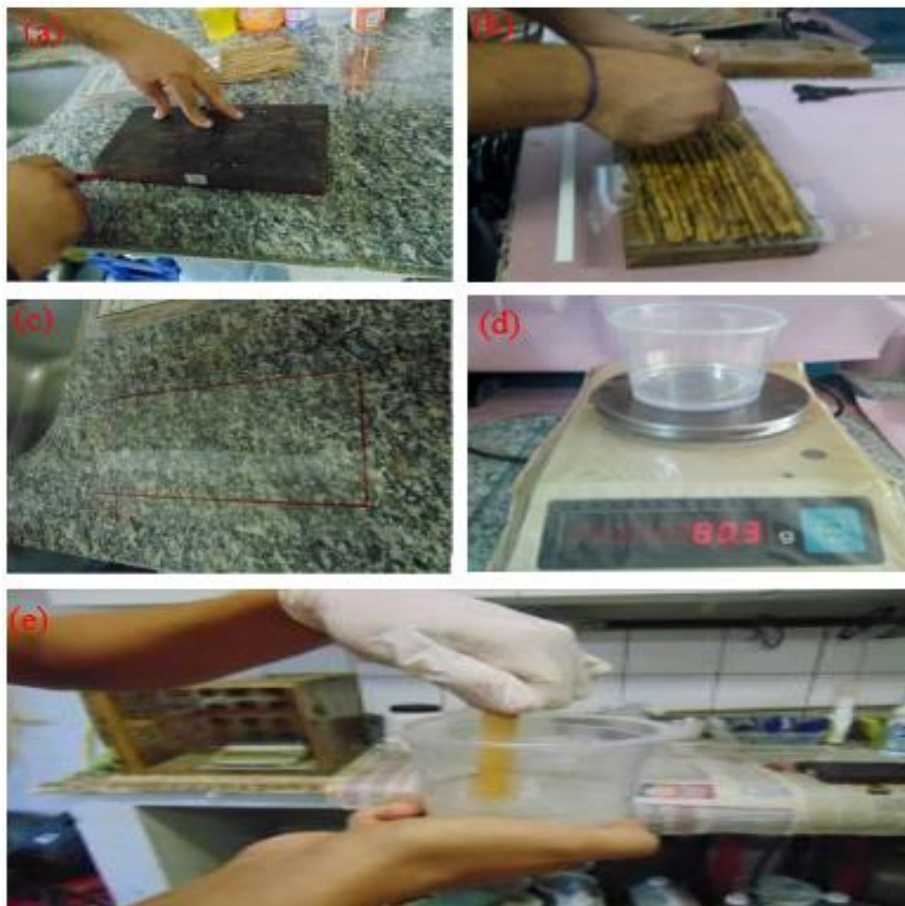


Fonte: Autor, (2018).

ETAPA 2: Preparação para produção das Placas de Compósitos:

Nessa fase de produção, as pré-pregs já estavam prontas para seguir para próxima operação, sendo o passo seguinte, a marcação de uma lâmina de transparência, que receberá a resina e auxiliará no desmolde da placa de compósito, nesta fase, também são aferidos a resina e o catalisador, que serão empregados na confecção das placas de compósito. A quantidade de resina utilizada nas pré-pregs para a preparação do compósito é de exatamente 81 gramas e quantidade exata de catalisador é de 0,60 gramas. Uma mistura entre catalisador e resina foi realizada, sendo este um processo preciso e rápido. Realizado tal procedimento de mistura entre catalisador e resina, a mesma encontra-se pronta para ser empregada na fabricação das placas. A Figura 38 ilustra cada fase da etapa de preparação para confecção das placas.

Figura 38: (a) Marcação da região útil da transparência; (b) e (c) Delimitação da Região útil da transparência para confecção das placas; (d) Pesagem da Resina e do Catalisador e (e) Mistura da Resina e do Catalisador.

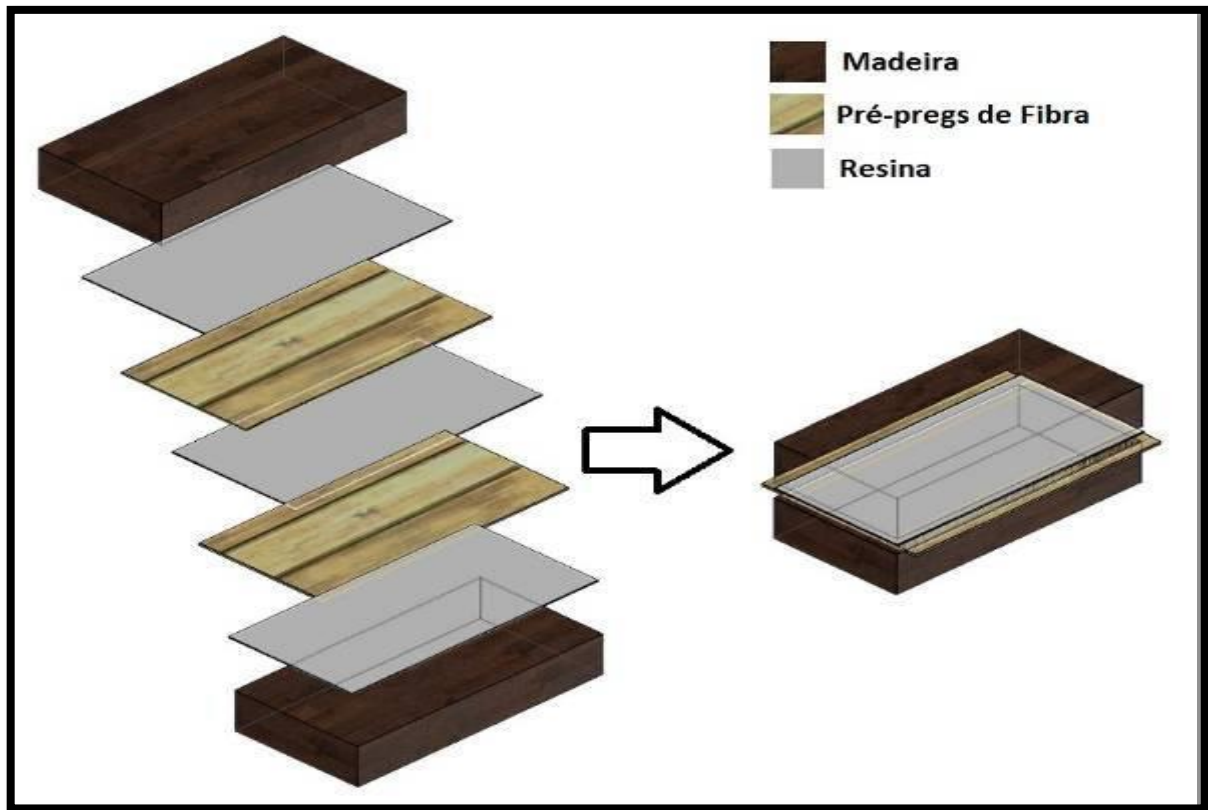


Fonte: Autor, (2018).

ETAPA 3: Fabricação das placas de compósitos a partir de pré-pregs de fibras.

Nesta etapa são montadas as placas de compósitos com as pré-pregs de fibras. O esquema mostrado na Figura 39 explana a montagem de fabricação das placas de compósitos a partir das pré-pregs das fibras

Figura 39: Esquema de montagem das placas com mantas de fibras naturais.



Fonte: Mafra, (2018).

A montagem iniciou-se com a pesagem e colocação da primeira camada de resina na superfície da transparência, a resina está espalhada por toda superfície dimensionada da transparência, para em seguida ser colocada a primeira pré-preg de fibra que é umedecida pela resina a partir de uma pequena pressão exercida com auxílio de uma espátula, conforme mostrado na Figura 40 a), b), c), d) e e).

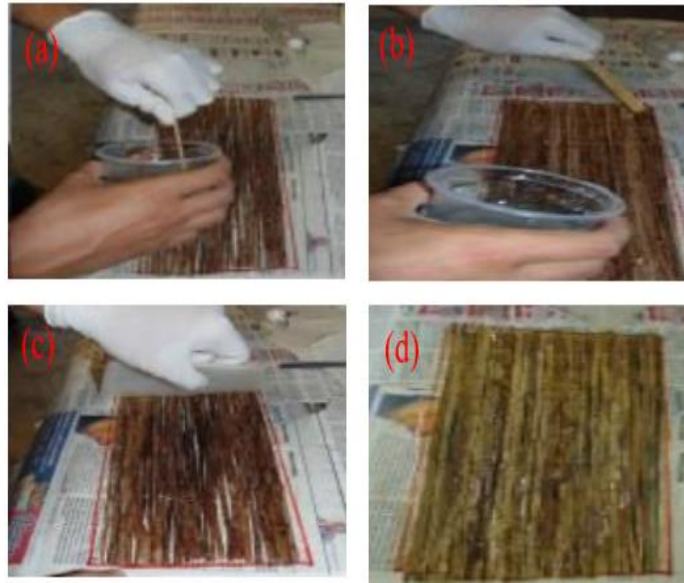
Figura 40: (a), (b), (c), (d) e (e). Resina e Transparência



Fonte: Mafra, (2018).

O próximo passo foi a colocação da segunda camada de resina e anexação da segunda pré-preg de fibra, seguindo o roteiro do procedimento anteriormente explicado, conforme pode ser visualizado na Figura 41 a), b), c) e d).

Figura 41: (a), (b), (c) e (d). Molhamento das mantas pela mistura de resina e catalisador.



Fonte: Mafra, (2018).

Logo após a última camada de resina é despejada na área demarcada da segunda transparência para então ser acoplada no dispositivo de montagem do compósito que será fixada com uma placa de madeira maciça para que então possa ser aplicada a pressão no compósito que é de 0,5 MPa. As Figura 42 a), b), c), d), e) apresentam o procedimento de fabricação do compósito das fibras. Após 1 (uma) hora de aplicação da pressão a placa de compósito é retirada da prensa, para então passar por uma cura a temperatura ambiente por um período de 7(sete) dias, A Figura 43 apresentam as placas de compósito de algodão brabo pronto.

Figura 42: (a), (b), (c), (d), (e). Procedimento de Fabricação das compósitos.



Fonte: Autor, (2018).

Figura 43: Placa de compósito de Algodão Brabo com resina de poliéster, pronta após uma semana de cura.

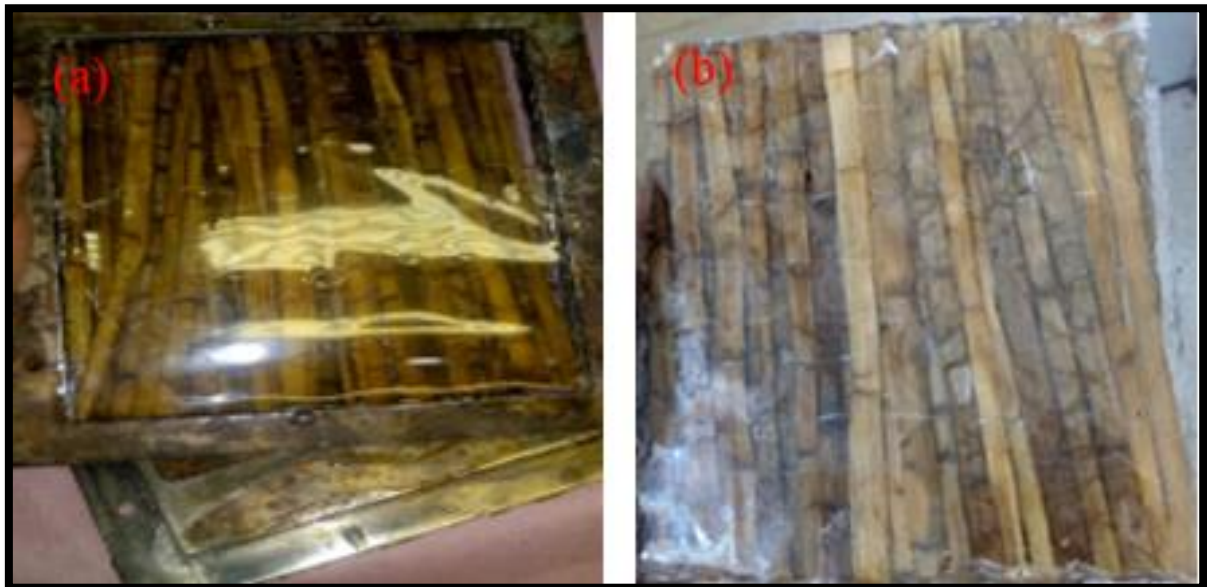


Fonte: Autor, (2018).

ETAPA 4: Produção dos corpos de prova de impacto segundo a norma ASTM D5942.

Para produção de corpos de prova alinhados nessa norma, fez-se uso de um molde metálico, onde utilizou-se duas mantas, estas por sua vez foram cortadas ao meio no sentido longitudinal, em perfeita simetria. Dessas duas mantas obteve-se quatro mantas menores, isso para poder obedecer aos critérios da norma, que explanam que os corpos de prova modelo *charpy* devem atender uma altura mínima que é por volta de 10 milímetro. Aqui nessa fase segue os passos que foram empregados na etapa 2, a diferença para esse modelo de corpo de prova fez-se uso de 123 gramas de resina e 0,9 de catalizador e não fez uso da prensa tal qual para a norma ASTM D3039, nas Figuras 44 observa-se a imagem do procedimento.

Figura 44: Molde metálico para produção de corpo de prova *charpy* segundo a norma ASTM 5942, (a) manta de algodão bravo mais resina; (b) placa do compósito pronto.



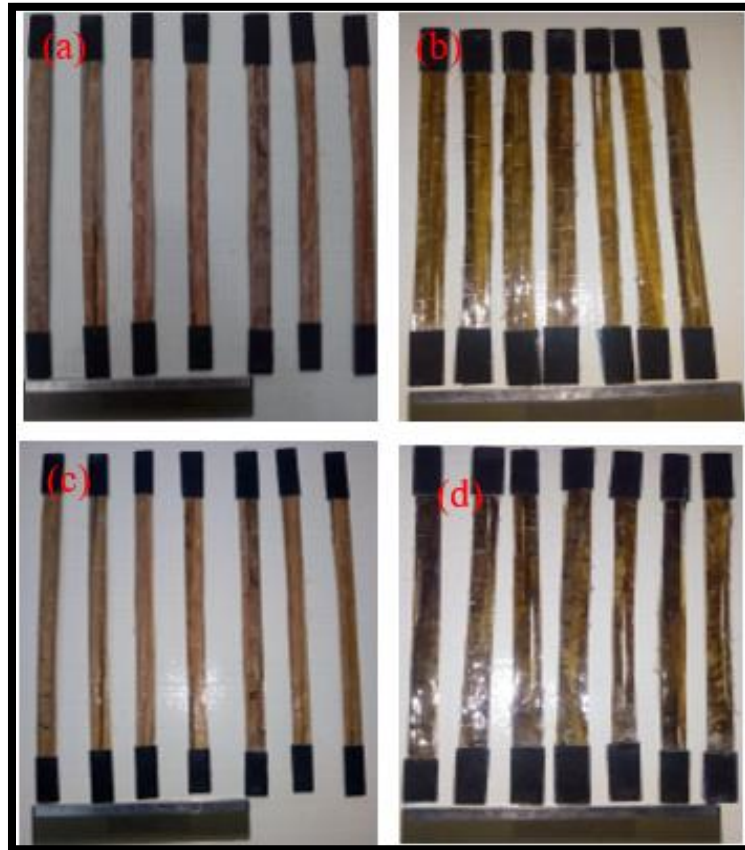
Fonte: Autor, (2018).

ETAPA 5: Normalização dos corpos de prova.

A normalização dos corpos de prova de tração e impacto respectivamente segundo as normas ASTM D3039 e ASTM D5942, nessa fase realiza-se a adequação das placas de compósito depois das mesmas serem submetidas pelo processo de cura de 7 (sete) dias, as placas são cortadas nas dimensões estabelecidas pelas normas ASTM D3039 para tração e ASTM D5942 para impacto, foram produzidos 16 (dezesesseis) corpos de provas para cada uma das três concentrações propostas segundo a norma ASTM D3039 e 24 (vinte e quatro) corpos de provas para cada uma das concentrações propostas na pesquisa de acordo a norma ASTM D5942 os

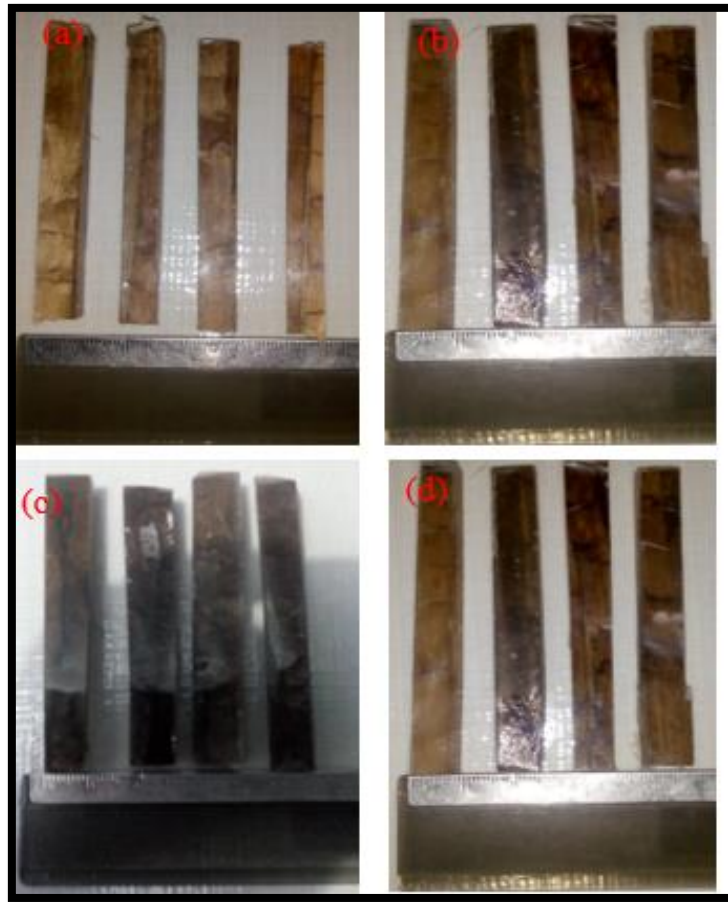
mesmos foram cortados com o auxílio de uma serra circular. As Figuras 45 e 46 a), b), c) e d) mostram os corpos de prova de tração e impacto respectivamente produzidos.

Figura 45: corpos de prova para tração axial segundo a norma ASTM D3039, (a) sem tratamento químico; (b) mercerizada com 5,0% de NaOH; (c) tratada com 7,5% NaOH e (d) tratada com 10% de NaOH.



Fonte: Autor, (2018).

Figura 46: Corpos de prova de impacto segundo a norma ASTM D5942, (a) fibra sem tratamento químico; (b) com 5,0% de NaOH; (c) com 7,5% de NaOH e (d) com 10% de NaOH.



Fonte: Autor, (2018).

5.2.8 Ensaio de tração axial dos materiais compósitos.

A avaliação de tração dos compósitos foi realizada segundo as normas ASTM D 3039:2000. Os experimentos foram reproduzidos no aparato experimental de ensaio universal modelo EMIC DL 10000, com célula de carga de 5 kN, que pertence ao Laboratório de Ensaios Destrutivos (LED) da Faculdade de Engenharia de Materiais que se encontra nas dependências da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, este pode ser observado na Figura 47.

Figura 47: Máquina universal de ensaios EMIC, modelo DL - 10.000



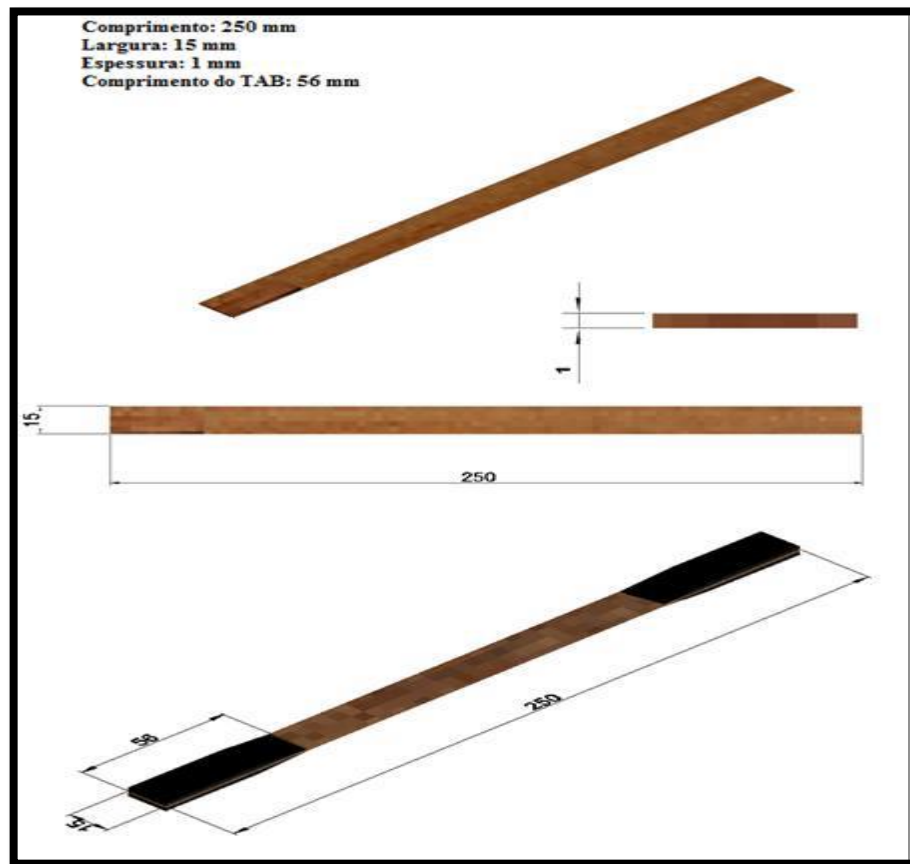
Fonte: Autor, (2018).

5.2.9 Compósitos com fibras consecutivas e alinhadas.

A avaliação de tração com fibras contínuas e alinhadas obedeceu a norma ASTM D 3039:2000, a uma velocidade constante de experimento de 2 mm/min e os corpos de prova obedecem às dimensões como mostrado de forma sistemática na Figura 48.

Para este experimento foram produzidos 16 corpos de prova de cada concentração que as fibras de Algodão Brabo que sofreram. Na Figura 50 observa-se a montagem para realização do ensaio na máquina universal de ensaios da marca EMIC DL 10000.

Figura 48: Ilustração esquemática das dimensões do corpo de prova segundo a norma ASTM D 3039.



Fonte: Mafra, (2018).

Para este experimento foram produzidos 16 corpos de prova de cada concentração que as fibras de Algodão Brabo que sofreram. Na Figura 49 observa-se a montagem para realização do ensaio na máquina universal de ensaios da marca EMIC DL 10000.

Figura 49: Aparato experimental para o ensaio de materiais compósitos, célula de carga de 5kN.

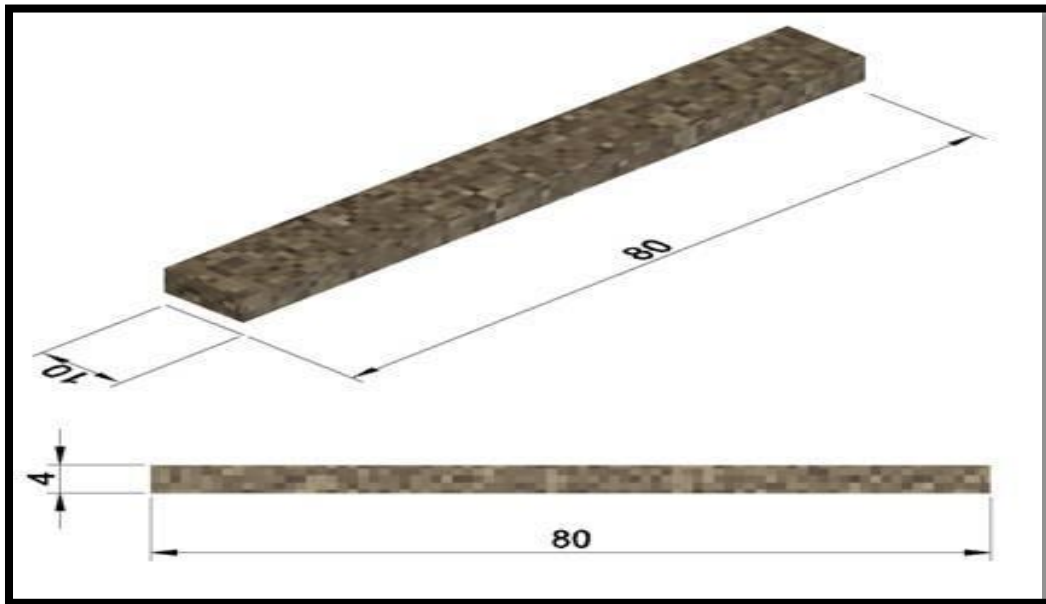


Fonte: Autor, (2018).

5.2.10 Ensaio de Impacto dos Materiais Compósitos.

O ensaio de impacto *charpy* foi reproduzido seguindo de maneira fiel a norma ASTM D5942, nesse trabalho as fibras foram colocadas de maneira alinhadas e consecutivas, na Figura 50 observa-se as dimensões que foram empregadas nos corpos de prova.

Figura 50: Medidas do corpo de prova de impacto segundo ASTM D5942.



Fonte: Mafra, (2018).

Para esse experimento foram confeccionados 24 corpos de prova de cada concentração de mecerização que a fibra de algodão brabo foi submetida, no total foram três concentrações mais a fibra sem tratamento químico. No ensaio de impacto a força solicitante é empregada na forma de esforços por colisão (dinâmicos), sendo o impacto mensurado por meio do caimento de um martelo ou pêndulo, de uma altitude determinada, sobre o corpo de prova a ser ensaiado. Os valores foram mensurados após a ruptura ou deformação do corpo de prova. O aparato experimental tem à disposição uma escala em joules para anotação da energia utilizada para deformação ou colapso do corpo de prova. A Figura 51 mostra a) equipamento de ensaio de impacto *Charpy*, modelo JB – 300B com resolução de escala de 1 J, b) corpo de prova alocado no local do ensaio e c) alguns corpos de prova de impacto, do Laboratório de Ensaio Destrutivos da Faculdade de Engenharia de Materiais (FEMAT) nas dependências da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará.

Figura 51: Observa-se (a) máquina de ensaio de impacto Charpy; (b) montagem do corpo de prova no dispositivo de ensaio e corpos de prova em conformidade com a norma ASTM D5942 e (c) corpos de prova prontos para o ensaio de impacto.



Fonte: Autor, (2018).

5.2.11 Análise do Aspecto Fractográfico

As observações das características fractográficas foram realizadas logo após os ensaios mecânicos. As superfícies colapsadas dos corpos de provas, foram minuciosamente analisadas de maneira a se pesquisar os mecanismos que corroboram para a falha de cada composição de séries obtidas. A morfologia da topografia da superfície de fratura foi examinada com o auxílio de uma Lupa de Microscopia eletrônica portátil AIBOULY com o aumento de 500x, na figura abaixo observa-se, a mesma.

Figura 52: Lupa de Microscopia eletrônica portátil AIBOULY 500x



Fonte: Aliexpress, (2018).

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.3.1 AVALIAÇÃO DA EXTRAÇÃO E PREPARAÇÃO DAS FIBRAS

As etapas de obtenção das fibras estão descritas no tópico 4.2.1, após a normalização das fibras que ficaram com uma dimensão de 35 milímetro de comprimento por 15 milímetro de espessura 1 milímetro de altura, as mesmas foram levadas para a mercerização onde ficaram submersas em 3 concentrações diferentes de NaOH por três horas em uma temperatura de 70°C como estar bem explanado no item 4.5.

Em relação as fibras de Algodão Brabo podem-se indicar fatores que fazem esta ter uma boa trabalhabilidade: 1º) apresenta-se em abundância sul do Estado Pará; 2º) é de fácil extração do caule, uma vez que essa retirada não danifica a árvore, 3º) é uma fibra que é bastante maleável mesmo depois seca, assemelhando-se a um tecido de linha.

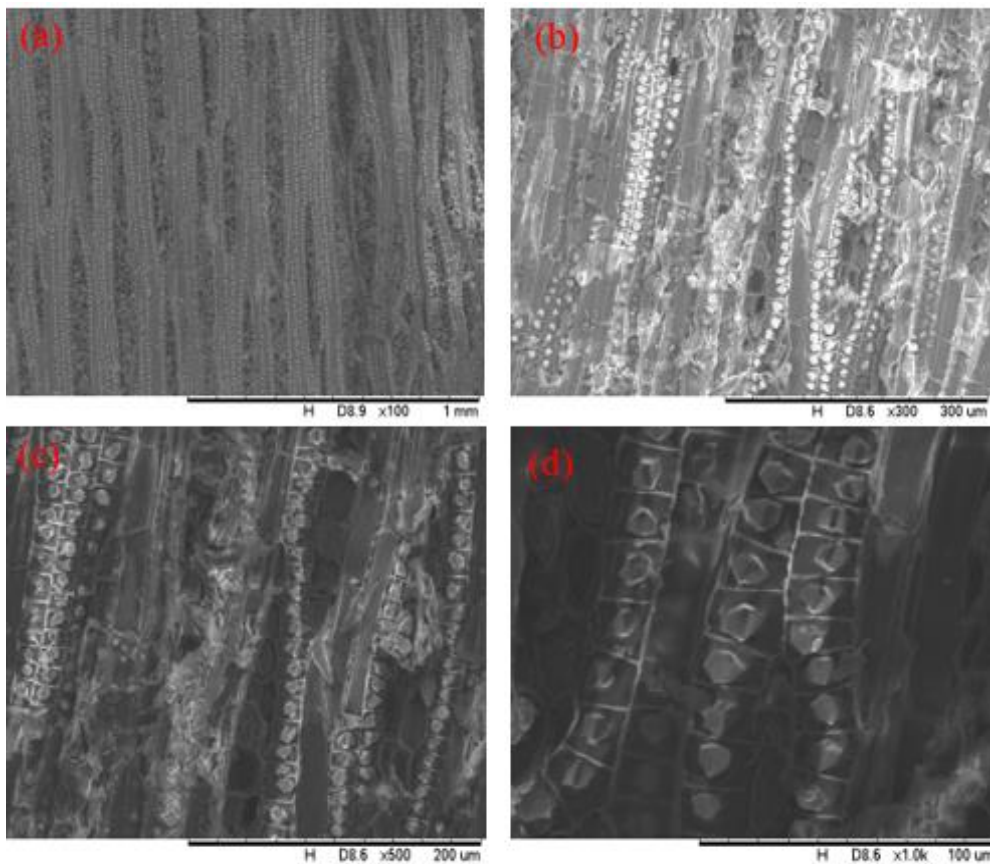
5.3.2 MEV E EDS DAS FIBRAS COM E SEM TRATAMENTO.

A análise das fibras de algodão brabo com e sem mercerização foram realizadas com a técnica de microscopia eletrônica, nos tópicos abaixo serão explanados a análise microscópica das três concentrações que as fibras sofreram mais a sem tratamento químico.

Fibra sem tratamento de mercerização com NaOH, MEV.

Essa fibra não sofreu nenhum processo químico apenas foi colocada na água para que pudesse ser retirada do caule da árvore, abaixo observa-se micrografia da mesma.

Figura 53: Morfologia da fibra de Algodão Brabo sem tratamento de mercerização, a) aumento de 100x, b) aumento de 300x, c) aumento de 500x e d) aumento de 1000x.



Fonte: Autor, (2018).

As fibras de algodão brabo apresentam rugosidade apreciável, cavidades, microcavidades e depressões na sua superfície, a topografia apresenta relevos e vazios. Estes podem ser oriundos do processo de extração da mesma, no momento do corte do caule onde está se encontrava, devido ser um material anisotrópico, a mesma apresenta fragilidade no sentido transversal, causando fragilidade internamente na microestrutura. É importante explicar que a fibra em questão apresenta boa rugosidade, essa característica auxilia na adesão fibra/matriz. De maneira geral as fibras são constituídas de microfibrilas unidas entre si, como pode-se constata na Figura 53, gerando uma certa resistência mecânica dependendo da fibra.

Segundo Mafra, (2018) *apud* Costa, (2012) as fibras pesquisadas apresentam microestrutura tal qual às demais fibras vegetais oriundas do caule; em sua porção microestrutural pode-se dar enfoque ao elevado percentual das microfibrilas de celulose (fibras elementares) corroborando para resultados apreciáveis nas propriedades físicas das mesmas.

Fibra sem tratamento de mercerização com NaOH, EDS.

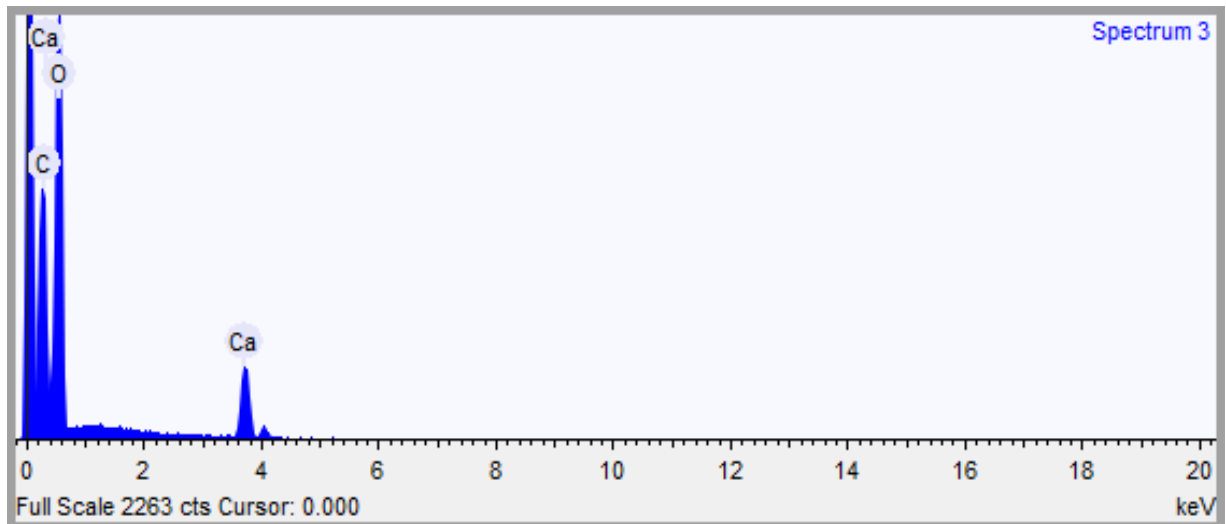
Os elementos químicos que foram mensurados na análise de EDS compõem parte da nutrição das árvores da flora de modo geral, e são anexadas pela atmosfera ou pelo solo, estes compõem o ciclo químico que envolve o processo de obtenção de alimento da planta. De acordo com Oliveira, (2018) os elementos químicos carbono (C), hidrogênio (H) e oxigênio (O) fazem parte dos macronutrientes orgânicos das plantas, os quais contribuem para maior massa da planta, pelo fato de serem abundantes na natureza. De acordo com Oliveira, (2018) *apud* Malavolta, (1976) cálcio encontrado nas cargas tem função de reforçar a estrutura da planta e é integrante da parede celular. A figura 54 mostra os espectros de EDS.

Tabela 3: Percentuais de cada elemento da análise para as cargas de Algodão Brabo sem mercerização.

Elemento	Carbono %	Oxigênio %	Calcio %
concentração	28,411	66,084	5,505

Fonte: Autor, (2018).

Figura 54: Espectro de EDS da Fibra de Algodão Brabo sem tratamento químico.

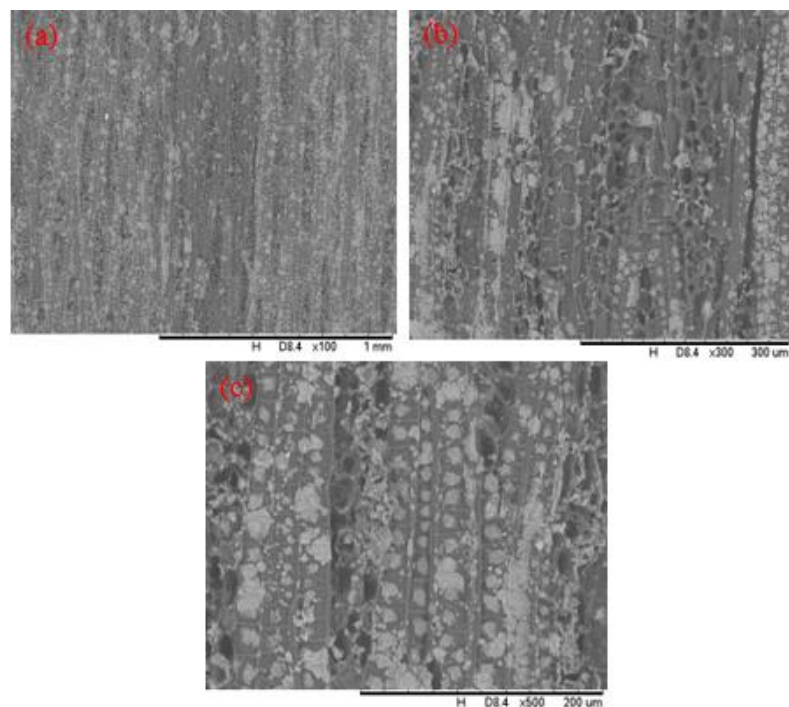


Fonte: Autor, (2018).

Fibra de Algodão Brabo mercerizada com 5,0% NaOH, MEV.

Nessa etapa, as fibras selecionadas de algodão brabo passaram por uma digestão química afim de se retirar matéria orgânica da fibra, para tentar melhorar a adesão fibra matriz, na imagem de microscopia da Figura 55 pode-se observar que há uma leve diferença se comparada a Figura 53, que se encontra em in natura.

Figura 55: Morfologia da fibra de Algodão Brabo com tratamento de mercerização a 5,0% NaOH, a) aumento de 100x, b) aumento de 300x, c) aumento de 500x



Fonte: Autor, (2018).

Observa-se que houve uma leve diminuição nos pontos brancos, estes por sua vez, fazem parte da estrutura celular da planta, conferindo-lhe força e rigidez, de acordo com as literaturas pesquisadas, quanto mais se retira de lignina de uma planta, tende-se a melhorar a interação entre fibra/matriz, tornando-o compósito bem mais coeso, do que um compósito cuja a fibra que não foi submetida por tratamento químico. Segundo Climaco et al., (2009) a solução caustica em contato com a fibra de origem vegetal, consegue retirar de maneira significativa a lignina e hemicelulose, componentes estruturais das plantas de modo geral, essa afirmação é observada nessa imagem, comparada com da Figura 53.

Fibra com tratamento de mercerização 5,0 % de NaOH, EDS.

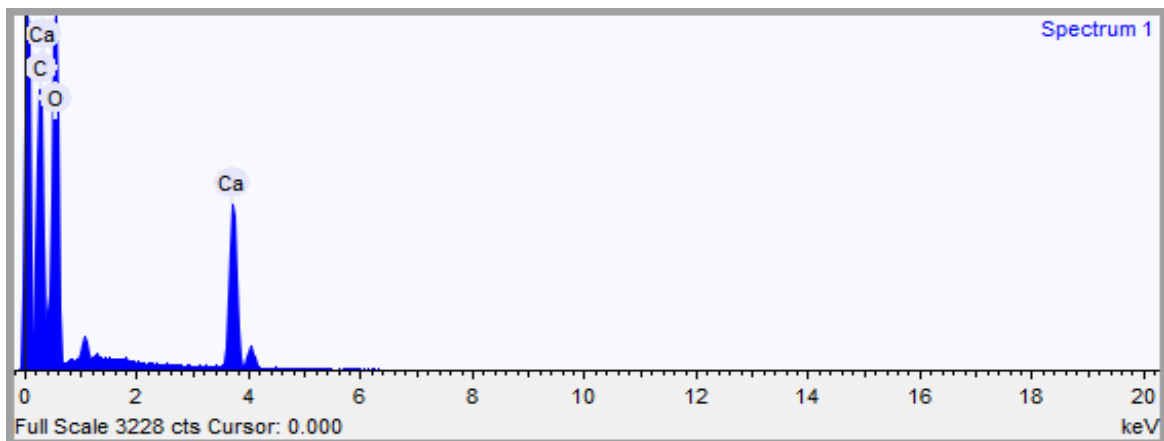
Abaixo observa-se a Tabela 4 com os elementos químicos presente nessas fibras após o tratamento químico.

Tabela 4: Percentuais de cada elemento da análise para as cargas de Algodão Brabo mercerizado a 5,0% NaOH.

Elemento	Carbono	Oxigênio	Calcio
Concentração	28,178	61,039	10,784

Fonte: Autor, (2018).

Figura 56: Espectro de EDS da Fibra de Algodão Brabo mercerizado a 5,0 % NaOH.

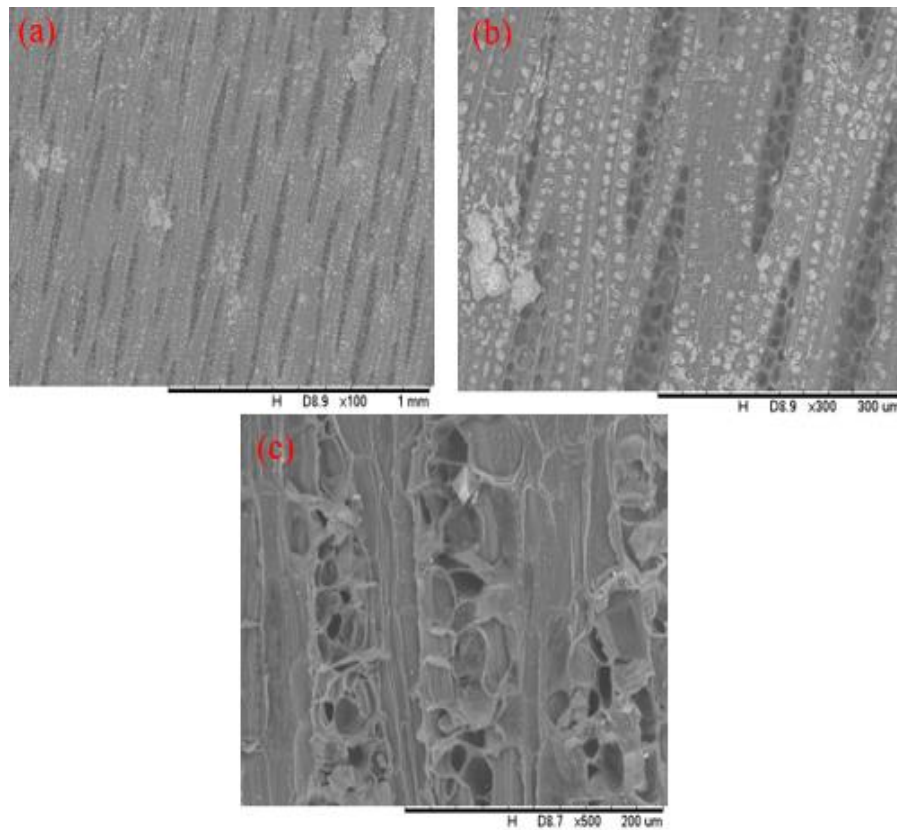


Fonte: Autor, (2018).

Fibra de Algodão Brabo mercerizada com 7,5% NaOH, MEV.

Aqui observa-se as imagens de microscopia do MEV que passaram por uma mercerização a 7,5% de NaOH, nota-se uma diminuição significativa quando comparada com as fibras mercerizadas a 5,0 % de NaOH, que pode ser constatada na Figura 55.

Figura 57: Morfologia da fibra de Algodão Brabo com tratamento de mercerização a 7,5% NaOH, a) aumento de 100x, b) aumento de 300x, c) aumento de 500x.



Fonte: Autor, (2018).

Observa-se uma maior presença de vazios, isso mostra que a mercerização está agindo de forma eficiente e estar reduzindo toda matéria orgânica, o que já era esperado, pode-se comparar com a Figura 55, que na figura 57 apresenta um número maior de vazios, ou seja, a matéria orgânica está sendo digerida pela solução caustica.

Fibra com tratamento de mercerização 7,5 % de NaOH, EDS.

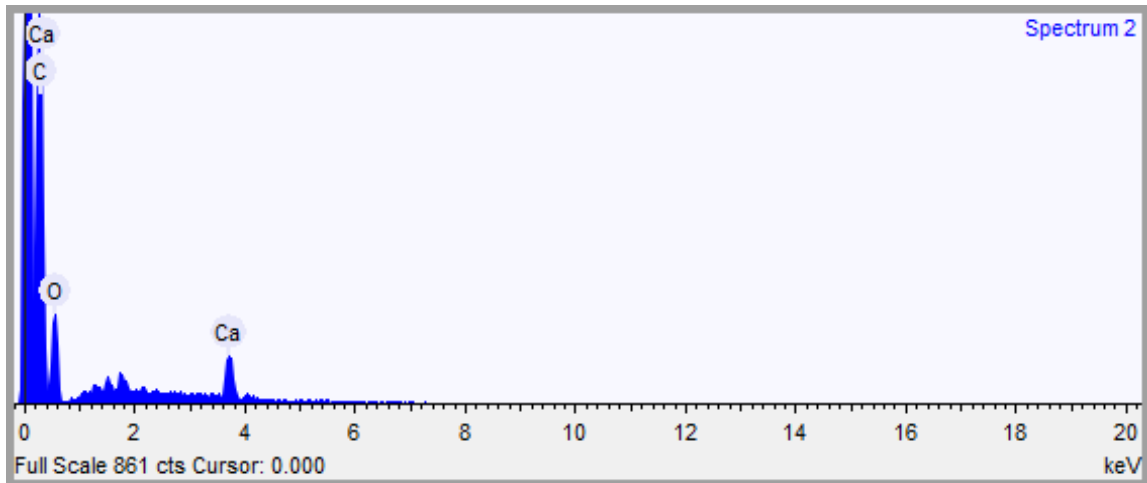
Abaixo observa-se a Tabela 5 com os percentuais dos elementos químicos encontrados para essa concentração.

Tabela 5: Percentuais de cada elemento da análise para as cargas de Algodão Brabo mercerizado a 7,5% NaOH.

Elemento	Carbono %	Oxigênio %	Calcio %
concentração	56,473	38,595	4,932

Fonte: Autor, (2018).

Figura 58: Espectro de EDS da Fibra de Algodão Brabo mercerizado a 7,5 % NaOH.

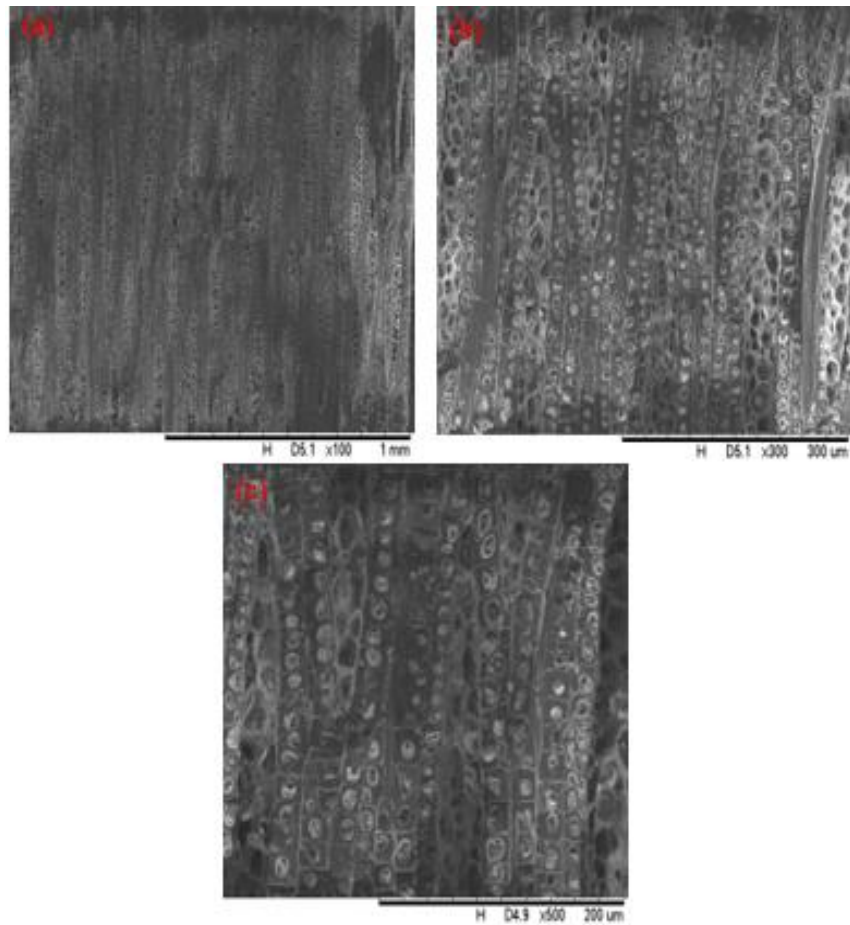


Fonte: Autor, (2018).

Fibra de Algodão Brabo mercerizada com 10 % NaOH, MEV.

Aqui observa-se nas imagens de microscopia do MEV que passaram por uma mercerização a 10 % de NaOH, observa-se uma diminuição significativa quando comparada com as fibras mercerizadas a 7,5 % de NaOH, que pode ser constatada na Figura 57.

Figura 59: Morfologia da fibra de Algodão Brabo com tratamento de mercerização a 10% NaOH, a) aumento de 100x, b) aumento de 300x, c) aumento de 500x.



Fonte: Autor, (2018).

Observa-se uma maior presença de vazios, e pontos brancos dentro dos vazios que podem ser cristais de NaOH, uma vez que essa concentração é muito elevada, podendo causar a difusão desses cristais da solução digestora para dentro dos vazios da fibra.

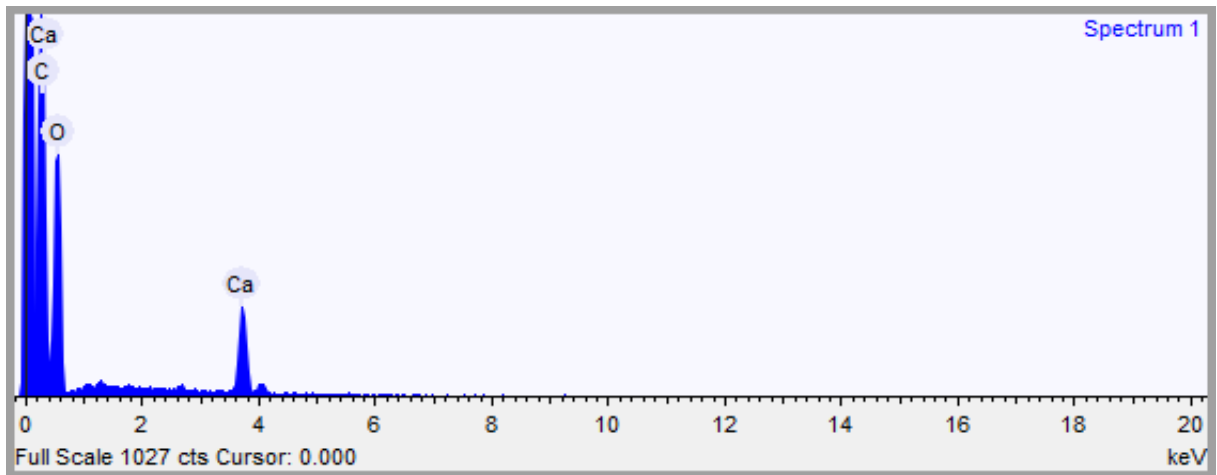
Fibra com tratamento de mercerização 10 % de NaOH, EDS.

Abaixo observa-se a Tabela 6 com os percentuais dos elementos químicos encontrados para essa concentração.

Tabela 6: Percentuais de cada elemento da análise para as cargas de Algodão Brabo mercerizado a 10% NaOH.

Elemento	Carbono%	Oxigênio%	Calcio%
Concentração	40,298	53,256	6,446

Fonte: Autor, (2018).

Figura 60: Espectro de EDS da Fibra de Algodão Brabo mercerizado a 10% NaOH

Fonte: Autor, (2018).

5.3.3 RESULTADOS DO ENSAIO DE TRAÇÃO E ASPECTO DA FRATURA

5.3.3.1 Resistência a tração dos corpos de prova de Matriz Pura

Na tabela abaixo tem-se os valores de tração dos corpos de prova apenas da resina de poliéster sem o reforço, afim de se obter os dados mecânicos da mesma.

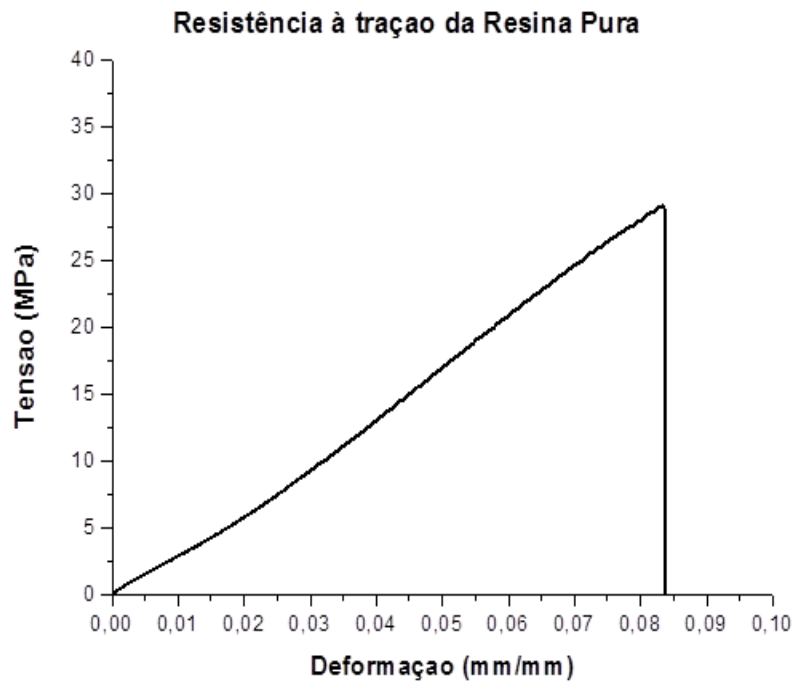
Tabela 7: Resultados de ensaio de tração de corpo de prova da resina pura.

Resina	Força Máxima (N)	Deformação Máxima (mm/mm)	Tensão (MPa)
Resina Pura	1497,39±175,02	0,097±0,014	33,28±3,89

Fonte: Mafra, (2018).

Segundo Mafra, (2018) a modificação da resina de poliéster pelo acréscimo de 0,33% (v/v) do catalizador para o processo de cura, teve como função principal favorecer a molhabilidade e o encharcamento das fibras pelo polímero em questão, adequando a viscosidade da matriz. A resina de poliéster pela adição de 0,6% (v/v) de agente de cura foi padronizado para os demais corpos de prova, tanto tração quanto impacto. A seguir observa-se o gráfico de tração axial do corpo de prova da resina pura.

Figura 61: Curvas tensão versus deformação do corpo de prova da resina pura.



Fonte: Mafra, (2018).

Segundo Mafra, (2018) *apud* Ribeiro, (2015) o resultado de resistência à tração obtido para resina pura apenas com agente de cura foi de 33,28 MPa, que foi 34% inferior ao obtido. Esse evento se justifica pela diferença entre as resinas e os agentes de cura utilizados nos respectivos trabalhos.

É possível observar no gráfico que a resina apresenta uma deformação apreciável, e que fica impossibilitada de resistir a um choque mecânico após o surgimento de trincas na matriz (MAFRA, 2018 *apud* RIBEIRO, 2015)

5.3.3.2 Fibras Longas e Alinhadas.

A Tabela 8 mostra os resultados de tração para os corpos de prova confeccionados com as fibras de algodão brabo, que foram submetidas a tratamento químico de mercerização, segundo a norma ASTM D3039-00.

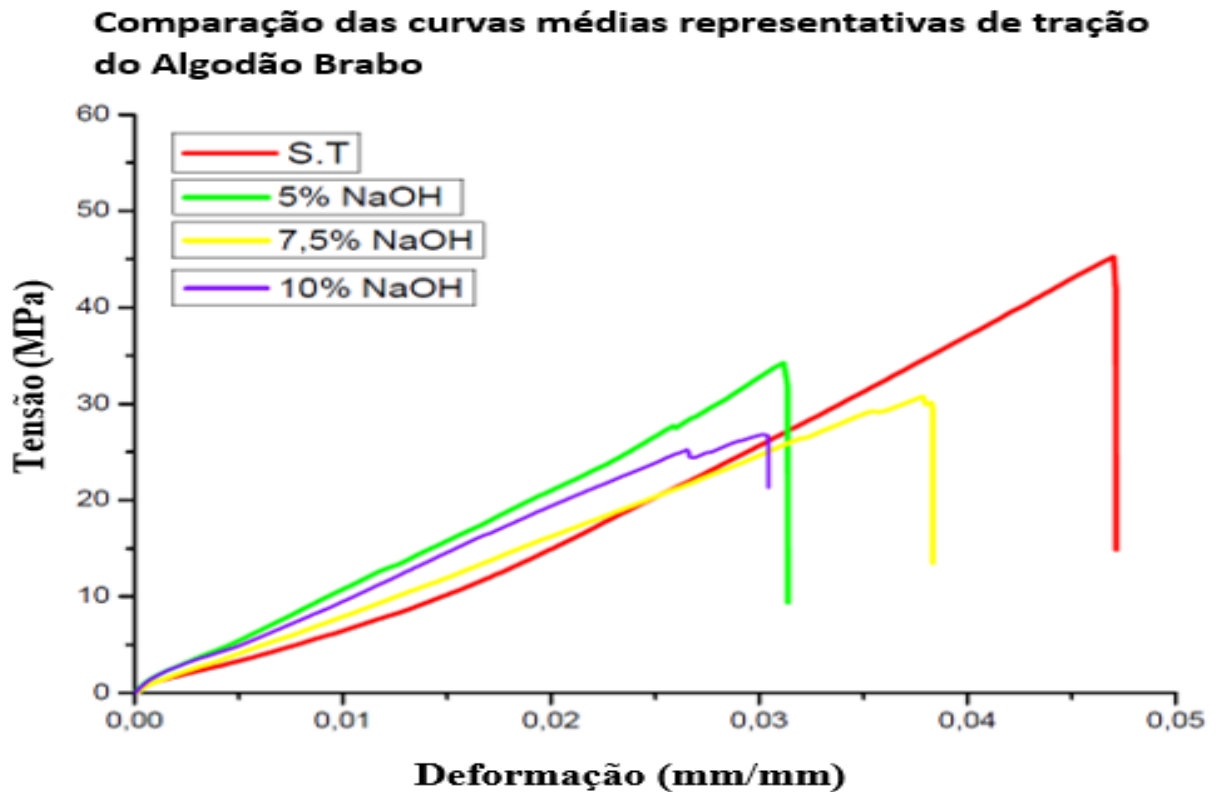
Tabela 8: Resultado de tração para os corpos de prova confeccionados com as fibras de Algodão Brabo alinhadas, com e sem mercerização.

Fibra	Força Máxima (N)	Deformação Máxima (mm/mm)	Tensão (MPa)	Fração Mássica (%)
ALGODÃO BRABO SEM TRATAMENTO	679±133,5	0,047±0,005	45±8,900	8,9
ALGODÃO BRABO 5,0% NaOH	512±147,4	0,038±0,005	34±9,827	9,3
ALGODÃO BRABO 7,5% NaOH	462±153,9	0,034±0,008	31±10,26	8,8
ALGODÃO BRABO 10 % NaOH	402,1±105,3	0,030±0,011	27±7,023	9,0

Fonte: Autor, (2018).

Na Tabela 8 observa-se que, a fibra que teve melhor rendimento foi a de algodão brabo sem tratamento químico, esse fato se dá pelo motivo que o NaOH (hidróxido de sódio) fragilizou as fibras e devido as fibras terem ficado 3 horas submersas em soluções causticas, ou seja esta mercerização causou uma degradação na fibra, comprometendo de maneira significativa nas propriedades mecânicas da fibra em questão, e observou-se também que quanto mais elevou-se a concentração de NaOH na mercerização, mais fragilizou a fibra, nesse sentido a fibra que mais ficou comprometida foi de algodão brabo a 10% NaOH.

Figura 62: Gráfico tração da fibra de Algodão Brabo.



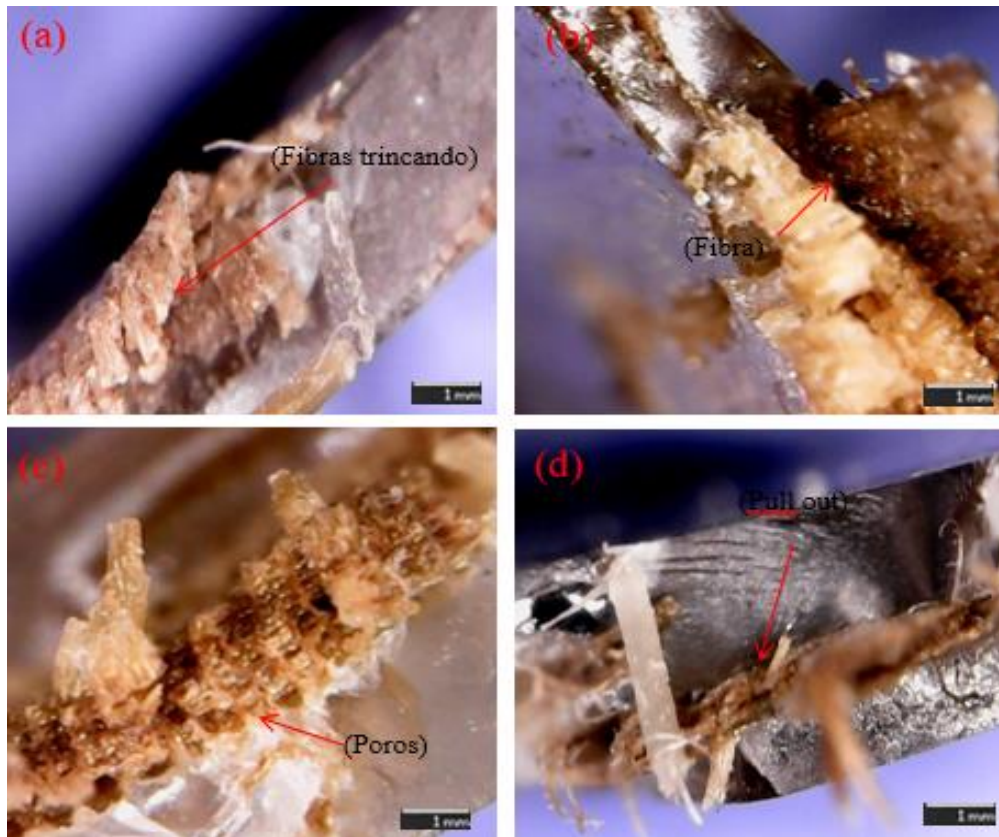
Fonte: Autor, (2018).

Por meio da observação do gráfico da curva tensão/deformação dos corpos de prova das fibras longas e alinhadas de Algodão Brabo, notou-se que as fibras sem tratamento químico a base de NaOH (hidróxido de sódio) obtiveram os melhores resultados de tração e encontra partida as fibras que passaram pela maior concentração de NaOH tiveram os piores resultados de tração, esse fato também foi observado por Abreu, (2018), que as fibras mercerizadas não apresentaram resultados satisfatórios, como se era de esperar. No gráfico da Figura 62 observa-se que a fibra sem tratamento (S.T.) apresentou uma tensão média de $45 \pm 8,900$ MPa, a fibra mercerizada a 5,0% de NaOH, obteve uma tensão média de $34 \pm 9,827$ MPa, que é 24,4% menor que o melhor resultado, a fibra tratada com 7,5% de NaOH apresentou resultado de tensão média de $31 \pm 10,26$ MPa, ou seja, apresentou-se 31,1% inferior ao melhor resultado e a fibra mercerizada a 10% de NaOH apresentou menor resultado de tensão média por volta de $27 \pm 7,023$ MPa, apresentando-se 60% menor que o melhor resultado.

5.3.3.3 Análise fractográfica das possíveis falhas dos corpos de prova alinhados de tração de algodão brabo

A Figura 63 apresenta a análise fractográfica por meio de uma lupa eletrônica nas áreas das possíveis falhas dos corpos de prova de tração, das fibras de Algodão Brabo, a) sem tratamento de mercerização, b) tratada a 5% de NaOH, c) tratada a 7,5% de NaOH e d) tratada a 10% de NaOH, na secção da imagem a) observa-se um leve arrancamento da fibra (*pull out*), aqui também nota-se um alongamento apreciável da fibra, na secção b) é notório uma fragilidade da fibra, por conta do tratamento químico que mesma sofreu, nota-se também um arrancamento significativo, que corroboraram para o colapso do mesmo, na secção c) observa-se uma fragmentação da fibra e uma porosidade significativa, que pode ter contribuído para o colapso do compósito, é possível observar que não houve uma interação adequada entre a fibra e a matriz, na secção c) nota-se um arrancamento da fibra bastante significativo, esse fato é evidenciado no ensaio de tração, haja vista que essa fibra apresenta menor resistência a tração, devido a elevada fragilização que a fibra sofreu, durante o processo de mercerização.

Figura 63: Análise fractográfica dos corpos de prova de tração, a) sem tratamento químico, b) tratada a 5% NaOH, c) tratada a 7,5% de NaOH e d) tratada a 10% de NaOH.



Fonte: Autor, (2018).

5.4 RESULTADO DO ENSAIO DE IMPACTO E ASPECTO DA FRATURA

5.4.1 Ensaio de impacto da resina pura

A análise mecânica em relação à resistência ao impacto da matriz polimérica é observada na Tabela 9.

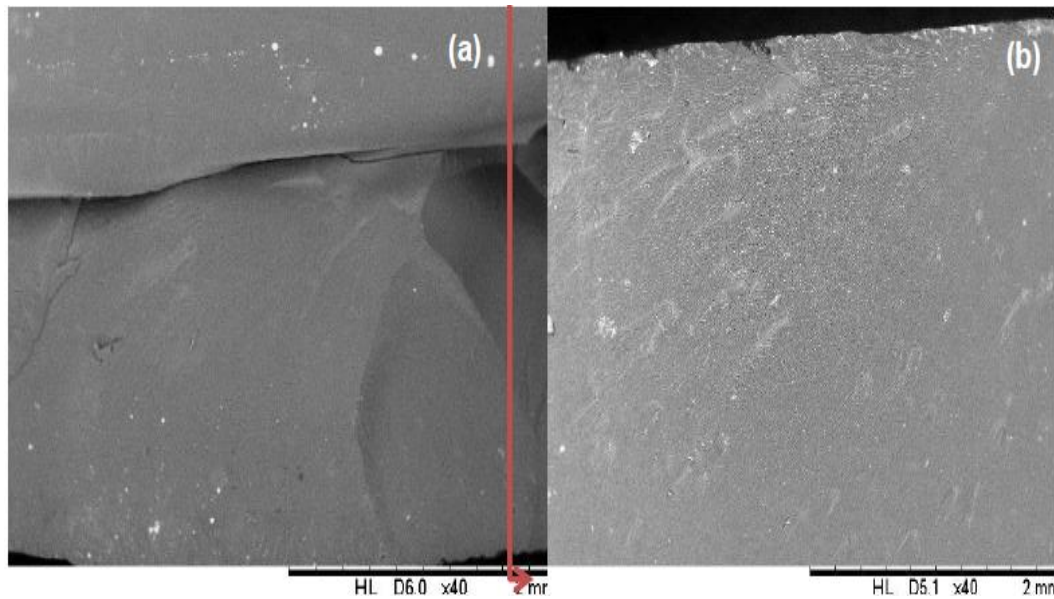
Tabela 9: Resultados da caracterização mecânica (impacto) da matriz polimérica pura.

Compósito	Resistência ao Impacto (kJ/m ²)
Resina Pura	27,08 ± 4,86

Fonte: Mafra, (2018).

Na tabela acima tem-se o valor da resistência mecânica da fibra, que servirá como base de comparação para as demais fibras, ou seja, aqui será como parâmetro para os corpos de prova de impacto da fibra estudada em questão, na figura abaixo, observa-se a fractografia da resina de poliéster sem reforço.

Figura 64: Superfície de fratura do corpo de prova de resina pura do ensaio de impacto. (a) ilustra micrografia do lado esquerdo, (b) o lado direito do corpo de prova.



Fonte: Mafra, (2018).

Segundo Mafra, (2018) *apud* Costa, (2016) o resultado de resistência ao impacto obtido para resina pura apenas com agente de cura foi de 27,08 MPa, que foi 17% superior ao obtido por (RODRIGUES, 2008) e 5% inferior ao resultado obtido por Costa, (2016).

Para Mafra, (2018) na imagem pode-se observar na fratura da matriz pura, que não há impedimentos para propagação de trincas e dessa maneira o material desencadeia fraturas, facilitando o colapso do mesmo, caracteriza-se ainda por uma superfície de fratura plana, com pouca absorção de energia de impacto do material.

5.4.2 Fibras Contínuas e Alinhadas

A caracterização mecânica em relação à resistência ao impacto dos compósitos reforçados com as fibras continua e alinhadas de Algodão Brabo, sem tratamento, com tratamento de NaOH a 5%, 7,5% e 10%, podem, ser conferidas na tabela 10 abaixo.

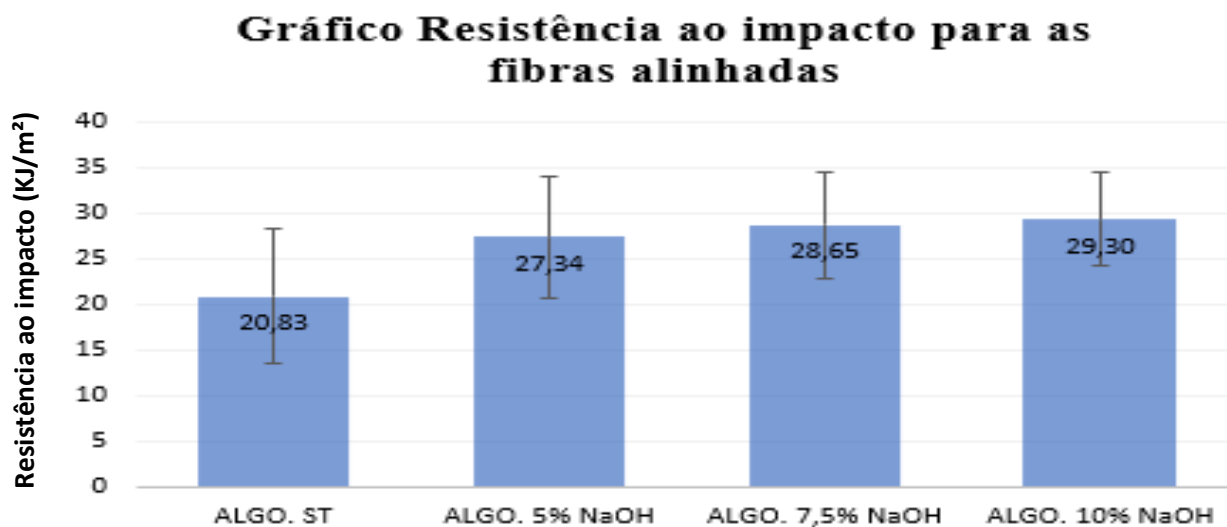
Tabela 10: Resultados da caracterização mecânica (impacto) dos compósitos reforçados por fibras longas e alinhadas.

Fibras	Resistência ao impacto média (Kj/m ²)
Algodão Brabo sem tratamento químico.	20,83±7,37
Algodão Brabo tratada com 5% NaOH.	27,34±6,77
Algodão Brabo tratada com 7,5% NaOH.	28,65±5,82
Algodão Brabo tratada com 10% NaOH.	29,30±5,17

Fonte: Autor, (2018).

Na Figura 65 observa-se o resultado médio de resistência ao impacto encontrado para as fibras alinhadas de algodão brabo.

Figura 65: Gráfico de resistência ao impacto da fibra de Algodão Brabo.



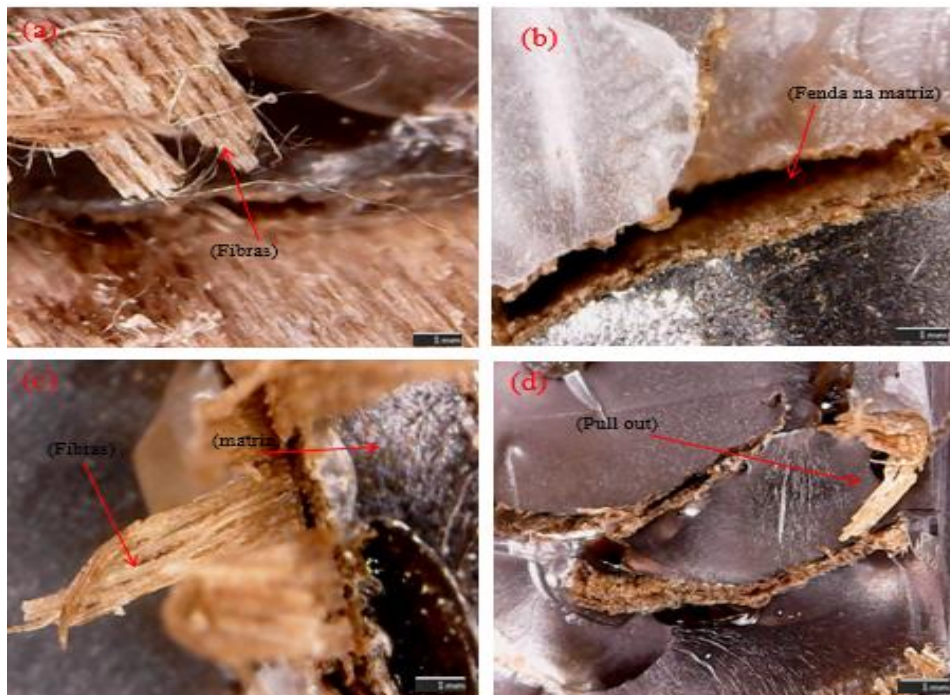
Fonte: Auto, (2018).

Por meio da análise gráfica de resistência ao impacto dos corpos de prova das fibras longas e alinhadas, pode-se notar que os compósitos que obtiveram melhores resultados ao ensaio de impacto foram os confeccionados com a fibra de Algodão Brabo com o tratamento a 10% de NaOH, que apresentou uma resistência média ao impacto de 29,30±5,17 KJ/m² seguido do compósito tratado a 7,5% de NaOH que apresentou uma resistência ao impacto de 28,65±5,82 KJ/m² mostrando-se ser o segundo melhor resultado sendo esse 2,22% inferior ao melhor resultado, e o terceiro compósito a apresentar o melhor resultado foi de 5,0% de NaOH,

que foi de $27,34 \pm 6,77$ KJ/m², sendo este 6,7% inferior ao melhor resultado, o por último o compósito que não passou pelo tratamento químico, apresentou o pior resultado que foi de $20,83 \pm 7,37$ KJ/m² sendo esse último 28,9% inferior que o melhor resultado.

5.4.3 Análise fractográfica das possíveis falhas dos corpos de prova alinhados de impacto de algodão brabo

Figura 66: Análise fractográfica dos corpos de prova de impacto, a) sem tratamento químico, b) tratada a 5% NaOH, c), tratada a 7,5% de NaOH e d) tratada a 10% de NaOH.



Fonte: Autor, (2018).

A Figura 66 (a) apresenta a fratura do corpo de prova, mostrando um arrancamento da fibra (*pull out*) na secção (b) mostra a fratura do compósito com de algodão brabo tratado a 5% de NaOH, verifica-se que houve um descolamento das fibras da matriz, na secção (c) e (d) que apresenta a fratura dos compósitos de algodão brabo tratada com 7,5 e 10% respectivamente que apresentaram o maior desempenho entre os reforços solicitados, apresentou arrancamento (*pull out*) e descolamento das fibras da matriz. Para Mafra, (2018) *apud* Costa, (2016) esses elementos elevam a resistência ao impacto dos compósitos. Em todas as fractografias, observa-se algumas extremidades, que por sua vez podem comprometer a resistência mecânica do compósito.

6. CONCLUSÃO

Todos os objetivos específicos tiveram um direcionamento no sentido de consolidar essa caracterização mecânica dos compósitos poliméricos de matriz poliéster reforçados com as fibras já descritas.

Diante do exposto, estão listadas as seguintes conclusões para esta pesquisa:

- As fibras são encontradas apenas em floretas densas e afastadas dos centros urbanos, uma vez que outras fibras dessa natureza, podem ser encontradas nas cidades e seu conhecimento popular está restrito, apenas pessoas da zona rural tem o conhecimento da mesma, uma vez que esta é empregada na produção de habitações;
- Com relação a extração e preparação da fibra de Algodão Brabo, é de fácil remoção do caule, depois de 10 dia submersa na água, a mesma se desprende do caule;
- No ensaio de tração de tração as fibras sem tratamento de mercerização apresentaram os melhores resultados de tração e a partir do momento que foi elevando a concentração de NaOH (hidróxido de Sódio) a resistência mecânica caiu drasticamente;
- A morfologia da fibra estuda, apresentou topografia superficial, repleta de rugosidade, cavidades, microcavidades, relevos e resíduos de preparação da fibra;
- Uma das características de suma importância foi observada nas micrografias, que é a rugosidade, característica física excelente para corroborar na interação fibra/matriz;
- Com relação à fabricação dos compósitos a fibra utilizada demonstrou um comportamento satisfatório de um modo geral, uma vez que, os corpos de prova confeccionados de acordo com ASTM D3039 e ASTM D5942 para o desenvolvimento deste trabalho apresentaram uma boa trabalhabilidade e poucos defeitos;

- O valor médio de resistência a tração para a fibra sem tratamento foi de $45 \pm 8,900$ MPa, para a fibra tratada a 5,0% NaOH apresentou o valor de $34 \pm 9,827$ MPa, para a fibra tratada a 7,5% foi de $31 \pm 10,26$ MPa e para fibra tratada a 10% o valor foi de $27 \pm 7,023$ MPa.
- O valor de resistência ao impacto médio foi de $20,83 \pm 7,37$ KJ/m² para a fibra sem tratamento químico, para a fibra tratada a 5,0% foi de $27,34 \pm 6,77$ KJ/m² para a fibra tratada a 7,5% foi de $28,65 \pm 5,82$ KJ/m² e a fibra tratada a 10% apresentou o melhor resultado $29,30 \pm 5,17$ KJ/m²;
- A fractografia dos corpos de prova de tração sem tratamento apresentou um leve arrancamento das fibras, esse arrancamento foi elevando-se a partir do momento que a concentração de NaOH foi elevando-se na mercerização, dessa forma as fibras que foram tratadas a 10% tiveram o pior desempenho mecânico as de 5,0% e 7,5 apresentaram resultados medianos.
- A fractografia dos corpos de prova de impacto apresentaram comportamento diferente dos corpos de prova de tração, o compósito que apresentou o melhor resultado foi o tratado a 10%, seguido de 7,5% , 5,0% e o que apresentou o pior resultado foi o sem o tratamento, observou-se que, o mercerizado a 10 % de NaOH apresentou melhor adesão fibra/matriz e que a parti do momento que houve uma diminuição da concentração da solução de digestão, a interação entre fibra e matriz diminuiu, comprometendo as propriedades da fibra pesquisada em questão.
- O mecanismo de falha predominante no ensaio de tração nos compósitos estudados foi arrancamento (*pull out*) e a propagação de trincas, com pequenas incidências de porosidade. Esses mecanismos foram determinantes nos resultados de resistência à tração dos compósitos;
- O mecanismo de falha dominante no ensaio de impacto dos compósitos estudados foi a presença de muitas extremidades de fibras, propagação de trincas e porosidades, com pequenas incidências de arrancamento (*pull out*). Esses mecanismos foram determinantes nos resultados de resistência ao impacto dos compósitos;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKCELRUD, Leni. **Fundamentos da ciência dos polímeros**. Editora Manole Ltda, 2007.
- AQUINO, R. C. M. P. **Desenvolvimento de Compósitos de fibras de Piaçava da espécie Attalea Funifera Mart e matriz de resina poliéster**. 2005. Tese de Doutorado. Tese de D. Sc., UENF, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil.
- ASKELAND, D. R. (1985), *The Science and Engineering of Materials*, 3rd edition, Publishing Company.
- ASKELAND, Donald R.; WRIGHT, Wendelin J. **Essentials of materials science & engineering**. Cengage Learning, 2014.
- ASTM D3039 / D3039 M – 00, “**Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials**”, Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials.
- AURÉLIO, Dicionário. Disponível em: <http://www.dicionariodoaurelio.com>. Acesso em: **27/05/2018**, v. 1, 2010.
- BARBOSA, A. P.; DOS GOYTACAZES–RJ, CAMPOS. **Características estruturais e propriedades de compósitos poliméricos reforçados com fibras de Buriti**. 2011. Tese de Doutorado. Tese em Ciência dos Materiais, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Campos Dos Goytacazes, RJ, 2011. BADER, MG Reinforced thermoplasties, em Kelly, A., p 2.
- BLEDZKI, A.K.; GASSAN, J. (1999) Composites reinforced with cellulose-based fibres. *Prog. Polym. Sci*, v. 24, p. 221-274. Blücher Ltda. São Paulo, 2000.
- BLEDZKI, A.K.; GASSAN, J. (1999) Composites reinforced with cellulose-based fibres.
- CAETANO, L. F.; Graeff, A. G.; Garcez, E. O.; Bernardi, S. T.; Silva Filho, L. C. P. (2004) “Compósito de matriz cimentícia reforçada com fibras” II Seminário de Patologia das Edificações - Novos Materiais e Tecnologias Emergentes 18 a 19 de novembro de 2004 - Salão de Atos II - UFRGS - Porto Alegre – RS.
- CALLISTER, William D., 1940- *Ciência e engenharia de materiais: uma introdução* / William D. Callister, Jr., David G. Rethwisch; tradução Sergio Murilo Stamile Soares; Revisão técnica José Roberto Moraes d’ Almeida.-[Reimpr.]- Rio de Janeiro: LTC, 2015., p 535.
- CARVALHO, Ricardo Fernandes. **Compósitos de fibras de sisal para uso em reforço de estruturas de madeira**. 2005. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

- CARVALHO, Simone B.; BECKER, Daniela; BALZER, Palova S. Compósitos de poli (cloro de vinila) e fibra de bananeira: Estudo da influência do tratamento alcalino da fibra de bananeira nas propriedades do compósito. In: **10 Congresso Brasileiro de Polímeros**. 2009.
- CLÍMACO, Amanda R.; BECKER, Daniela; BALZER, Palova S. Compósitos de polipropileno e fibra de bananeira: estudo da influência do tratamento alcalino das fibras de bananeira nas propriedades do compósito. In: **Anais do 10º Congresso Brasileiro de Polímeros–Foz do Iguaçu, PR–Outubro**. 2009.
- DA SILVA, ISABELA LEÃO AMARAL. Propriedades e estrutura de compósitos poliméricos reforçados com fibras contínuas de juta. **Universidade Estadual do Norte Fluminense–UENF. Centro de Ciências e Tecnologia. Tese de Doutorado. 110f**, 2014.
- DE OLIVEIRA SIMÕES, Saliba Eloísa et al. Ligninas: métodos de obtenção e caracterização química. **Ciência rural**, 2001.
- DI BENEDETTO, Ricardo Mello. Influência da Radiação Ultravioleta nas propriedades físico-químicas e mecânicas de fibras de Bananeira: Um método alternativo de tratamento fotoquímico. 2015.
- FENGEL, Dietrich; WEGENER, Gerd (Ed.). **Wood: chemistry, ultrastructure, reactions**. Walter de Gruyter, 1983.
- FINKLER, Maira. Desenvolvimento de compósitos com base em rejeito de tecidos de algodão e acrílico em matriz de polietileno de alta densidade. 2014.
- FRANCKLIN, Henrique Machado et al. Produção e análise de compósitos epóxi e fibras vegetais para reforço à flexão em vigas de concreto armado. 2017.
- GALVÃO, Alcione Olinto. **Desenvolvimento e análise de material compósito a base de penas de frango (fibras de queratina-KF) e matriz de poliéster insaturado**. 2011. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- GIACOMINI, Nestor Pedro. **Compósitos reforçados com fibras naturais para a indústria automobilística**. 2003. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- GUIMARÃES JÚNIOR, Mário. Caracterização de fibra e polpas de *Bambusa vulgaris* schrad refinadas e sem refino com modificação química visando sua utilização como agente de reforço em matrizes poliméricas. 2011.
- GURGEL, Leandro Vinícius Alves. Mercerização e modificação química de celulose e bagaço de cana-de-açúcar com anidrido succínico e trietilenotetramina: preparação de novos materiais quelantes para a adsorção de Pb (II), Cd (II), Cr (VI) e Cu (II). 2007.

https://pt.aliexpress.com/store/product/Hand-held-1000-microscope-maintenance-and-identification-USB-digital-microscope-experiment-microscope-magnifying-glass/2653167_32762489833.html acesso em 15/12/18

HULL, Derek; CLYNE, Trevor W. **An introduction to composite materials**. Cambridge university press, 1996.

KLOCK, Umberto et al. Química da madeira. **Curitiba: UFPR**, v. 3, 2005.

LEVY-NETO, F.; PARDINI, L. C.; COMPÓSITOS ESTRUTURAIIS, Ciência. Tecnologia. 2006.lignocelulósicas na química de polímeros e em compósitos. **Química Nova**, v.32 no.3. São Paulo

MAFRA, Marcio Paulo de Araújo Caracterização em tração e impacto de compósitos de fibras de Pente de Macaco (*Apeiba Tibourbou* Aubl) Mutamba (*Guazuma Ulmifolia*) e Pindaíba (*Guatteria Poeppigiana*) confeccionados em matriz poliéster. / Márcio Paulo de Araújo Mafra. – 2018.

MALLICK, P. K.; COMPOSITES, Fiber-Reinforced. Materials, Manufacturing, and Design, (revised and expanded). 1993.

MANO, E. B. (2000). **Polímeros como Materiais de Engenharia**. Editora Edgard

MARGEM, JEAN IGOR. Estudo das características estruturais e propriedades de compósitos poliméricos reforçados com fibras de malva. **Universidade estadual do Norte fluminense-UENF. Campos dos Goytacazes-RJ**, 2013.

MARINELLI, Alessandra L. et al. Desenvolvimento de compósitos poliméricos com fibras vegetais naturais da biodiversidade: uma contribuição para a sustentabilidade amazônica. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 18, n. 2, 2008.

MARINELLI, Alessandra L. et al. Desenvolvimento de compósitos poliméricos com fibras vegetais naturais da biodiversidade: uma contribuição para a sustentabilidade amazônica. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 18, n. 2, 2008.

MILANESE, ANDRESSA CECÍLIA. Caracterização de compósitos de matrizes poliméricas reforçadas com fibra de sisal e de vidro. 2008.

MILANESE, Andressa Cecília. Caracterização de compósitos de matrizes poliméricas reforçadas com fibra de sisal e de vidro. 2008.

MOHANTY, Amar Kumar; MISRA, Manjusri; DRZAL, L. T. Sustainable bio-composites from renewable resources: opportunities and challenges in the green materials world. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 10, n. 1-2, 2002.

MONTEIRO, Sergio Neves et al. Natural-fiber polymer-matrix composites: cheaper, tougher, and environmentally friendly. **Jom**, v. 61, n. 1, 2009.

NETO, F. L.; PARDINI, L. C.; **COMPÓSITOS**, Estruturais–Ciências. Tecnologia. **Editora Edgard Blucher, São Paulo, 1ª edição**, 2006.

OLIVEIRA, Glaciane Miranda de. Comportamento em tração e impacto de materiais compósitos de matriz poliéster e adição de cargas obtidas a partir da cominuição de fibras vegetais de estopeiro e algodão brabo (*Cochlos permum*), trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Glaciane Miranda de Oliveira; orientador, Marcio Paulo de Araujo Mafra-2018.

OLIVEIRA, M.P. **propriedades mecânicas e térmicas dos compósitos poliméricos reforçados por fibras de bucha**. 2013. Dissertação (mestrado em Engenharia e ciência dos materiais) – Departamento de Ciência e Tecnologia. Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro: RJ. 2013.

OLIVEIRA, Wilker Costa de., Comportamento em tração e impacto de materiais compósitos de matriz poliéster e adição de cargas obtidas a partir da cominuição de fibras vegetais de Mutumba, Pente de Macaco e Pindaíba. Wilker Costa de Oliveira / ; orientador, Márcio Paulo de Araújo Mafra. 2017. Paulo, 2009.

PINTO, NCK et al. **Reciclagem de resíduos de materiais compósitos de matriz polimérica: poliéster insaturado reforçado com fibras de vidro**. 2002. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear–Materiais)–Universidade de São Paulo, SP, 2002. Disponível em.

PLANT PHYSIOLOGY, Disponível em < <http://plantphys.net/article.php?id=24>> acesso em: 14 de julho de 2018. Prog. Polym. Sci, v. 24.

QUIRINO, Magnólia Grangeiro et al. Estudo de matriz polimérica produzida com resina natural e fibra da semente de açaí (*Euterpe precatória*). 2010.

reinforced plastics. **Composites Science and Technology**, v. 63, n.9, 2003.

RODRIGUEZ, F. (1996) Principles of Polymer Systems. Taylor & Francis. Washington, DC.

SANTOS, Flávia Regina Silva dos et al. Desenvolvimento e aplicação de compósitos à base de matriz polimérica reforçado com fibras de curauá (*Ananás erectifolius*) e resíduos de madeiras amazônicas. 2013.

SATYANARAYANA, K. G.; ARIZAGA, G. G.C.; Wypych, F. (2009) “Biodegradable composites based on lignocellulosic fibers—An overview” *Progress in Polymer Science* 34 982–1021.

SHACKELFORD, James F. **Ciência dos materiais**. Pearson Prentice Hall, 2008., p 319

SILAEX. Silaex química ltda. 2006 – Disponível em: <<http://www.silaex.com.br>> Acesso em: 10 julho. 2018.

SILVA, R.; HARAGUCHI, S. K.; MUNIZ, E. C.; RUBIRA, A. F. Aplicações de fibras VENTURA, Ana Mafalda FM. Os Compósitos e a sua aplicação na Reabilitação de Estruturas metálicas. **Ciência & Tecnologia dos Materiais**, v. 21, n. 3-4, 2009.

WAMBUA, P.; IVENS, I.; VERPOEST, I. Natural fibers: can they replace glass and fibre WILLIAM F. SMITH; HASHEMI, Javad. **Foundations of materials science and engineering**. McGraw-Hill, 2011.

ZHU, W.H.; Tobias. B.C.; Coutts, R.S.P and Langfors, G (1994) “Air-cured bananafibre-reinforced cement composites”. *Cement and Concrete Composites*. Vol. 16, Issue 1, 1994, p 3-8.