



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

TÁSSIA ABREU DA COSTA

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE COMPÓSITOS
POLIMÉRICOS REFORÇADOS COM ALGODÃO BRABO (*Cochlospermum*) ANTES
E APÓS MERCERIZAÇÃO**

MARABÁ
2018

TÁSSIA ABREU DA COSTA

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE COMPÓSITOS
POLIMÉRICOS REFORÇADOS COM ALGODÃO BRABO (*Cochlospermum*) ANTES
E APÓS MERCERIZAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Engenharia de Materiais da
Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará
em cumprimento as exigências para obtenção
do grau de Bacharel em Engenharia de
Materiais.

Orientador:

Prof^o. Msc. Márcio Paulo de Araújo Mafra

MARABÁ
2018

TÁSSIA ABREU DA COSTA

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE COMPÓSITOS
POLIMÉRICOS REFORÇADOS COM ALGODÃO BRABO (*Cochlospermum*) ANTES
E APÓS MERCERIZAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia de Materiais da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará em cumprimento as exigências para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Materiais.

DATA DA AVALIAÇÃO: 13/03/2018

CONCEITO: _____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Msc. Márcio Paulo de Araújo Mafra
(FEMAT – IGE – UNIFESSPA – Orientador)

Prof. Dr. Márcio Correa de Carvalho
(FEMAT – IGE – UNIFESSPA – Membro)

Prof. Dr. Elias Fagury Neto
(FEMAT – IGE – UNIFESSPA – Membro)

Dedico este trabalho a meus pais, que nunca mediram esforços para realização deste e de todos os meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Sílvia e José, por todo o amor, carinho, apoio e incentivo nessa e em todas as minhas jornadas. Especialmente minha querida mãe, que sempre lutou por mim e acreditou que eu poderia ser o que quisesse. Obrigada por ser a razão da minha vida.

Ao meu pai, responsável pela minha educação e por sempre me guiar pelo caminho do bem. Por me ensinar as coisas mais importantes da vida e me dar conselhos (brincas) muito valiosas.

Aos meus melhores amigos, Daniele e Rafael, por todo amor e companheirismo nestes últimos 5 anos. Sem vocês nada disso seria possível.

E acima de tudo, agradeço a Deus por todas as transformações que tem proporcionado na minha vida.

*Se você for tentar, vá até o fim. Caso contrário,
nem comece.*

Charles Bukowski

RESUMO

A crescente preocupação com o meio ambiente tem despertado o interesse constante na busca de alternativas viáveis para o desenvolvimento sustentável. A utilização de fibras naturais lignocelulósicas obtidas à base de vegetais e plantas estão sendo mais valorizadas como alternativa ambientalmente mais correta para substituir materiais não- recicláveis, que acarretam consumo elevado de energia, como as fibras de vidro em compósitos. As vantagens do uso de fibras vegetais sobre as fibras sintéticas, no reforço de compósitos são: baixo custo, baixa densidade, boa tenacidade, boas propriedades térmicas e uso reduzido de instrumentos para o seu tratamento ou processamento. No presente trabalho de investigação apresenta-se um estudo comparativo da entre dois compósitos, ambos de matriz poliéster, sendo um reforçado com fibras de Algodão Brabo tratadas quimicamente através de mercerização, e o outro reforçado com fibras Algodão Brabo sem mercerização, com o objetivo de avaliar os efeitos desse tratamento nas propriedades mecânicas do compósito. Os corpos de prova foram confeccionados segundo as normas ASTM D638, D3039 e D5942, sendo avaliados através de ensaios mecânicos de tração e tenacidade ao impacto. As propriedades deste compósito de matriz poliéster, reforçados por fibras curtas de Algodão Brabo foram determinadas em função do comprimento, teor e orientação das fibras. Os resultados mostram que, para os compósitos investigados, a resistência à tração aumentou com o comprimento das fibras (5 – 15 mm) tratadas quimicamente, variando de 20 a 30 MPa e atingindo seu auge em 200MPa no ensaio de tração para as fibras longas sem tratamento químico.

Palavras-chave: Desenvolvimento Sustentável; Fibras; Compósito Polimérico; Mercerização; Algodão Brabo; Ensaio Mecânicos.

ABSTRACT

The growing concern with the environment has aroused the constant interest in the search of viable alternatives for the sustainable development. The use of natural lignocellulosic fibers obtained from plants and plants are being valued more as an environmentally more correct alternative to replace non-recyclable materials, which entail high-energy consumption, such as glass fibers in composites. The advantages of the use of vegetable fibers on synthetic fibers in composite reinforcement are low cost, low density, good toughness, and good thermal properties and reduced use of instruments for their treatment or processing. In the present study we present a comparative study between two composites, both of polyester matrix, one reinforced with Algodão Brabo (*Cochlospermum*) fibers chemically treated through mercerization, and the other reinforced with Algodão Brabo (*Cochlospermum*) fibers without mercerization, with the objective of evaluate the effects of this treatment on the mechanical properties of the composite. The test specimens were made according to ASTM D638, D3039 and D5942, and evaluated through mechanical tensile tests and impact toughness. The properties of this composite of polyester matrix, reinforced by short fibers of Algodão Brabo (*Cochlospermum*) were determined as a function of the length, content and orientation of the fibers. The results show that, for the composites investigated, the tensile strength increased with the length of the chemically treated fibers (5-15 mm), ranging from 20 to 30 MPa and peaking at 200 MPa in the tensile test for long fibers without chemical treatment.

Keywords: Sustainable development; Fibers; Polymeric composite; Mercerization; Algodão Brabo (*Cochlospermum*); Mechanical tests.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 - Formas possíveis de utilização de fibras na fabricação de materiais compósitos. .	18
Figura 2 - Possíveis formas de utilização de fibras na fabricação de materiais compósitos...	19
Figura 3 - Microscopia eletrônica de varredura da superfície de fibras naturais lignocelulosicas: a) sisal, b) bambu, c) coco e d) piaçava.	26
Figura 4 - Padrões de enrolamento da fibra sobre o mandril: a) polar, b) helicoidal e c) circunferencial.	29
Figura 5 - Reação de mercerização da fibra vegetal com hidróxido de sódio	30
Figura 6 - a) Resina Poliéster Isoftálica; b) Catalisador MEK - D45.....	33
Figura 7 - Fibras Longas de Algodão Brabo.	34
Figura 8 - Fibras Cortadas de Algodão Brabo.....	34
Figura 9 – Tear.	35
Figura 10 - Árvore Algodão Brabo.....	36
Figura 11 - Fibras de Algodão Brabo submersas na água.....	36
Figura 12 - Fibras antes da separação da casca.	37
Figura 13 - Fibras separadas da casca antes da normalização.....	37
Figura 14 - Fibras separadas e normalizadas.....	38
Figura 15 - a) Fibras separadas nos béqueres submersas em solução de NaOH b) Processo de Mercerização em Banho Maria.....	38
Figura 16 – a) Pré-pregs prontas. b) Confecção das pré-pregs.....	39
Figura 17 - Esquema de montagem das placas com mantas de fibras. naturais.....	40
Figura 18 - a) Teste de volume para norma D5942 b) Teste de volume para norma D638....	41
Figura 19 - Corpos de prova no molde aguardando a cura.	41
Figura 20 - a) Ensaio de Impacto b) Corpo de Prova.	42
Figura 21 - Dimensões dos corpos de prova de tração segundo a norma ASTM D638.	42
Figura 22 - a) Corpos de provas provenientes da placa prontos para o ensaio de tração b) corpos de prova de 5mm com tratamento químico prontos para ensaio de tração.	43
Figura 23 - Gráfico Resistência ao Impacto.....	44
Figura 24 - Gráfico Tensão (MPa) X Deformação (mm/mm) para Placas CT (com tratamento) e ST (sem tratamento).	46
Figura 25 - Gráfico Tensão (MPa) X Deformação (mm/mm) para corpos de prova de 5mm CT (com tratamento) e ST (sem tratamento).....	47
Figura 26 - Gráfico Tensão (MPa) X Deformação (mm/mm) para corpos de prova de 10mm CT (com tratamento) e ST (sem tratamento).....	47
Figura 27 - Gráfico Tensão (MPa) X Deformação (mm/mm) para corpos de prova de 15mm CT (com tratamento) e ST (sem tratamento).....	48
Figura 28 - Morfologia da fibra de algodão brabo sem tratamento químico 200x b) Morfologia da fibra de algodão brabo sem tratamento 100x.	49
Figura 29 – a) Morfologia da fibra de algodão brabo com tratamento químico 200x b) Morfologia da fibra de algodão brabo com tratamento 100x.	50

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	16
2.1. OBJETIVO GERAL	16
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3. REFERENCIAL TEÓRICO	17
3.1. MATERIAIS COMPÓSITOS	17
3.2. MATERIAIS COMPÓSITOS FIBROSOS	18
3.3. MATRIZES POLIMÉRICAS	19
3.4. MATRIZES TERMOFIXAS	20
3.6. RESINA POLIÉSTER	21
3.9. FIBRAS ALGODÃO BRABO	26
3.10. COMPÓSITOS REFORÇADOS COM FIBRAS NATURAIS	26
3.11. FABRICAÇÃO DOS MATERIAIS COMPÓSITOS	28
3.12. MERCERIZAÇÃO	29
3.13. ENSAIOS MECÂNICOS	30
3.13.1. Tração	30
3.13.2. Impacto	31
4. MATERIAIS E MÉTODOS	33
4.1. MATERIAIS	33
4.1.1. Matriz Polimérica	33
4.1.2. Fibras Longas de Algodão Brabo	33
4.1.3. Fibras Cortadas de Algodão Brabo (5 mm, 10mm e 15mm)	34
4.1.4. Tear	34
4.2. METODOLOGIA	35
4.2.1. Extração das Fibras Vegetais de Algodão Brabo	36
4.2.2. Preparação das Fibras Vegetais de Algodão Brabo	37
4.2.3. Mercerização	38
4.2.4. Confeção das Pré-Pregs Usando Tear	39
4.2.5. Fabricação das Placas	39
4.2.6. Fabricação dos Corpos de Prova Segundo as Normas ASTM D638 e D5942	40
4.2.7. Ensaio de Impacto	41
4.2.8. Ensaio de Tração	42

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
5.1 EXTRAÇÃO DAS FIBRAS	44
5.2 ENSAIOS MECÂNICOS	44
5.2.1. Ensaio de Impacto.....	44
5.2.2. Ensaio de Tração.....	46
5.3 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)	49
6. CONCLUSÃO	51
6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	52
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56

1. INTRODUÇÃO

A literatura define o compósito como sendo um material formado por dois ou mais materiais com características e aspectos diferentes, no entanto quando analisados macroscopicamente o mesmo é homogêneo, podendo possuir fibras longas ou curtas (GAY 1991).

A utilização de compósitos reforçados com fibras naturais é o reflexo das preocupações com as questões ambientais, como a poluição causada por resíduos que não são biodegradáveis ou não podem ser incinerados, bem como as mudanças climáticas devido às emissões de CO₂ associadas aos processos de utilização intensiva de energia e motiva também este trabalho o desenvolvimento auto-sustentável, já que as fibras naturais geram fonte de renda, principalmente nos países em desenvolvimento, onde grande parte são originárias, incentivando o cultivo à agricultura de não-alimentícios. Adicionalmente, vale também lembrar que estas fibras provêm de fontes renováveis, além de serem abundantes, de baixo custo e possuírem um conjunto relevante de propriedades mecânicas (CROKER, 2008).

Uma grande variedade de fibras naturais, obtidas a partir de plantas ricas em celulose, e denominadas como fibras lignocelulósicas, têm sido, nos últimos anos, não só investigadas, mas efetivamente aplicadas na engenharia de compósitos (SATYANARAYANA et al, 2007).

A proposta deste trabalho consiste em avaliar o desempenho mecânico de um compósito de matriz polimérica, reforçado com fibra de algodão brabo, antes e depois de passar pelo tratamento químico de mercerização, através de ensaios de impacto e tração, para aplicações em diversos setores, incluindo construção civil e indústria automobilística. Motivos sociais, econômicos e ambientais servem como motivação para o interesse nesta pesquisa.

A realização do presente trabalho é de grande relevância para os desenvolvimentos científicos, tecnológicos, econômicos e principalmente para o benefício do meio ambiente. O trabalho realizado com êxito poderá trazer grandes benefícios a toda a sociedade. 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, uma vez que a fibra utilizada para o desenvolvimento do mesmo é de fácil acesso e abundância na região.

O estudo com fibras de algodão brabo foi realizado com a intenção de explorar as propriedades desta fibra, ainda pouco investigadas. Os ensaios realizados buscaram verificar as propriedades mecânicas da fibra e de seus compósitos, em matriz polimérica de poliéster.

Sendo, então, realizadas análises mecânicas e microestruturais das fibras e dos compósitos com frações diferentes de tamanho de algodão bravo. Um desempenho eficiente de novos materiais originados da fibra de algodão bravo em matriz polimérica significa uma maneira alternativa de causar menos danos ao meio ambiente e ao ser humano. Já que as fibras de algodão bravo utilizadas são materiais residuais, e seus compósitos não liberam CO₂ para atmosfera, não causando poluição do ar. Além de todos os processamentos com essas fibras serem extremamente mais fáceis, menos danosos os equipamentos e para a manipulação pelo homem, quando comparado às fibras sintéticas.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Confeccionar corpos de prova de compósitos de matriz poliéster, reforçados com fibras de Algodão Brabo, antes e depois do tratamento químico de mercerização, para o estudo das propriedades mecânicas dos mesmos.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Utilizar as normas ASTM D638 e ASTM D3039 para fabricação de materiais compósitos para ensaio de tração;
- ✓ Utilizar a norma ASTM D5942 para fabricação de materiais compósitos para ensaio de tenacidade ao impacto Charpy;
- ✓ Avaliar as propriedades mecânicas dos corpos de prova, com diferentes tamanhos de fibra;
- ✓ Avaliar as propriedades mecânicas dos corpos de prova com e sem tratamento químico de mercerização;
- ✓ Avaliar a morfologia das fibras a partir da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. MATERIAIS COMPÓSITOS

Segundo a norma ASTM D3878-95, compósito é uma substância constituindo de dois ou mais materiais, insolúveis entre si, que são combinados para formar um material de engenharia útil com certas propriedades que não se encontram nos materiais isoladamente. A denominação destes materiais é bastante diversificada, podendo ser tratados na literatura como: compostos, conjugados ou compósitos (MANO, 1991).

Os compósitos possuem dois ou mais constituintes fisicamente distintos numa escala microscópica, separados por uma interface, sendo muito importante à especificação destes constituintes. A matriz é o constituinte contínuo, mas nem sempre presente em maior quantidade. O segundo constituinte, disperso na matriz, é citado como uma fase de reforço, que atua aprimorando as propriedades mecânicas da matriz (MATTHEWS, 1994).

Um dos tipos de matrizes mais utilizadas são os polímeros sintéticos. O processamento de um compósito de matriz polimérica não envolve, necessariamente, altas pressões e não requer altas temperaturas. Também, os problemas associados com a degradação do reforço durante a manufatura são menos significativos para os compósitos com matrizes poliméricas do que para os compósitos com outras matrizes (metálicas, concreto, entre outros). Ainda, os equipamentos necessários para se obter compósitos com matrizes poliméricas, em sua maioria, são simples de usar. Por estas razões, os compósitos com matrizes poliméricas desenvolveram-se rapidamente e logo se tornaram aceitos para aplicações estruturais (MATTHEWS, 1994).

A qualidade da interface entre a matriz e o reforço é um fator de grande importância no desempenho mecânico do compósito. Para que ocorra interação entre componentes de naturezas químicas diferentes e de quaisquer dimensões ou forma, é essencial a existência de uma área de contato entre elas. Quanto maior for essa área, maior a possibilidade de ocorrer entre os dois componentes uma interação de natureza física, química ou físico-química (MANO, 1991).

A interface envolve a existência de uma região de transição química e física ou gradiente na fronteira. Em um compósito reforçado com fibras, por exemplo, pode-se dizer que existem três fases: a superfície da fibra, a interface fibra/matriz e a matriz (YOSOMIYA, 1989). As características da interface dependem da união na interface, da configuração, da estrutura ao redor da interface e das propriedades físicas e químicas dos constituintes. Como resultado, a interface tem uma forte influência na propriedade do compósito (YOSOMIYA, 1989).

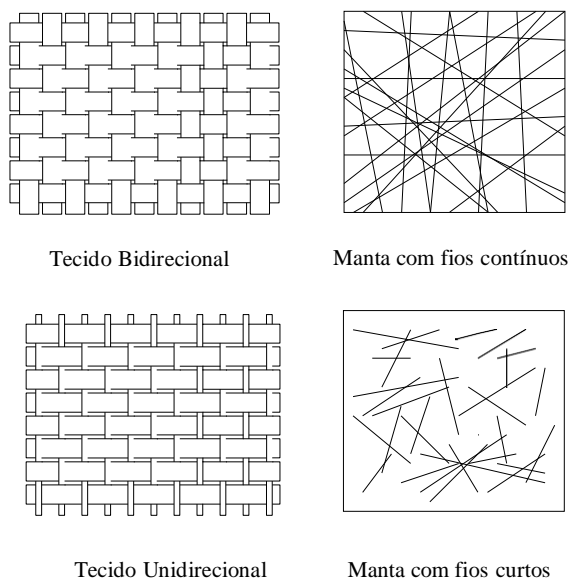
Em geral as ligações na interface são descritas em termos de forças intermoleculares e energia livre na superfície. Na prática, os fatores que influem na interação interfacial são: (1) umidade, (2) reação química, (3) adsorção e difusão, (4) camada de tensão residual, (5) morfologia da superfície e (6) efeito da rugosidade (YOSOMIYA, 1989).

3.2. MATERIAIS COMPÓSITOS FIBROSOS

Materiais compósitos com reforços de fibras consistem normalmente de fibras de alto módulo de elasticidade e resistência mecânica, envolvida na matriz com interfaces distintas entre elas. Desta forma, tanto as fibras quanto a matriz, conservam suas identidades químicas e físicas e ainda produzem uma combinação de propriedades que não podem ser obtidas com um dos constituintes isolado. Em geral, as fibras responsabilizam por melhorar a resistência mecânica do material, enquanto a matriz é responsável por mantê-las na posição e direção desejada, agindo como um meio transportador de carga e protegendo as fibras de danos ambientais decorrentes, por exemplos, de altas temperaturas e umidade (MATTHEWS, 1994).

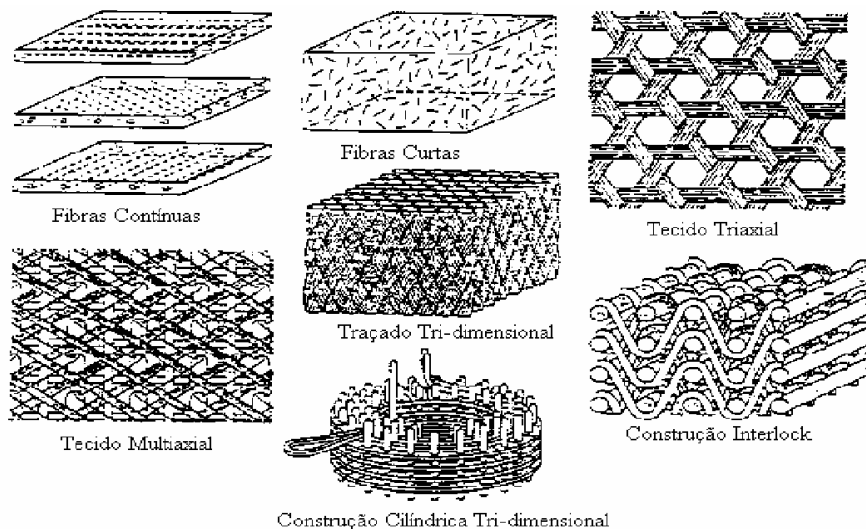
Para a aplicação em materiais compósitos pode-se utilizar fibras longas ou curtas, distribuída de modo aleatório ou orientadas, podem ser utilizadas de modo disperso ou na forma de mantas (com fibras curtas ou longas) e em tecidos. As fibras também podem se apresentar na forma de construção tridimensional; construção cilíndrica tridimensional e construção interlock (pré-formas) (Chou et al., 1986; Bannister, 2001; Tsai et al., 2000), conforme ilustrado nas figuras 1 e 2.

Figura 1 - Formas possíveis de utilização de fibras na fabricação de materiais compósitos.



Fonte: Chou et al., 1986.

Figura 2 - Possíveis formas de utilização de fibras na fabricação de materiais compósitos.



Fonte: Chou et al., 1986.

Atualmente as fibras sintéticas mais utilizadas como reforço em compósitos poliméricos são as fibras de vidro, de carbono, de kevlar e de boro. As fibras de vidro se destacam devido as suas excelentes propriedades físicas e mecânicas aliadas a um baixo custo. Ressalta-se, também, um crescimento acentuado da utilização das fibras naturais (a maioria de origem vegetal), principalmente em aplicações estruturais de pequeno e médio desempenho (SILVA et al., 2000).

Um reforço fibroso é caracterizado por possuir comprimento muito maior que a sua dimensão na secção transversal. Entretanto, a relação entre o comprimento e o diâmetro, conhecida como razão de aspecto (L/d), pode variar consideravelmente. Quando a meta principal é o aumento da resistência, o reforço fibroso deve ter alta razão de aspecto de forma que a carga seja transferida através da interface. Por ser o responsável pelo transporte de carga, o reforço deve ser o componente mais forte e possuir módulo elástico maior que o da matriz (MATTHEWS, 1994).

3.3. MATRIZES POLIMÉRICAS

A matriz nos materiais compósitos tem por finalidades básicas atuar como um meio de transferência de carga para os reforços através do cisalhamento e proteger o reforço da abrasão mútua, danos e meios de degradação (CORREIA, 1988).

Como já mencionado, as matrizes se classificam em: orgânicas (poliméricas), metálicas e cerâmicas. As matrizes poliméricas são as mais utilizadas devido à versatilidade de formulação e baixo custo de processamento, quando comparadas com outras matrizes (VINCENZINE, 1995).

Comumente as matrizes poliméricas são classificadas de acordo com os métodos de preparação da estrutura química e do comportamento mecânico.

Quanto ao método de preparação da estrutura química, os polímeros podem ser classificados em etapas. As reações de polimerização podem gerar diferentes tipos de cadeias poliméricas, que são classificadas como:

- I – Cadeia linear sem ramificações;
- II – Cadeia linear com ramificações;
- III – Cadeia com ligações cruzadas, tridimensionais ou reticuladas.

As variações estruturais implicam diretamente nas propriedades físico-químicas dos polímeros, principalmente no que se refere à solubilidade e fusão. As matrizes poliméricas, de acordo com as características de fusão, podem ser classificadas em termoplásticas ou termofixas. Esta classificação está relacionada com o comportamento a diferentes temperaturas dessas matrizes, o que por sua vez está relacionado às estruturas químicas das mesmas (VINCENZINE, 1995).

Em função das características estruturais dos termoplásticos e dos termofixos podem-se explicar algumas propriedades como a possibilidade de reciclagem dos termoplásticos e a baixa resistência ao impacto dos termofixos, quando na ausência de um agente de reforço (VINCENZINE, 1995).

3.4. MATRIZES TERMOFIXAS

As matrizes termofixas são materiais poliméricos, cuja polimerização leva a uma estrutura tridimensional. Ocorrem várias ligações químicas covalentes entre diferentes cadeias, de modo que não é mais possível ocorrer um escorregamento entre as moléculas. O mecanismo de cura processa-se através de combinações químicas com agentes de cura, pela ação de catalisadores ou oxigênio do ar. Um ciclo ótimo de cura para qualquer processo é determinado empiricamente. Entre as variáveis a serem consideradas incluem-se o tipo e a concentração de agentes de cura, acelerador ou catalisador, tempo e temperatura, cura única ou com pós cura e a interação destes fatores.

As resinas termofixas isotrópicas, quando curadas, não podem mais ser fundidas ou dissolvidas. Portanto, elas perdem suas propriedades elásticas quando aquecidas na temperatura de distorção, tornando-a limitada para uso de componentes estruturais; porém, tem melhor estabilidade dimensional, resistência ao calor; resistência química e elétrica do que as resinas termoplásticas.

Geralmente a cura das resinas termofixas ocorre à temperatura ambiente, porém pode ocorrer sob temperatura e tempo controlados, tentando desta forma obter propriedades ótimas.

O processo de cura dos materiais compósitos à base de matrizes termofixas é exotérmico e devido às variações de temperatura envolvidas e nos diferentes coeficientes de expansão térmica entre a matriz e o reforço, surgem tensões residuais no material. Estas tensões, também conhecidas como “tensões de cura”, costumam favorecer o aparecimento de microtrincas quando da solicitação de cargas externas (CORREIA, 1988) e (HULL, 1988).

3.6. RESINA POLIÉSTER

Poliéster é o nome dado a uma categoria de materiais obtidos por meio de uma reação de condensação entre um poliálcool e um ácido policarboxílico. São polímeros sintéticos versáteis, sendo encontrados comercialmente como fibras, plásticos, filmes e resinas. Dependendo de sua formulação, ausência ou presença de duplas ligações entre os átomos de carbono (insaturações) que formam sua cadeia molecular, os mesmos podem ser classificados em saturados e insaturados. Os poliésteres saturados geram polímeros termoplásticos enquanto os insaturados sofrem reações de cura e geram resinas termofixas.

Os poliésteres insaturados são usados industrialmente em combinações com reforços fibrosos, como vidro, amianto, etc. Em termos técnicos e econômicos, os melhores resultados para as aplicações de engenharia são obtidos quando combinado com fibras de vidro, etc.

As resinas de poliéster possuem uma gama de propriedades, caracterizando-a como a mais polivalente entre todas as resinas termofixas, quanto as suas aplicações. Algumas dessas propriedades podem ser ressaltadas:

- Excelente estabilidade dimensional;
- Excelente resistência a ambientes quimicamente agressivos;
- Ótimas propriedades elétricas, isolante;
- Fácil pigmentação;
- Não liberação de materiais voláteis durante a cura (sem estireno);
- Cura a frio;
- Permite a utilização de moldes simples e baratos;

- Fácil modificação para aplicações especiais.

3.6. AGENTE DE CURA

A escolha do agente de cura apropriado é tão importante quanto a escolha da resina base. O agente de cura determina o tipo de estrutura polimérica a ser formado, o grau de ligações cruzadas e a resistência química e mecânica do filme. Em muitos casos, o brilho, a fluidez, a resistência ao amarelamento e a estabilidade do produto armazenado são fortemente influenciadas pelo agente de cura (SOBRINHO, L. L.2005).

Para a cura de resinas vinil éster, os iniciadores utilizados geralmente são peróxidos orgânicos e hidroperóxidos, incluindo peróxido de metil etil cetona, peróxido de benzoila e hidroperóxido de cumeno. Porém, a cura de uma resina poliéster insaturada, como são classificadas as resinas vinil éster, em temperatura ambiente pode não ser realizada por um peróxido orgânico sozinho, a rápida decomposição dos iniciadores pode ocorrer por aquecimento ou pelo uso de promotores, tais como aminas terciárias e sais de metais como octoato ou naftanato de cobalto, ou seja, para que o peróxido desempenhe suas funções, é necessário um promotor de cura ou acelerador que promova a sua decomposição. O peróxido e metil-etil-cetona decompõe-se na presença de octoato de cobalto ou naftanato de cobalto. Essa combinação do peróxido com seu respectivo acelerados são chamados de sistema de polimerização (N.F.M.2010).

Como é uma reação de adição em cadeia, não há formação de produtos adicionais. Para cura à temperatura ambiente, o catalisador mais utilizado é o peróxido de metil-etil-cetona (MEKP), utilizado juntamente com os aceleradores naftenato de cobalto (CoNap), ou Dimetilnilina (DMA), na proporção de 0 a 0,3 % em massa. O peróxido de MEKP é, na realidade, uma mistura de peróxidos, conforme mostra a Figura 4, que possibilita variar a reatividade do produto modificando as proporções de cada componente. As resinas de poliéster insaturado são comercializadas com acelerador de tal forma que o sistema reativo seja obtido pela mistura pré-acelerada com o catalisador. A quantidade de acelerador, e catalisador controla a velocidade de reação e, portanto, o tempo de gel e a temperatura máxima atingida durante a reação (N.F.M.2010).

3.7. REFORÇOS FIBROSOS

Os compósitos podem ser reforçados com fibras embutidas na matriz. Dessa forma, ambas, fibras e matriz, conservam suas identidades química e física e, ainda, produzem uma

combinação de propriedades que não podem ser conseguidas com um dos constituintes agindo sozinho. Em geral, as fibras são os principais membros de transporte de cargas, enquanto a matriz as mantém na localização e direção desejada, agindo como um transportador médio de carga e protegendo as fibras de danos ambientais, por exemplo, a altas temperaturas e umidade (MALLICK, 1988).

As propriedades mecânicas dos compósitos poliméricos reforçados com fibras dependem de vários fatores, sendo os principais: módulo e resistência da fibra, estabilidade química da resina, resistência interfacial, diâmetro e comprimento das fibras, fração volumétrica e forma de distribuição das fibras na matriz. Nos compósitos com fibras descontínuas com distribuição aleatória o comprimento e a fração volumétrica são parâmetros importantes no seu desempenho (JOSEPH, 1996).

A eficiência de um compósito também depende da transferência de carga entre a matriz e a fibra. Isto pode ser maximizado intensificando-se a interação e adesão entre as duas fases e também pela maximização do comprimento da fibra no compósito. O uso de filamentos pode resultar em uma melhor distribuição. Entretanto, fibras longas algumas vezes causam o aumento na quantidade de agrupamentos, que resultam em áreas com alta concentração de fibras e áreas com excesso de matriz, o que reduz a eficiência do compósito. A dispersão das fibras na matriz é fator fundamental no desempenho do compósito. A mistura de fibra polar e higroscópica com uma matriz não polar e hidrofóbica pode resultar em dificuldades na dispersão, resultando em agrupamentos de fibras que impossibilitam a produção de compósitos com boas propriedades (ROWELL, 1997).

A descontinuidade da fibra natural, quando usada como reforço, exerce uma forte influência na resistência à tração e na tenacidade dos compósitos. Fatores como comprimento e orientação das fibras são determinantes na melhoria das propriedades dos mesmos. Um exemplo é a resistência à tração de compósitos com fibras descontínuas que é menor, quando comparado a compósitos com fibras contínuas (ZARATE, 2000).

Para que o compósito se beneficie do nível máximo de resistência da fibra, o comprimento da fibra (L_f) deve ser igual ou maior do que seu comprimento crítico (L_c), definido como o comprimento mínimo de fibra requerido para obter a maior resistência à fratura do compósito (ZARATE, 2000).

3.8. FIBRAS NATURAIS E VEGETAIS

As fibras naturais são de origem orgânica, nesta classe, estão inclusas as de origem vegetal, tais como, a juta, coco, algodão e o sisal entre outras. As fibras vegetais são classificadas de acordo com a sua origem nas plantas e podem ser agrupadas em:

- Fibras de caule - ou das partes internas das cascas, em feixe, também chamadas fibras duras para uso têxtil;
- Fibras de folha - que correm no sentido do comprimento das folhas de monocotiledôneas, também referidas como fibras duras;
- Fibras de semente - principalmente o algodão, constituindo as principais fontes de fibras vegetais;
- Fibras de fruto - entre as quais, a de coco.

Existem cerca de 250.000 espécies de plantas superiores, mas menos de 0,1% são comercialmente importantes como fontes de fibras (YOUNG, 1994). O mecanismo de ligação das fibras é, portanto, mecânico e químico, unido pelo material ligante da planta. As fibras são constituídas por um número de células que apresentam um tubo de polígonos irregulares com cavidades centrais ocas, cujo espaço é ocupado por um protoplasma celular denominado lúmen. Estas células representam a última divisão da fibra, repousando lado a lado e sobrepostas (HUMMERFARD e REBEMFIELD, 2005).

Como desvantagens, há inicialmente a baixa temperatura de processamento devido à possibilidade de degradação e/ou emissões voláteis a temperaturas mais elevadas, que podem afetar as propriedades do compósito. A temperatura de processamento é limitada a aproximadamente 200°C embora seja possível usar maiores temperaturas por curtos períodos. No caso de compósitos com resinas termofixas essa característica não é limitante, uma vez que a cura das resinas ocorre, geralmente, em temperaturas inferiores. Uma segunda desvantagem é a alta absorção de umidade que pode causar o inchaço das fibras e influir na estabilidade dimensional do compósito.

A deterioração das fibras surge como resultado da perda de aderência química ou mecânica, ou seja, pela quebra das ligações de hidrogênio das moléculas celulares, deterioração das microfibrilas e/ou fibrilas da fibro-célula. A deterioração das fibras pode surgir também da deterioração das lamelas e/ou lamelas médias, (TOLEDO, 1993).

A longa exposição das fibras vegetal a ambientes úmidos leva a sua decomposição biológica. Isso surge como resultado da desintegração gradual das lamelas, conduzindo à separação das paredes das células. A maioria dos ambientes agressivos conduz ao mecanismo de ataque químico. Eles causam deterioração da fibra atacando quimicamente as microfibrilas e/ou lamelas coloidais. Se forem as microfibrilas que são afetadas, isso implica em ataque químico direto nas moléculas de celulose de que elas são feitas. Se forem os colóides que são atacados, isto implica em ataque químico na lignina, pectina, hemicelulose e outros, (TOLEDO, 1993).

O processamento para separação dessas fibras pode se dar através do apodrecimento controlado, por enzimas ou bactérias (bioquímicos e/ou biológico), que agem na pectina do caule ou da folha. Outros métodos de apodrecimento fazem uso de orvalho, sol, fungos, água. Métodos físicos e químicos geralmente utilizam hidróxido de sódio, carbonato de sódio, detergentes ou ácidos minerais. As alternativas químicas são as mais caras e não produzem fibras de melhor qualidade (YOUNG, 1994).

Na seleção das fibras para aplicações industriais faz-se necessário o conhecimento de sua composição e estrutura, como também, das características chave para o seu desempenho como: comprimento, resistência, cor, densidade entre outras. De um modo geral as fibras são higroscópicas e suas propriedades mecânicas são determinadas pelas características físicas, as quais sofrem influência do ambiente que foram produzidas, levando a diferentes resultados para um mesmo tipo de fibra. Conseqüentemente, nas análises mais acuradas, deve levar em consideração a procedência das amostras (HUMMERFARD e REBEMFIELD, 2005).

A alta resistência mecânica específica (com relação à densidade) e baixo custo dessas fibras, aliada à necessidade de busca de novas aplicações de recursos naturais, abundantes em nosso país, tem atraído a atenção de pesquisadores de diversas áreas para o desenvolvimento de compósitos reforçados com fibras naturais.

A avaliação dos estudos promovida pela European Commission Industrial Fiber Crops revela que o uso das fibras naturais como elemento de reforço na indústria de materiais compósitos tem se mostrado muito satisfatório, tendo em vista o aproveitamento de matérias-primas antes restritas somente ao setor têxtil (SCIENCE RESEACH DEVELOPMENT, 1994).

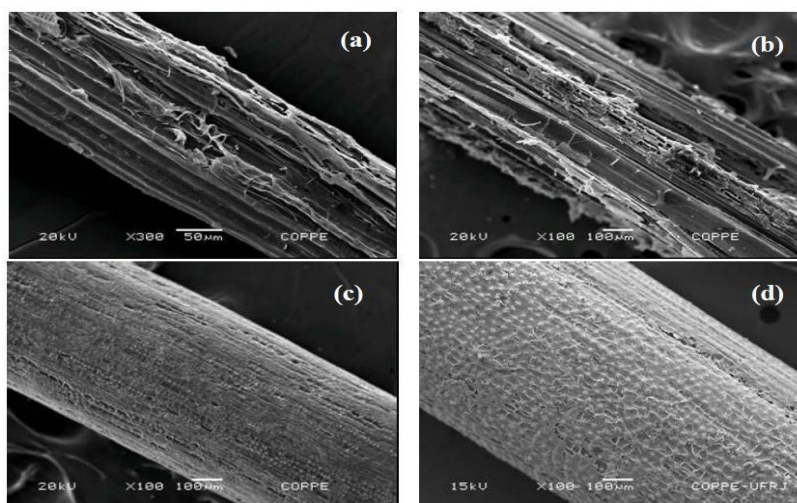
3.9. FIBRAS ALGODÃO BRABO

Cochlospermum é o nome científico do Algodão Brabo e está presente em todas as regiões do Brasil, além de Bolívia e Paraguai. Ocorre em formações abertas, principalmente no Cerrado. Pode apresentar comportamento ruderal, e são árvores que atingem um tamanho de 3-15 metros de altura, como mostrado na figura abaixo. (LLERAS, E. 2015).

3.10. COMPÓSITOS REFORÇADOS COM FIBRAS NATURAIS

Uma das mais importantes formas de materiais poliméricos são as fibras, que podem ser descritas como flexíveis, macroscopicamente homogêneas, com alta relação entre comprimento e seção transversal. As fibras podem ser classificadas de acordo com sua origem em fibras naturais e sintéticas.

Figura 3 - Microscopia eletrônica de varredura da superfície de fibras naturais lignocelulósicas: a) sisal, b) bambu, c) coco e d) piaçava.



Fonte: Monteiro *et al*, 2010.

As fibras naturais são derivadas de animais, vegetais e minerais. As propriedades físicas de uma fibra dependem de sua estrutura química e cada uma tem seu próprio aspecto quando analisada e submetida ao microscópio. As fibras naturais são bastante heterogêneas, pois dependem do tipo de solo, das condições climáticas, dos fertilizantes utilizados, do tipo de colheita, das folhas, dos frutos ou do caule dos vegetais.

Dentre os materiais compósitos, o reforço tipo fibra tem despertado grande interesse em engenheiros da indústria de diversos setores como automotiva, da construção mecânica, metalúrgica, farmacêutica, naval, aeronáutica, aeroespacial entre outras. Uma vez que a forma fibrosa de um material possui elevada resistência à tração e alto módulo de elasticidade, este

tipo de material é usado atualmente como material de engenharia em combinação com uma matriz que, além de envolver e proteger a fibra deforma sob a ação de uma força e lhe distribui a tensão, impedindo a propagação de falhas. A tabela 1 lista para algumas fibras naturais e sintéticas o módulo de elasticidade e resistência (BLEDZKI & GASSAN, 1999).

Tabela 1 - Propriedades mecânicas de fibras naturais e de fibras sintéticas usadas como reforço.

Fibra	Densidade (g/cm ³)	Alongamento (%)	Resistência à Tração (Mpa)	Módulo de Elasticidade (Gpa)
Coco	1,2	30,0	175	4,0 - 6,0
Algodão	1,5 - 1,6	7,0 - 8,0	287 - 597	5,5 - 12,6
Juta	1,3	1,5 - 1,8	393 - 773	26,5
Linho	1,5	2,7 - 3,2	345 - 1035	27,6
Cânhamo	***	1,6	690	***
Rami	***	3,6 - 3,8	400 - 938	61,4 - 128
Sisal	1,5	2,0 - 2,5	511 - 635	9,4 - 22,0
Krafft ^a	1,5	***	1000	40,0
E-vidro ^b	2,5	2,5	2000 - 3500	70,0
Carbono (padrão)	1,4	3,3 - 3,7	3000 - 3150	63,0 - 67,0

Fonte: Barbosa, 2011.

Um critério decisivo para a escolha do tipo adequado de fibra é o seu módulo de elasticidade. Uma comparação entre os valores de resistência de diversas fibras naturais com relação os correspondentes às fibras de vidro mostraram que, por exemplo, os valores absolutos característicos das fibras tropicais eram de apenas metade do nível correspondente aos valores característicos da fibra de vidro. Contudo, devido ao fato de sua densidade ser aproximadamente 45% menor, as fibras naturais apresentam níveis de resistência específica comparáveis aos da fibra de vidro (BARBOSA, 2011).

A densidade apresentada pelas fibras naturais é um forte aliado para a utilização destas fibras, pois possuem valores menores que as fibras sintéticas. Além disso, o custo das fibras vegetais é menor, são materiais de fonte renovável, biodegradável e não são abrasivas aos equipamentos como as fibras de vidro e carbono, como já mencionado antes. Segundo Wambua e colaboradores (2003) testes comparativos foram realizados entre algumas fibras vegetais (sisal, coco, etc.) e concluiu que as propriedades mecânicas das fibras vegetais testadas são comparáveis às propriedades conseguidas com a fibra de vidro sendo, em alguns casos, superiores. Este estudo sugere que os compósitos com fibras vegetais têm potencial para substituição das fibras de vidro.

3.11. FABRICAÇÃO DOS MATERIAIS COMPÓSITOS

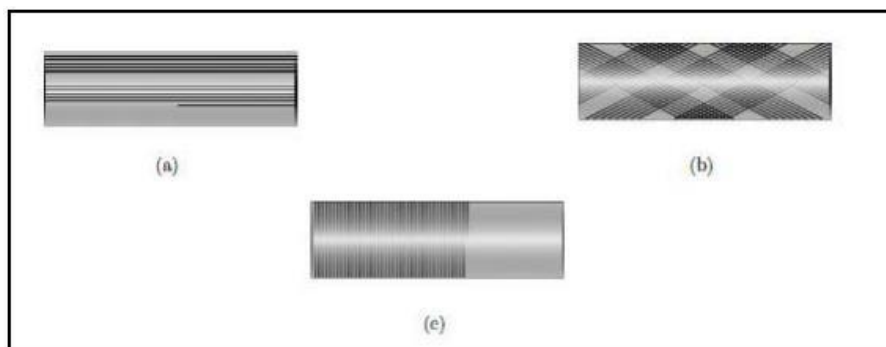
No processamento de compósitos (moldagem), diferentemente dos materiais metálicos e cerâmicos, a manufatura do material em si ocorre ao mesmo tempo em que o componente é submetido à moldagem. O estabelecimento do processo adequado para cada moldagem é determinado basicamente pelo tipo de matéria prima, tipo de reforço e matriz, e pelo tipo de geometria do componente a ser obtido. Os processos de fabricação podem ser manuais e/ou automatizados e a moldagem pode ser efetuada em molde aberto ou molde fechado. Os moldes abertos podem ser do tipo macho ou fêmea e os fechados incorporam, simultaneamente, as características dos moldes tipos macho e fêmea (NETO e PARDINI, 2006).

Ainda de acordo com Levy Neto e Pardini (2006) os processos de fabricação correspondem a 50 – 60% do custo total de um compósito. Este fato torna o assunto de fundamental importância para a comunidade industrial e científica, visando à redução dessa parcela no custo total do material.

Os processos em molde aberto são conhecidos por serem de baixa tecnologia e de menor custo, são eles:

- **Laminação manual** ou hand lay-up se caracteriza por ser um método simples de confecção de um compósito, não envolvendo nenhum investimento em equipamentos. A laminação consiste em sobrepor camadas de tecidos, mantas ou fibras, intercalando-as com uma resina (PARDINI e NETO, 2006).
- **Laminação à pistola** (Spray Up) utiliza fios cortados e resina que são projetados simultaneamente em um molde preparado e um rolo é passado para melhorar o processo de impregnação (diminuindo a presença de bolhas) e antes que a resina endureça.
- **Centrifugação** consiste nas misturas de fibras e resina que são introduzidas em um molde rotatório e curadas "in situ".
- **Enrolamento** (Filament Winding) é o processo onde a modelagem é feita através de enrolamento das fibras contínuas (roving) sobre molde rotatório. Também podem ser utilizadas mantas ou tecidos intercalados as etapas de enrolamento do roving. Este processo é bastante utilizado na fabricação de peças cilíndricas e tubulações (COSTA, 2012). A figura 4 apresenta esses padrões de enrolamento.

Figura 4 - Padrões de enrolamento da fibra sobre o mandril: a) polar, b) helicoidal e c) circunferencial.



Fonte: SILVA, 2014.

3.12. MERCERIZAÇÃO

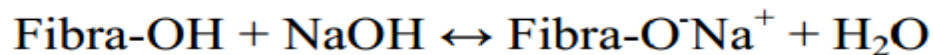
A mercerização é o tratamento das fibras de celulose com solução aquosa de NaOH. Ela altera tanto a estrutura fina e morfológica da fibra, como também a conformação das cadeias de celulose, produzindo mudanças na resistência e brilho da fibra e em suas propriedades de adsorção. Durante esse processo, o material expande-se e as cadeias de polissacarídeo são rearranjadas; a quantidade de material menos ordenado aumenta na fibra, enquanto a parte cristalina diminui. Estas mudanças resultam em alta adsorção devido à mercerização aumentar a área de superfície específica da fibra, fazendo com que os grupos hidroxila das macromoléculas de celulose tornem-se mais facilmente acessíveis (ALVARES, B. et al, 2006a).

Os principais componentes químicos das fibras vegetais são substâncias polares, tais como a celulose, a hemicelulose e a lignina, com menores percentuais de outros componentes como pectina, cera e substâncias solúveis em água; lembrando-se que esta composição poder variar ligeiramente de acordo com a região de cultivo, tipo de solo e condições climáticas (LEÃO, M.A.2008).

Devido à natureza hidrofóbica da matriz e hidrofílica das fibras, mas esses problemas são minimizados pela modificação da superfície das fibras ou pela adição de compatibilizantes. Porém, a integridade das partículas/fibras deve ser preservada e conseqüentemente, suas propriedades mecânicas.

Nos tratamentos alcalinos ocorre a quebra de ligações de hidrogênio que unem as cadeias de celulose, conferindo uma superfície mais rugosa com maior superfície de contato que auxilia no ancoramento mecânico, porém nesse processo ocorre remoção de lignina, hemiceluloses além de outros componentes além de outros componentes da partícula/fibra (RAZERA, I, A, T.2006).

Figura 5 - Reação de mercerização da fibra vegetal com hidróxido de sódio



Fonte: RAZERA, I, A, T.2006.

A desagregação das fibras pode ocorrer em um nível molecular devido ao rompimento de ligações hidrogênio entre as cadeias celulósicas vizinhas o que se reflete em um rearranjo dos feixes de fibras, mas o tratamento alcalino exerce uma maior influência nas polioses (hemicelulose) e lignina.

A mercerização usualmente é realizada com soluções alcalinas diluídas, para que não ocorra a degradação das fibras, pela extração excessiva de polioses e lignina. (RAZERA, I, A, T.2006).

3.13. ENSAIOS MECÂNICOS

Os ensaios mecânicos são utilizados em materiais poliméricos para determinar suas propriedades e desempenho. São de extrema importância nos mercados automotivos, embalagens, médico-hospitalar (especialmente implantes), construção civil, entre outros, uma vez que conhecendo suas propriedades é possível determinar a melhor aplicação.

3.13.1. Tração

O ensaio de tração é utilizado para determinar a curva Tensão x Deformação e medir as propriedades de Resistência à Tração, Módulo de Elasticidade, Tensão no Escoamento, Tensão na Ruptura, Deformação no Escoamento, Deformação na Ruptura, etc. Essas propriedades são importantes para o controle e especificação de materiais plásticos e para pesquisa e desenvolvimento. O ensaio pode ser realizado em corpos de prova, filmes, peças e produtos.

A norma para a realização deste ensaio nos materiais desta pesquisa é a **ASTM D638**, este método de ensaio abrange a determinação das Propriedades em tração de polímeros com ou sem reforço sob a forma de corpos de prova para teste padrão em forma de halteres ou gravata, quando testado em condições estabelecidas de pré-tratamento, temperatura, umidade e velocidade da máquina de testes. Este método de teste pode ser usado para materiais de teste de espessuras de até 14 mm (0,55 pol.). Os dados de teste obtidos por este método de ensaio são de grande relevância para o uso no projeto de engenharia. Os valores são expressos em unidades do SI que são considerados como valores padrão (ASTM, 1989). O método aplicado para o teste é projetado para analisar propriedades de tração dados para o controle e especificação de materiais plásticos. Estes dados também são úteis para a caracterização qualitativa e para pesquisa e desenvolvimento. Para muitos materiais, pode ser uma especificação que requer o uso do presente método de ensaio, mas com algumas modificações processuais que têm precedência quando aderindo à especificação (ASTM, 1989).

As propriedades de tensão podem variar de acordo com a preparação de amostras e com velocidade e ambiente de testes. Conseqüentemente, onde os resultados comparativos precisos são desejados, esses fatores devem ser cuidadosamente controlados (ASTM, 1989).

3.13.2. Impacto

Os ensaios de impacto Izod ou Charpy são utilizados para determinar a propriedade de Resistência ao Impacto. São largamente utilizados para determinar a energia de impacto ou a tenacidade de um corpo de prova padrão através da batida com um pêndulo. É um ensaio de extrema importância em materiais, pois mostra a habilidade dos mesmos em suportar batidas, servindo como uma etapa inicial de seleção de materiais para determinadas aplicações com base em um nível desejado de tenacidade sob impacto.

A **norma ASTM D5942** faz referência aos métodos padrões para a resistência a tenacidade Charpy em polímeros. O teste consiste em posicionar um corpo de prova em uma máquina que possui um pêndulo com uma espécie de “martelo” em sua extremidade externa, enquanto na extremidade interna é fixo em um eixo. Este pêndulo é solto de uma altura determinada, gira em torno do eixo da máquina e atinge o corpo de prova que está preso em uma pequena morsa (garras). No caso de equipamentos analógicos, existem dois ponteiros: O primeiro acompanha o movimento do pêndulo enquanto o segundo ponteiro é empurrado pelo primeiro. Quando o corpo de prova é atingido, o segundo ponteiro aponta para um valor que deverá ser usado para calcular o resultado final do teste.

A resistência ao impacto de corpos de prova mantidos por dias ao ar livre pode ser um pouco diferente daqueles corpos de prova testados logo após a fabricação. A norma também indica pequenos detalhes que ocorrem durante o teste, mas que podem criar divergências no resultado final, como por exemplo, a vibração do pêndulo que pode reduzir a energia de impacto caso o pêndulo não esteja posicionado ou a base da máquina não seja pesada o suficiente para evitar o balanço.

Devido à ocorrência das falhas no corpo de prova, pode ser considerado que necessariamente o martelo não precisa fraturar o corpo de prova e lançar os pedaços pelo laboratório para que o resultado seja considerado. Mesmo quando não ocorre a fratura, existem métodos de registrar o ocorrido em alguma dessas categorias: quebra completa; quebra articulada (dobradiça); quebra parcial e não quebra (NB).

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.

Segundo 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 nas comparações da norma. O seu cálculo é determinado por:

$$a_{cU} = \frac{W}{h \times b} \times 10^3$$

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.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. MATERIAIS

4.1.1. Matriz Polimérica

Para o desenvolvimento deste trabalho, o polímero utilizado como matriz polimérica foi a resina poliéster isoftálica insaturada, com catalisador Metil-Etil-Cetona (MEK – D45). Fabricados e comercializados pela empresa CENTERGLASS Resinas e Fibras de vidro LTDA.

Figura 6 - a) Resina Poliéster Isoftálica; b) Catalisador MEK - D45.



Fonte: OLIVEIRA, W. 2017.

4.1.2. Fibras Longas de Algodão Brabo

As fibras foram obtidas por meio da maceração do caule da planta de Algodão Brabo, utilizando o processo manual. Por fim as melhores fibras e sem defeitos com cerca de 100 a 150 cm foram cortadas no comprimento de 35 cm para a confecção de placas pelo método de compressão em molde de madeira de dimensões internas de 140x170x3mm, de acordo com a figura 7.

Figura 7 - Fibras Longas de Algodão Brabo.



Fonte: Autor 2018.

4.1.3. Fibras Cortadas de Algodão Brabo (5 mm, 10mm e 15mm)

Foram utilizados três tamanhos diferentes para a fibra de algodão bravo para a produção dos corpos de prova de acordo com as normas da ASTM. O objetivo da utilização da fibra cortada em 5mm, 10mm e 15 mm está pautado na avaliação do comportamento mecânico desta fibra em diferentes organizações direcionais e de tamanho.

Figura 8 - Fibras Cortadas de Algodão Brabo.

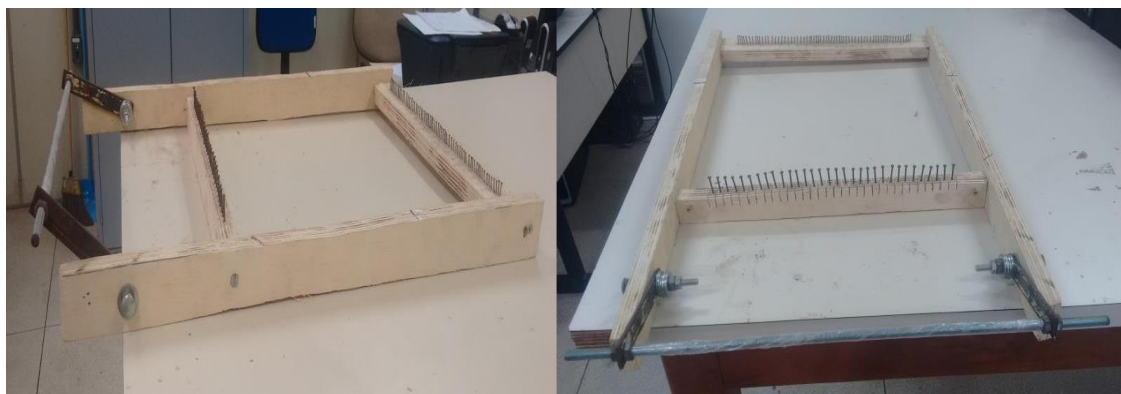


Fonte: Autor 2018.

4.1.4. Tear

O Tear é um aparelho mecânico ou eletromecânico empregado para fins de tecelagem, comumente conhecido como artefato ou máquina destinada ao fabrico de tecidos, malhas, tapetes, etc. Neste trabalho, o tear foi utilizado para a fabricação dos tecidos de fibras assim como para o alinhamento das mesmas, para posterior fabricação dos corpos de prova segundo a norma D3039, como pode ser visto de acordo com a figura 9.

Figura 9 – Tear.

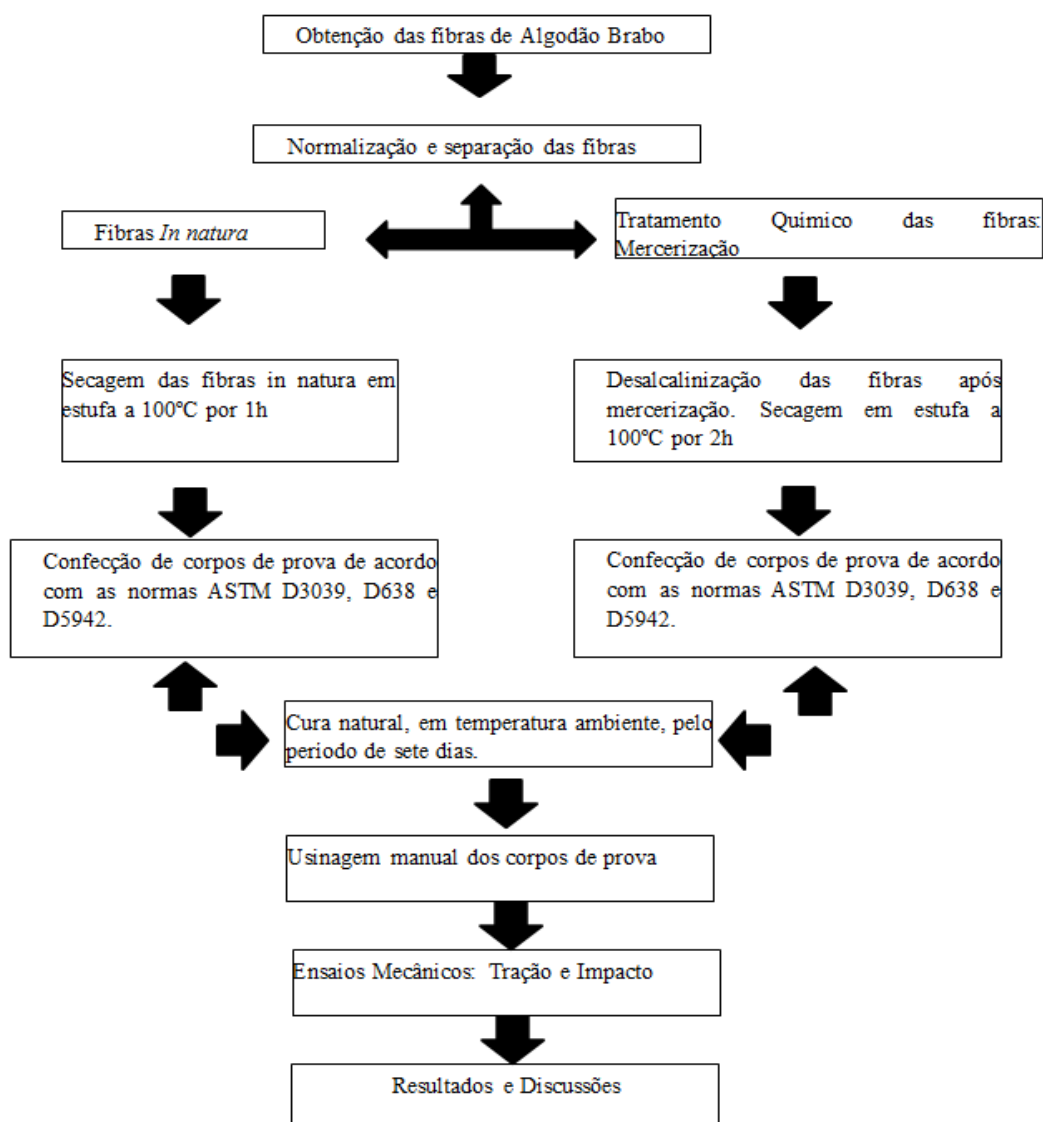


Fonte: SANTOS, H. 2017.

4.2 METODOLOGIA

A figura 10 expõe o trabalho realizado em um fluxograma, demonstrando todo o procedimento realizado.

Figura 10 - Fluxograma das Atividades.



4.2.1. Extração das Fibras Vegetais de Algodão Brabo

Para a obtenção das fibras de algodão brabo foi necessário o reconhecimento da árvore por um especialista no assunto, uma vez que a mesma não possui fácil identificação. Posteriormente, a casca dessa árvore foi retirada com o auxílio de facões e força manual para que as fibras presentes nela fossem extraídas. A árvore está apresentada na figura 10. Essa casca da árvore foi mantida submersa em água pelo período de 10 dias, como pode ser visto na figura 11, para que a extração das fibras pudesse ser feita, uma vez que esta está atrelada a casca da árvore. Passados os dias, as cascas já estavam prontas e então foram extraídas as fibras que subsequentemente foram para a normalização.

Figura 11 - Árvore Algodão Brabo.



Fonte: Autor 2018.

Figura 12 - Fibras de Algodão Brabo submersas na água.



Fonte: Autor 2018.

4.2.2. Preparação das Fibras Vegetais de Algodão Brabo

Após a extração, as fibras foram normalizadas e preparadas de acordo com suas respectivas funções no trabalho. Tal normalização foi feita manualmente e trata da relação entre tamanho e espessura da fibra, sendo o tamanho adequado para o uso no Tear (Instrumento utilizado para fabricação de mantas de fibra) é de 35 cm e uma espessura média de 5mm. Estas dimensões são utilizadas também para utilização da fibra cortada. As figuras 12, 13 e 14 demonstram a maneira como as fibras se comportaram durante o processo.

Figura 13 - Fibras antes da separação da casca.



Fonte: Autor (2018).

Figura 14 - Fibras separadas da casca antes da normalização.



Fonte: Autor (2018).

Figura 15 - Fibras separadas e normalizadas.



Fonte: Autor (2018).

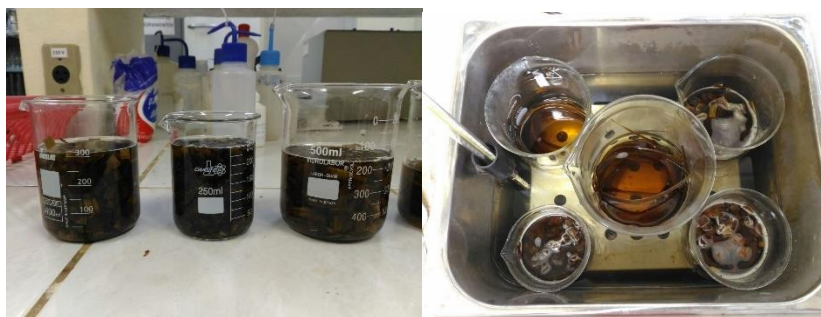
4.2.3. Mercerização

Para a realização do tratamento químico denominado mercerização, uma pesquisa na literatura foi feita para respaldo acerca dos percentuais de hidróxido de sódio a ser utilizado. Baseado em trabalhos anteriores, a quantidade escolhida para que não causasse muitos danos a fibra foi a de 2,5% de NaOH.

O hidróxido de sódio foi diluído em água destilada formando, assim, a solução responsável pelo tratamento químico. Para cada litro de água destilada foram usados 25g de NaOH.

Posteriormente, as fibras de algodão bravo longas e cortadas foram adicionadas a béqueres, separadas de acordo com seus tamanhos. Em seguida, esses béqueres foram cheios até a borda da solução de NaOH e em banho maria, sob agitação constante e fervura a 70°C.

Figura 16 - a) Fibras separadas nos béqueres submersas em solução de NaOH b) Processo de Mercerização em Banho Maria.



Fonte: Autor (2018).

Terminado o tratamento alcalino, as fibras foram lavadas em água destilada até ser alcançado um pH próximo do neutro e logo após postas em estufa a uma temperatura constante de 100°C por duas horas, a fim de remover a umidade.

4.2.4. Confeção das Pré-Pregs Usando Tear

Após normalização, secagem e mercerização das fibras, a produção das pré-pregs foi iniciada no tear, sendo este um processo inteiramente manual. Neste equipamento as fibras são amarradas por outra fibra, denominada, Sisal e colocadas uma ao lado da outra, formando um ângulo reto fibra e a linha de amarração. A linha de amarração precisa ser colocada de maneira correta no tear, com espaçamento entre elas de 4cm, devendo ser uma linha fixa e outra linha móvel. Ao final da montagem, a primeira e última linha amarrada deverão ser fixas.

Figura 17 – a) Pré-pregs prontas. b) Confeção das pré-pregs.



Fonte: (SANTOS, H. 2017).

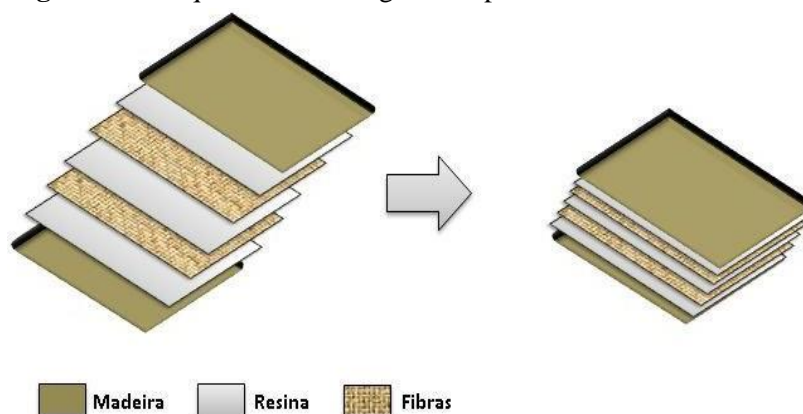
4.2.5. Fabricação das Placas

Para a fabricação de uma placa são necessárias duas mantas produzidas no tear. Após a fabricação destas, as mesmas são pesadas e tem seu peso úmido anotado. Em seguida, são colocadas na estufa por 10 minutos para a retirada de umidade presente e são novamente pesadas. Para a fabricação das placas é necessário que seja retirado o excesso em cada ponta das mantas.

A quantidade exata de resina para ser utilizada nas mantas para a preparação das placas é de exatamente 123 gramas e quantidade exata de catalisador é 0,90 gramas. Adicionando 7 gramas para as folhas de plástico e 25g para cada manta utilizada, sempre com o cuidado de pesar a quantidade de resina durante todo o processo, objetivando um resultado preciso. Uma mistura entre catalisador e resina foi feita em um processo fácil e rápido e em seguida a mistura foi aplicada as mantas.

O esquema abaixo explica a montagem das placas com as pré-pregs de fibras.

Figura 18 - Esquema de montagem das placas com mantas de fibras.



Fonte: (SANTOS, H. 2017).

Para que a confecção das placas fosse exercida de maneira correta, a pressão no esquema de montagem foi de meia tonelada, exercida por uma média de meia hora ou de um dia para o outro, caso deseje-se que a cura seja realizada com as placas ainda pressionadas. Retirada a pressão, se obtém a placa pronta para os retoques finais e para serem feitos os corpos de prova para o ensaio de tração segundo a norma D3039.

O mesmo procedimento foi realizado para as fibras in natura, ou seja, sem o tratamento químico de mercerização e produzindo a mesma quantidade de corpos de prova para a comparação dos resultados.

Após a confecção das placas, as mesmas foram cortadas em 28cm de comprimento e 1,5cm de largura para a realização do ensaio de tração. Após o corte, lixas cortadas no tamanho de 5,6cm foram coladas com cola Tek Bond 793 nas duas extremidades da placa.

4.2.6. Fabricação dos Corpos de Prova Segundo as Normas ASTM D638 e D5942

Para a fabricação dos corpos de prova de acordo com as normas ASTM, é necessário que a fibra tenha passado por todo o processo de normalização e separação. Posteriormente, as mesmas foram cortadas de acordo com os tamanhos desejados (5mm, 10mm e 15mm).

Estes corpos de prova são fabricados em molde de silicone. Para saber a quantidade exata de fibra a se usar na fabricação, um teste de volume é realizado no próprio molde de silicone, como mostrado na figura 18.

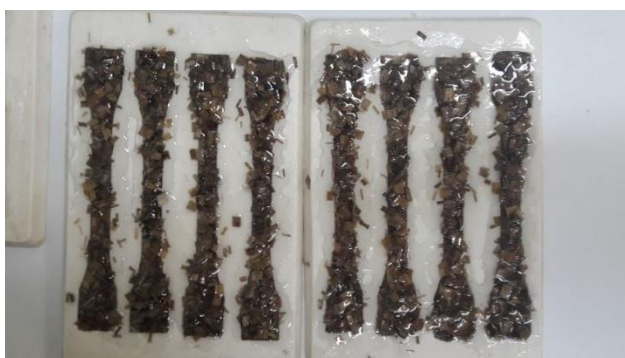
Figura 19 - a) Teste de volume para norma D5942 b) Teste de volume para norma D638.



Fonte: Autor (2018).

Após o teste de volume, as fibras cortadas foram pesadas e colocadas na estufa pelo período de 10 minutos, com o objetivo de remover a umidade presente nas mesmas. Após secas, as fibras são novamente pesadas e adicionadas a mistura resina/catalisador para a moldagem. A quantidade de resina a ser utilizada por molde é de 61,5 gramas e a de catalisador é 0,45gramas. Após 7 dias de cura os corpos de prova passaram por usinagem até uma espessura de 3,2 mm.

Figura 20 - Corpos de prova no molde aguardando a cura.



Fonte: Autor (2018).

O mesmo procedimento foi realizado para as fibras *in natura*, ou seja, sem o tratamento químico de mercerização e produzindo a mesma quantidade de corpos de prova para a comparação dos resultados.

4.2.7. Ensaio de Impacto

O ensaio de impacto realizado com pêndulo utilizado neste trabalho foi do tipo Charpy que permite a comparação de vários níveis de tenacidade entre materiais compósitos, através da quebra de corpos de prova sob condições inteiramente padronizadas.

Figura 21 - a) Ensaio de Impacto b) Corpo de Prova.



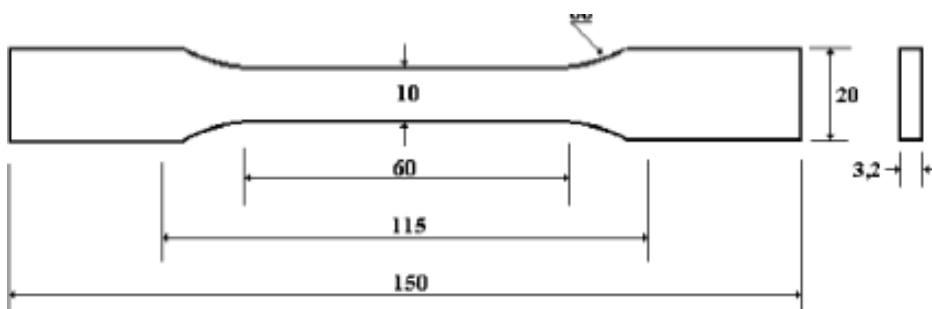
Fonte: Autor 2018.

Os compósitos obtidos passaram por um processo de inspeção visual para visualizar algum tipo de defeito na superfície, depois foram lixados para retirada das rebarbas e passaram por um acabamento superficial para a realização dos ensaios impacto.

4.2.8. Ensaio de Tração

O ensaio de tração foi realizado segundo a norma ASTM D638M e seguiram as medidas de fabricação demonstradas abaixo.

Figura 22 - Dimensões dos corpos de prova de tração segundo a norma ASTM D638.



Fonte: COSTA, (2012).

Os ensaios de tração dos compósitos foram realizados em máquina universal sistema de análise de dados através de software, com célula de carga de 5 kN, utilizando uma velocidade de 5 mm/min e comprimento útil para medição entre garras de 60 mm.

Figura 23 - a) Corpos de provas provenientes da placa prontos para o ensaio de tração
b) corpos de prova de 5mm com tratamento químico prontos para ensaio de tração.



Fonte: Autor (2018).

Os compósitos obtidos passaram por um processo de inspeção visual para visualizar algum tipo de defeito na superfície, depois foram lixados para retirada das rebarbas e passaram por um acabamento superficial para a realização dos ensaios de tração.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 EXTRAÇÃO DAS FIBRAS

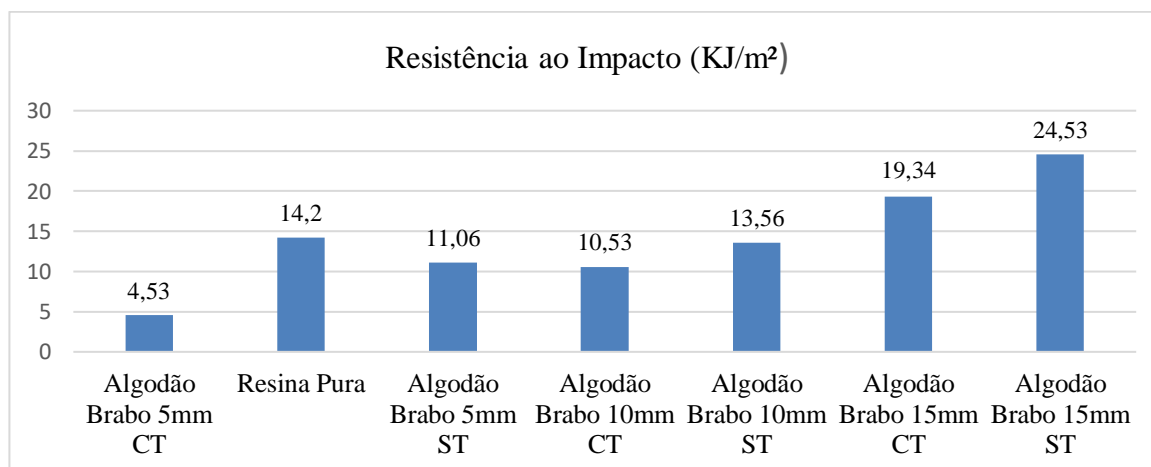
A fibra do algodão brabo apresenta facilidade em sua extração, porém é necessário que uma pessoa com experiência faça o reconhecimento da mesma. Com as cascas da fibra em mãos, a mesma foi deixada por dez dias submersa em água para o amolecimento e melhoria no ato da extração. Esta fibra apresentou odor forte, o que impossibilitou sua extração em laboratório, sendo necessário que sua extração fosse feita ao ar livre. Porém, após o processo de secagem, o odor desaparece.

5.2 ENSAIOS MECÂNICOS

5.2.1. Ensaio de Impacto

Nos ensaios de impacto tipo Charpy, a resistência ao impacto é quantificada em termos da energia de impacto absorvida por unidade de espessura do corpo de prova. Dessa forma, a resistência ao impacto Charpy pode ser expressa em termos da energia absorvida no impacto dividido pela área do corpo de prova.

Figura 24 - Gráfico Resistência ao Impacto



Fonte: Autor 2018.

Os corpos de prova testados apresentaram baixa resistência ao impacto ao serem comparados com outras fibras na literatura. O melhor resultado obtido foi o das fibras cortadas em 15mm sem tratamento químico, provando que as transformações sofridas pela fibra durante o processo de mercerização não surtiram efeito esperado, uma vez que os valores para as fibras sem tratamento foram superiores aos das fibras tratadas.

Os resultados dos ensaios de impacto mostram que a utilização de cargas como reforço pode contribuir nos mecanismos de absorção de energia, contribuindo para um aumento da

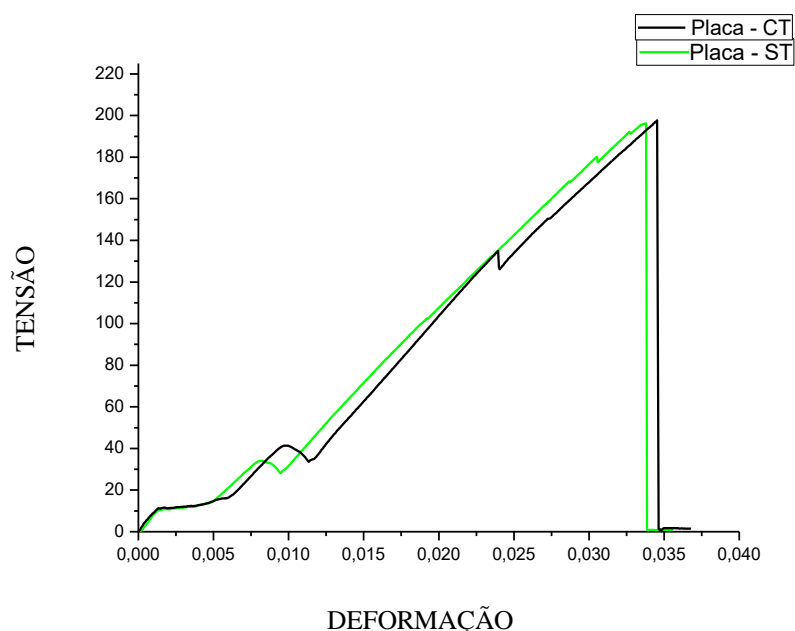
tenacidade do material. O aumento da energia absorvida pelo compósito teve contribuição do comprimento da fibra, neste caso 15 mm, o que é causado principalmente pelo princípio do mecanismo de extração e deslocamento da interface fibra/matriz, que provocam a criação de uma maior área superficial de fratura dentro do compósito aumentando a fricção na interface.

O alongamento na ruptura aumenta com o tamanho das fibras, o que é tido como indicativo de uma redução na rigidez da matriz, ou seja, na medida em que o alongamento e a resistência dos compósitos, pode-se esperar um aumento nas propriedades de impacto do compósito com o maior tamanho de fibras.

5.2.2. Ensaio de Tração

As fibras funcionam como ponte de transferência de tensões quando submetidas ao carregamento, sendo assim os compósitos não sofrem ruptura brusca proporcionando ao compósito maior capacidade de deformação. Estes foram os casos dos corpos de prova confeccionados de acordo com a norma ASTM D3039. As placas oriundas desse procedimento apresentaram valores altos de Tensão x Deformação, na ordem de 220 MPa, como pode ser observado no gráfico da figura 24 para fibras com e sem o tratamento químico.

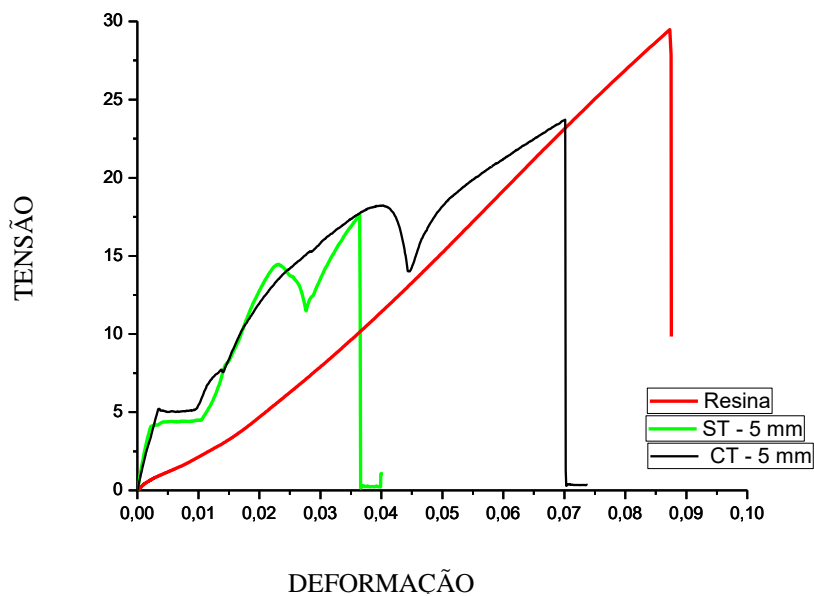
Figura 25 - Gráfico Tensão (MPa) X Deformação (mm/mm) para Placas CT (com tratamento) e ST (sem tratamento).



Fonte: Autor (2018).

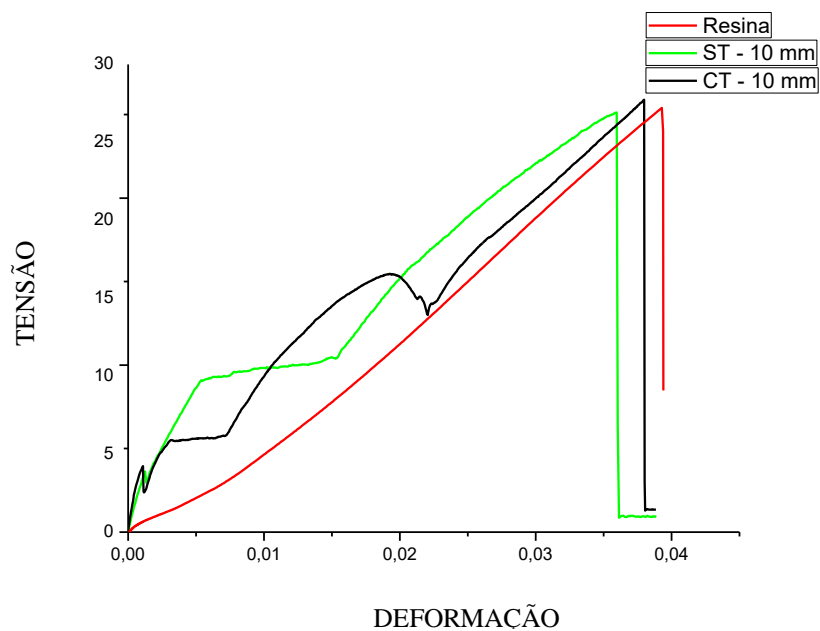
Tal resultado deve-se ao fato de que as fibras com orientação unidirecional apresentam melhor capacidade de interação matriz/fibra.

Figura 26 - Gráfico Tensão (MPa) X Deformação (mm/mm) para corpos de prova de 5mm CT (com tratamento) e ST (sem tratamento).



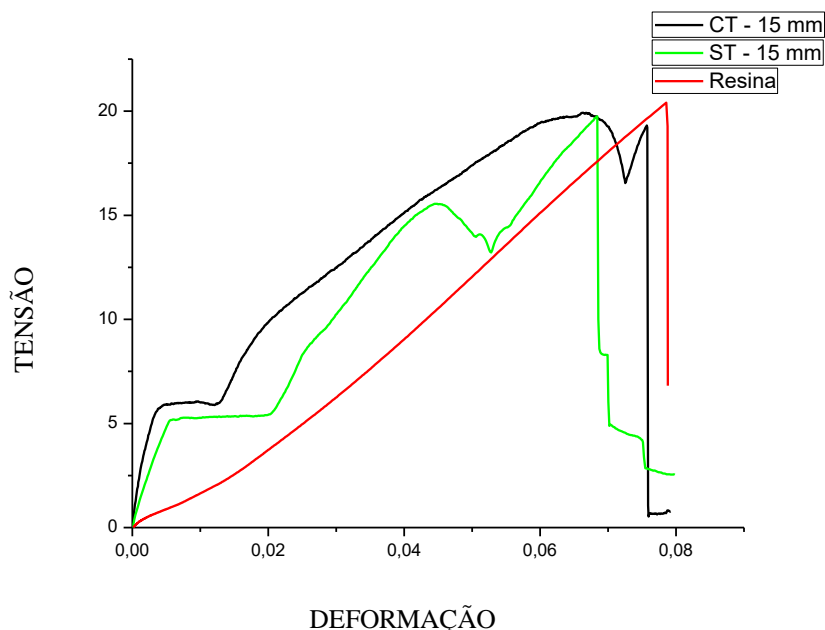
Fonte: Autor (2018).

Figura 27 - Gráfico Tensão (MPa) X Deformação (mm/mm) para corpos de prova de 10mm CT (com tratamento) e ST (sem tratamento).



Fonte: Autor (2018).

Figura 28 - Gráfico Tensão (MPa) X Deformação (mm/mm) para corpos de prova de 15mm CT (com tratamento) e ST (sem tratamento).



Fonte: Autor (2018).

Fica evidenciado que a resistência dos compósitos aumenta com o comprimento de fibras de 5 a 15mm, tendo seu valor mais elevado para as fibras que passaram pelo tratamento químico de mercerização. As resistências de compósitos reforçados por fibras curtas dependem principalmente da eficiência de transferência de tensões da matriz às fibras. A eficiência desta transferência de tensões, por sua vez, depende do comprimento das fibras e da magnitude das interações na interface fibra-matriz.

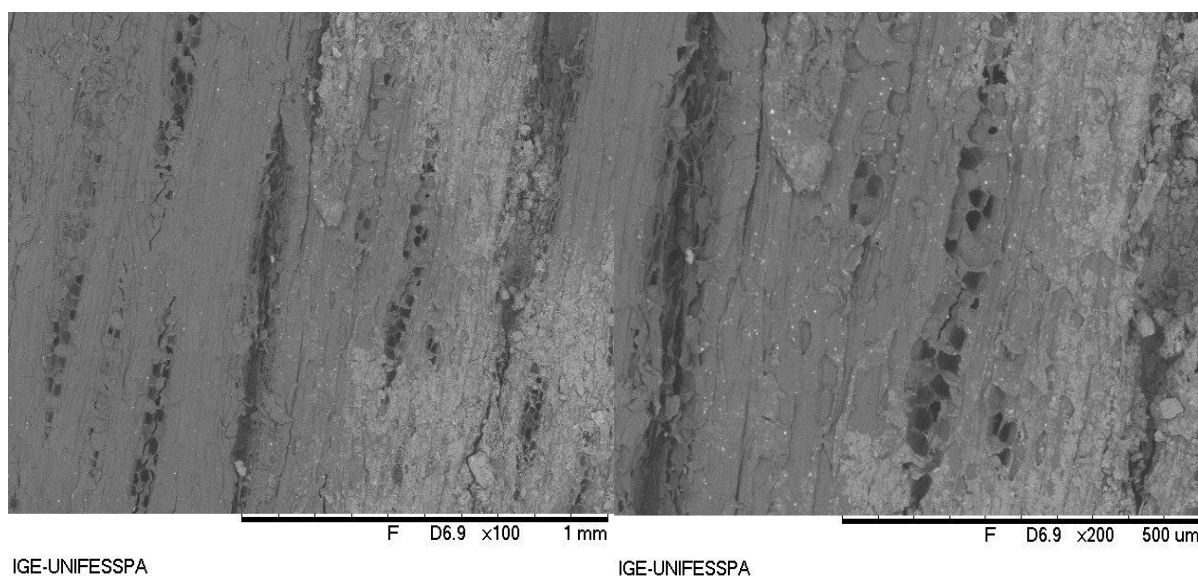
Em compósitos reforçados por fibras curtas há um comprimento crítico de fibras necessário para que a resistência máxima (transferência de tensões) possa ser alcançada. A razão de aspecto crítica depende da fração volumétrica das fibras e também da razão entre os módulos das fibras e da matriz. A baixo carregamento (baixa fração volumétrica de reforço) as fibras influenciam pouco a resistência do compósito que é dominada pela matriz. Acima de um volume crítico de fibras, a resistência dos compósitos aumenta com o teor de fibras. Em geral, quanto maior a razão de aspecto, menor é este volume crítico. A teores de fibras relativamente baixos, a razão de aspecto crítica permanece praticamente constante; decrescendo abruptamente a elevados teores de fibras. Se o comprimento da fibra empregada como reforço for inferior ao comprimento crítico, a fibra irá ser sacada da matriz e o compósito falhará a baixas tensões. Quando o comprimento das fibras é maior do que o comprimento crítico, a transferência de tensões torna-se eficiente e haverá rompimento das fibras, de modo que compósitos de elevada resistência mecânica são obtidos (KURUVILLA, J. 1999).

Para as fibras de 5mm com e sem tratamento químico, os resultados mostram que a resistência do compósito é menor que a referente a matriz. Aumentos subsequentes no tamanho das fibras (10mm e 15mm) levam a aumentos na resistência dos compósitos. O fato da resistência dos compósitos de 5mm com e sem tratamento químico, ser inferior à da matriz é atribuído a matriz não ser ancorada suficientemente pelas fibras e deformações locais elevadas ocorrem na matriz a baixas tensões, o que faz com que a ligação fibra-matriz se rompa e a matriz seja diluída por fibras não reforçantes e sacadas. A medida em que o tamanho das fibras aumenta, as tensões passam a ser mais uniformemente distribuídas e a resistência do compósito aumenta.

5.3 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

A análise da fibra foi feita através da microscopia eletrônica de varredura, tendo sua morfologia exposta das figuras a seguir.

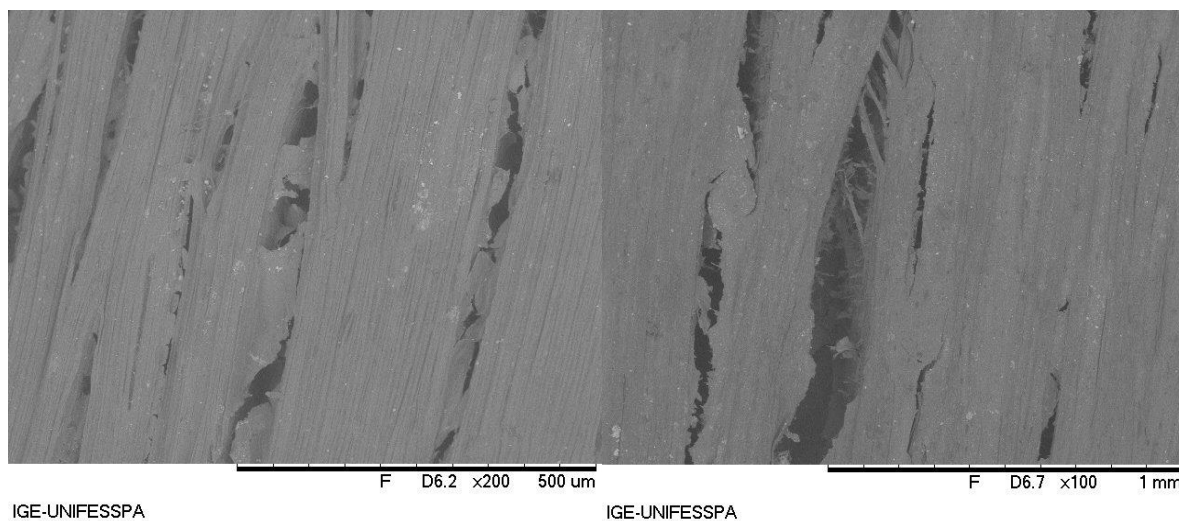
Figura 29 - Morfologia da fibra de algodão brabo sem tratamento químico 200x b) Morfologia da fibra de algodão brabo sem tratamento 100x.



Fonte: Autor (2018).

Na análise microscópica da fibra de algodão brabo sem o tratamento químico de mercerização exposta na figura 28, é notável a presença de matéria orgânica em excesso, sendo esta composta por lignina e hemicelulose. A presença desta dificulta a interação fibra/matriz na confecção do compósito, o que, de acordo com a literatura, reduz suas propriedades mecânicas como resistência ao impacto e tração.

Figura 30 – a) Morfologia da fibra de algodão brabo com tratamento químico 200x b) Morfologia da fibra de algodão brabo com tratamento 100x.



Fonte: Autor (2018).

O objetivo do tratamento químico de mercerização é a retirada da matéria orgânica em excesso presente na fibra, o que dificulta sua interação fibra/matriz. Como pode ser visto na imagem 29, o tratamento realizou exatamente o que foi proposto, retirando o excesso de matéria orgânica e deixando a fibra com aparência mais "lisa".

Porém é necessário que fiquemos atentos a porcentagem de NaOH utilizada na solução, uma vez que seu uso em alto teor remove não apenas a matéria orgânica presente na fibra, como também acaba por retirar propriedades importantes da mesma, tais como a aderência desta à matriz polimérica.

6. CONCLUSÃO

O principal objetivo do trabalho em questão foi a avaliação do comportamento mecânico da fibra de algodão brabo, sendo ela tratada quimicamente através da mercerização ou não. Sabe-se que a realização do processo de mercerização tem por objetivo a retirada de matéria orgânica que dificulta a interação matriz/fibra, deste modo, melhorando as propriedades mecânicas do compósito. Entretanto, a porcentagem de 2,5% NaOH utilizada na realização desse trabalho ocasionou agressão ao tecido fibroso, provocando efeito contrário ao esperado para os corpos de prova submetidos aos ensaios de impacto e tração, no caso dos corpos de provas provenientes das placas. Logo, este procedimento de serventia para a melhora da interação matriz/fibra foi o responsável pela redução da capacidade do compósito de suportar o impacto e a tração, obtendo resultados superiores nas fibras que não foram quimicamente tratadas. Uma das possíveis razões para este comportamento está diretamente ligada ao poder de ataque do tratamento alcalino utilizado no que diz respeito as variantes de concentração e tempo.

Entretanto, para os corpos de prova confeccionados de acordo com a norma ASTM D638 para os ensaios de tração apresentaram valores superiores para as fibras tratadas quimicamente, tendo como melhor resultado as fibras cortadas na dimensão de 15mm. Já as fibras cortadas em tamanhos diferentes apresentaram os melhores resultados para o tamanho de 15mm sem mercerização para os ensaios de impacto. Todavia, apesar dos baixos resultados em termos de fibras mercerizadas para os corpos de prova das normas ASTM D3039 e D5942, as fibras que não passaram por este processo apresentaram bons resultados ao serem comparadas com outros compósitos poliméricos reforçados com fibras.

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- ✓ Variação da concentração de NaOH para fibras de algodão brabo no processo de mercerização;
- ✓ Fazer uma análise química das fibras, com o intuito de conhecer sua composição;
- ✓ Implementar um meio mais sofisticado para o corte das fibras e usinagem dos corpos de prova, visando à diminuição dos defeitos;
- ✓ Fazer um estudo de análise de fratura dos compósitos;
- ✓ Analisar a influência do tempo durante a mercerização.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDULLAH-AL-KAFI AND M. Z. ABEDIN. **Study on the mechanical properties of jute/glass fiber-reinforced unsaturated polyester hybrid composites: effect of surface modification by ultraviolet radiation.** v.25; p. 575-587;2006.

ADAMS R. D. AND SINGH M. M. **The effect of immersion in sea water on the dynamic properties of fibre-reinforced flexibilised epoxy composites.** *Composite Structures.* v. 31; p. 119-127; 1995.

AGOPYAN, V.; SAVASTANO JR., H. **Uso de materiais à base de fibras vegetais na construção civil: experiência brasileira.** In: SEMINARIO IBEROAMERICANO 1997 DE MATERIAIS FIBRORREFORZADOS, 1. Y REUNION DEL PROYECTO PIP

AHMED S. AND JONES F. R. **A review of particulate reinforcement theories for polymer composites.** *Journal of Material Science,* vol 25, pp. 4933-4942, 1990.

AL-QURESHI, H. A. - **Composite Materials: Fabrication and Analysis** – Ed. 2., São José dos Campos, 1983.

AL-QURESHI, H. A. - **Denominações de concentração de tensões e propriedades mecânicas dos materiais plásticos reforçados.** IV CONGRESSO BRASILEIRO DE PLASTICOS REFORÇADOS, Anais, São Paulo: (S.n.): 1986.

AGARWAL, B.D.; BROUNTMAN, L.J. (1990) **Analysis and Performance of Fiber Composites,** *Nova York: John Wiley & Sons.*

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

ALONSO, T. V., (2013) **Estudo da reação de formação de adutos gerados por resina epóxi e polialquilenoglicóis.** *Dissertação de Engenharia Química.* Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

AQUINO, R.C.M.P., MONTEIRO S.N., D'ALMEIDA J.R.M. (2003) **Evaluation of the Critical Fiber Length of Piassava (*Attalea funifera*) Fibers using the Pullout Test,***J. Mater. Sci. Letters,* v. 22, p. 1495-1497.

ANTEQUERA, P.; JIMENES, L. & MIRAVETE, A. **Los Materiales Compuestos de fibra de vidro** – Universidad de Zaragoza, Espana, 1991.

AQUINO, E. M. F. – **Estudo da umidade na resistência e fratura de compósitos tubulares.** IV Congresso de engenharia mecânica N/NE. Recife, 1996.

AQUINO, E. M. F. **Estudo do impacto de baixa velocidade em placas sanduíches de plástico reforçado.** V Congresso de engenharia mecânica N/NE. Vol. 1, ceará, 1998.

AQUINO, E. M. F. et al. **Propriedades mecânicas e mecanismo de dano em compósitos fibrosos tipo sanduíche.** Anais XV Cobem. SP. v 1;p. 1-10; 1999.

a AQUINO, E. M. F. et al. **Strength/stiffness study in composite laminated tubes**. Second International congress on metallurgy and materials. SP. v 1; p. 1-8; 1997.

AQUINO, E. M. F. **Identificação do modo de fratura de compósitos poliésteres – Vidro-E.13°** CBCIMAT. Vol. 1, Paraná, 1998.

AQUINO, E. M. F. **Propriedades mecânicas e mecanismo de danos em compósitos fibrosos tipo sanduíche**. XV COBEM. Vol. 1, São Paulo, 1999.

AQUINO, E.M.F. – **Analisis del cComportamiento Mecanico de Laminados Quasi- Isotropos PRFV** – Tesi doctoral, Universidad Politecnica de Madrid, Madrid, p. 184,1992.

AQUINO, E.M.F. AND MARGARIA, G. **Influence of moisture absorption on the mechanical properties of polyester/fibre glass-E composites**. Proceedings of Second international congress on metallurgical and materials technology, São Paulo, Brazil, 1997.

AQUINO, E.M.F.; Rodrigues, L.P.S. Oliveira, W; and Silva, R.V. **Moisture Effect on degradation of Jute/Glass Hybrid Composites**. Journal of Reinforced Plastics and Composites, Vol. 27, No. 1, 219-233 (2007).

ARAÚJO, M.; CASTRO, E. M. M. **Manual de engenharia têxtil**. Fundação Calouste Gulbenkian. 1984, Lisboa.

ASTM D 638 – 90. “**Standard Test Method for Tensile Properties of plastics**”, Philadelphia, 1990.

ASTM D 790 - 90. “**Standard Test Method for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials**”, Philadelphia, 1990.

BENINI, K. C. C. C. **Desenvolvimento e caracterização de compósitos poliméricos reforçados com fibras lignocelulósicas:HIPS/fibra da casca do coco verde e bagaço de cana de açúcar**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2011.

BLEDZKI, A.K.; GASSAN, J. **Composites reinforced with cellulose-based fibres**. Prog. Polym. Sci, v. 24, p. 221-274, 1999.

BARBOSA, A. P., (2011) **Características estruturais e propriedades de compósitos poliméricos reforçados com fibras de buriti**. *Tese de Engenharia e Ciências de Materiais*. Universidade Estadual do Norte Fluminense.

BEVITORI, A. B., SILVA, I.L.A., LOPES, F.P.D., MONTEIRO, S.N. (2010) **Diameter dependence of tensile strength by Weibull analysis: Part II jute fiber**, *Rev. Mater.*, v. 15(2), p. 125-131.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2006. v. 2, 627 p.

BONFIM, R. F. S. **Fibras sintéticas e o futuro da economia da juta**. Amazonas, SUDAM, 1968. 63p.

BONNIAU P. AND BUNSELL A. R. **A comparative study of water absorption theories applied to glass epoxy composites.** Journal of Composite Material. v. 15; p.272; 1981.

CASARIL, A. **Modelagem matemática e avaliação experimental do módulo de elasticidade de materiais compósitos particulados de matriz fenólica para uso como material de fricção.** Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciências dos Materiais) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Porto Alegre. 2009. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/18324>

COSTA, D. S. **Caracterização de materiais compósitos de matriz Poliéster e fibras de bambu, sisal, e vidro e híbridos bambu/sisal, bambu/vidro e sisal/vidro.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Pará, Pará, 2012.

CAHN J. W. ; HANDWERKER, C. A. **Equilibrium geometries of anisotropic surfaces and interfaces,** vol. 162, no 1-2 (41 ref.), pp. 83-95 (1993).

CALLISTER Jr., W. D. – **Materials Science and Engineering – An Introduction.** Third Editton, John Wilen Sons, INC, New York, 1994.

CÂNDIDO, G. M. **Influência do Condicionamento Ambiental na Resistência à Delaminação de Bordas Livre em Compósitos Avançados.** São Jose dos Campos: ITA/CTA, 2001. Dissertação de Doutorado.

CÂNDIDO, G. M.; ALMEIDA, S. F. M.; REZENDE, M. C. **Processamento de Laminados de Compósitos Poliméricos Avançados com Bordas moldadas.** Polímeros: Ciência e Tecnologia, v.10, n.1, p.31-41, 2000.

CARASCHI, J.C.; LEÃO, A.L. **Chemical and Thermal Characterization of Curauá fiber.** In: INTERNATINAL CONFERENCE ON FRONTIERS OF POLYMERS AND ADVANCED MATERIAILS, 5., Pozna, 1999. Proceedings. Poznan, s.ed., 1999. p.13- 14.

CARVALHO, A. **Fiberglass x Corrosão – Especificação, Instalação e manutenção de equipamentos de Fiberglass para Ambientes Agressivos,** ASPLAR, 425 p., São Paulo, 1992.

CHIAVERINI, V. **Tecnologia Mecânica,** v. II, 2ª Ed., Mc Graw-Hill, São Paulo, 1986. CHOU, T.W.; McCullough, R.L.; Pipes, R.B.: “Composites”, Scientific American, Vol.

254, 193p, 1986.

CLARK R. A. AND ANSELL M. P. Journal of Material Science. v. 21; p. 269-276; 1986. CORREIA, A. Z. – **Métodos e Processos para Fabricação de Materiais Compósitos –EMBRAER,** 56P., São Paulo, 1988.

HULL, D. **An Introduction to Composite Materials.** Ed. Cambridge University Press, Cambridge, 246 p., 1988.

JOLY, C; M. KOFMAN; e R. GAUTHIER, **Polypropylene/Cellulosic Fiber Composites: Chemical treatment of the Cellulose** Assuming Compatibilization Between 22 the two Materials. J. Pure Appl. Chem. A33 (12): 1981-1996.

JOSEPH, K. **Effect of Chemical Treatment on Tensile Properties of Short Sisal Fiber-Reinforced Polyethylene Composites**, Polymer, 37:4139 (1996).

JOSEPH, P. V. ET AL., “**Environmental Effects on the Degradation Behavior of Sisal Fibre Reinforced Polypropylene Composites**”, Composites Science and Tecnology, vol. 68, pp. 1357-1372, 2002.

JOSEPH, P. V., Mathew, G., Joseph, K., Groeninckx, G., Thomas, S. – **Dynamic mechanical properties of short sisal fiber reinforced polypropylene composites**. Composites: Part A, vol. 34. págs: 275-290. 2003.

KALAPRASAD, G. E KURUVILLA, J., “**Influence of short glass fibre addition on the mechanical properties of sisal reinforced low density polyethylene composites**”, Journal of composite materials, vol. 31, n. 5, pp. 509-527, 1997.

KOZLOWSKI, R.; MIELENIK, B.; and PRZEPIERA, A. 1993. **Plant Residues as Raw**

Materials for Particleboards. Institute of Natural Fibers, Poznań, Poland. April 12-14, 1993.

KOSHY, P.; PAVITHRAN, C. – **Influence of interfacial adhesion on the mechanical properties and fracture behavior of short sisal fiber reinforced polymer composites**. European Polymer Journal, v.32, n.10, p. 1243-1250, 1996.

LADCHUMANANANDASIVM, R. Apostila – **Ciências dos Polímeros e Engenharia de Fibras I**, Capítulo 2, março, 2002, 39 p.

LEÃO, A. L.- **Produção de compósitos à base de fibras naturais para utilização na industrial automobilística**.

