



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS DE MARABÁ
FACULDADE DE ENGENHARIA DE MATERIAIS**

JULIANA DOS SANTOS RODRIGUES

**PENTE DE MACACO (*Apeiba tibourbou* AUBL): UMA ALTERNATIVA PARA
REFORÇO EM COMPÓSITOS POLIMÉRICOS ANTES E APÓS MERCERIZAÇÃO.**

MARABÁ-PA
2013

JULIANA DOS SANTOS RODRIGUES

PENTE DE MACACO (*Apeiba tibourbou* AUBL): UMA ALTERNATIVA PARA REFORÇO EM COMPÓSITOS POLIMÉRICOS ANTES E APÓS MERCERIZAÇÃO.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Materiais, Campus de Marabá, Universidade Federal do Pará. Orientador: Prof. Esp. Márcio Paulo de Araújo Mafra.

MARABÁ-PA
2013

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

Rodrigues, Juliana dos Santos

Pente de macaco (*Apeiba tibourbou* AUBL): uma alternativa para reforço em compósitos poliméricos antes e após mecerização / Juliana dos Santos Rodrigues; orientador, Márcio Paulo de Araújo Mafra. — 2013.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de Marabá, Faculdade de Engenharia de Materiais, Marabá, 2013.

1. Compósitos poliméricos - Propriedades mecânicas. 2. Pente de Macaco. 3. Maceração. I. Mafra, Márcio Paulo de Araújo, orient. II. Título.

CDD: 21. ed.: 620.192

JULIANA DOS SANTOS RODRIGUES

PENTE DE MACACO (*Apeiba tibourbou* AUBL): UMA ALTERNATIVA PARA REFORÇO EM COMPÓSITOS POLIMÉRICOS ANTES E APÓS MERCERIZAÇÃO.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Materiais, Campus de Marabá, Universidade Federal do Pará. Orientador: Prof. Esp. Márcio Paulo de Araújo Mafra.

Data de aprovação

____/____/____

Conceito:_____

Banca Examinadora

Orientador: Prof. Esp. Márcio Paulo Araújo Mafra

Membro Interno: Prof. Me. Luís Fernando Nazaré Marques.

Membro Interno: Prof. Dr^o Elias Fagury Neto

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho aos meus pais, Antonio Rodrigues dos Santos e Rosa dos Santos Rodrigues, aos meus padrinhos Maria Dureis da Silva Santana e Luís Santana de Morai. Dedico também aos meus queridos irmãos Raimundo Jance (In memorian), Adriana Kelly dos Santos Rodrigues, Fabiano dos Santos Rodrigues e Flaviano dos Santos Rodrigues.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus pela sabedoria e saúde. Agradeço também a meus pais Antonio e Rosa, pelo amor, conselhos e compreensão nos momentos em que estive distante. Aos meus padrinhos Maria Dureis e Luís, pela ajuda, compreensão e amor que tiveram enquanto estive em Marabá, aos meus irmãos pelo carinho e força.

Agradeço também ao Professor Márcio Mafra, pela confiança e ensinamentos.

Aos técnicos, em especial Tatiany, Gilson e Artur, por apoiarem no desenvolvimento da parte experimental deste trabalho, sendo flexíveis e prestativos na divisão dos seus conhecimentos acadêmicos.

À Universidade Federal do Pará – Faculdade de Engenharia de Materiais, pela minha formação em Engenharia de Materiais.

Aos meus colegas de turma FEMAT 2008, pelos momentos compartilhados ao longo desses cinco anos.

As minhas amigas, que ganhei como um presente ao longo desses cinco anos, Camila Yuri, Juliana Silva, Patrícia Nogueira e Rafaela Oliveira.

E a todos que de forma direta ou indireta contribuíram para minha formação.

A ciência é à procura da verdade, não é um jogo no qual uma pessoa tenta derrubar seus oponentes, prejudicar outras pessoas.

Linus Pauling

Minhas raízes estão no ar Minha casa é qualquer lugar.

Se depender de mim eu vou até o fim voando sem instrumentos.

Ao sabor do vento.

Se depender de mim eu vou até o fim.

(Engenheiros do Hawaii – Até o fim).

RESUMO

A utilização das fibras vegetais como substitutas de diversos reforços sintéticos em compósitos poliméricos tem apresentado um grande potencial de aplicação tecnológica. Este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento e caracterização mecânica de um compósito de matriz polimérica reforçado com fibras vegetais Pente de Macaco. Foram confeccionadas placas do compósito, dispostas na matriz polimérica bidirecional. Realizou-se um tratamento alcalino nas fibras conhecido como mercerização usando NaOH. As concentrações de NaOH variou 2,5%, 5% e 10% e o gradiente de tempo foi mantido constante sendo utilizado o período de uma hora. As fibras que sofreram tratamento foram distribuídas na matriz polimérica na direção longitudinal. Todos os compósitos foram preparados com teores variados de fibras, previamente secas. Foi aplicada moldagem à compressão, as placas obtidas a pós-cura por 48 horas a 80° C. Os corpos-de-prova foram serrados manualmente para a realização do ensaio de tração de acordo com a norma ASTM D-3039. Os resultados demonstram que as fibras de Pente de Macaco tem grande potencial como reforço na resina poliéster, e não apresentam melhorias significativas nas propriedades mecânicas após a mercerização.

PALAVRAS CHAVES: Compósito Polimérico, Pente de Macaco, Mercerização, Propriedade Mecânica.

ABSTRACT

The use of vegetable fibers as substitutes for various synthetic reinforcements in polymer composites have shown great potential for technological applications. This work aimed to the development and mechanical characterization of a polymer matrix composite reinforced with natural fibers of 'Monkey Comb' (Pente de Macaco). It was prepared composite plates, arranged on the bidirectional polymeric matrix. It was performed an alkaline treatment in the fibers known as mercerization. The concentrations of NaOH were varied 2.5%, 5% and 10% and the gradient time was maintained constant for on the one hour. The fibers that were treated were distributed in the polymer matrix in longitudinal direction. All composites were prepared with varying amounts of fibers, previously dried. Was applied the compression molding, the plates obtained to after-curing for 48 hours at 80 ° C. The specimen were sawed manually to perform the tensile test according to ASTM D-3039. The results showed that 'Monkey Comb' fibers has a great potential as reinforcement in polyester resin, and do not exhibit significant improvements in the mechanical properties after mercerization.

Keywords: Polymer Composites, 'Monkey Comb', Mercerization, Mechanical Properties.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Proposta de classificação hierárquica de compósitos sintéticos e naturais.	19
Figura 2 - Lâminas com reforço tipo: (a) unidirecional; (b) tecido bidirecional balanceado; (c) fibras picadas; e (d) manta contínua, submetida a esforços de tração uniaxial longitudinais.	20
Figura 3 – Laminado com fibra unidirecional (a) e laminado com fibra bidirecional (b).....	21
Figura 4 - Estruturas moleculares de peróxidos componentes do catalisador de metiletil cetona.	23
Figura 5 – Árvore e Caule de Pente de Macaco.....	25
Figura 6 - Corte transversal de um compósito reforçado por fibra.	27
Figura 7 - Fluxograma da metodologia empregada para obtenção e caracterização mecânica do compósito estudado.....	28
Figura 8 - Recipiente contendo as casca da planta.	29
Figura 9 - Mantas de Pente De Macaco.	30
Figura 10 (a) - Fibras com NaOH 2,5%.....	30
Figura 11 - Molde Metálico.....	32
Figura 12- Prensa 15 toneladas BONEVAU.....	33
Figura 13– Dimensões dos corpos de prova para ensaio de tração, respectivamente.....	33
Figura 14- Corpos de provas e placa do compósito estudado.	34
Figura 15- Placa com fibras tratadas do compósito estudado.....	34
Figura 16 - Máquina universal, utilizada para realizar os ensaios de tração.	35
Figura 17 - Resistência à tração dos compósitos em função do teor de fibras de pente de macaco não tratada e orientada bidirecional.....	37
Figura 18 - Módulo de Young em função do teor de fibras orientadas bidirecionalmente não tratadas.	38
Figura 19- Alongamento em função do teor de fibras de pente de macaco bidirecional.	39
Figura 20 - (a) Resistência à Tração em função do teor de fibras não tratadas, (b) Resistência à tração em função de fibras tratadas com NaOH 2,5%.....	41

Figura 21 - Resistência à Tração em função do teor de fibras tratadas com NaOH 5%, (b) Resistência à Tração em função do teor de fibras tratadas com NaOH 10%	41
Figura 22 - Módulo de Young em função do teor de fibras não tratadas, (b) Módulo de Young em função de fibras tratadas com NaOH 2,5%.	43
Figura 23 - Módulo de Young em função do teor de fibras tratadas com NaOH 5%, (b) Módulo de Young em função do teor de fibras tratadas com NaOH 10%.	43
Figura 24 - Alongamento em função do teor de fibras não tratadas, (b) Alongamento' em função de fibras tratadas com NaOH 2,5%.	45
Figura 25 - Alongamento em função do teor de fibras tratadas com NaOH 5%, (b) Alongamento em função do teor de fibras tratadas com NaOH 10%.....	45
Figura 26 - Micrografia obtida por MEV da superfície de fibras Pente de Macaco não tratadas. Aumento de 150x.	46
Figura 27- Micrografia obtida por MEV da superfície de fibras Pente de Macaco não tratadas. Aumento de 500x.	47
Figura 28- Micrografia obtida por MEV da superfície de fibras Pente de Macaco não tratadas. Aumento de 1500x.	47
Figura 29- Micrografia obtida por MEV da superfície de fibras de Pente de Macaco tratadas com NaOH 2,5%. Aumento de 150x.	48
Figura 30- Micrografia obtida por MEV da superfície de fibras de Pente de Macaco tratadas com NaOH 5%. Aumento de 150x.	49
Figura 31- Micrografia obtida por MEV da superfície de fibras de Pente de Macaco tratadas com NaOH 10%. Aumento de 150x.	49
Figura 32- Micrografia obtida por MEV da superfície de fibras de Pente de Macaco tratadas com NaOH 10%. Aumento de 1500x.	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados obtidos no ensaio de tração para os compósitos de pente de macaco não tratada orientadas bidirecionalmente.	37
Tabela 2 - Resistência à tração obtida pelo ensaio de tração para compósito sem e com fibras de Pente de Macaco tratadas.	40
Tabela 3 - Módulo de Young obtidos pelo ensaio de tração para compósito com fibras de Pente de Macaco sem e com tratamento com NaOH.	42
Tabela 4 - Alongamento obtidos pelo ensaio de tração para compósito com fibras de Pente de Macaco sem e com tratamento com NaOH.	44

Sumário

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	17
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3.1 COMPÓSITOS.....	18
3.1.1 Características Gerais	18
3.1.2 Classificação dos Compósitos	19
3.2 MATRIZ POLIÉSTER PARA COMPÓSITOS.....	22
3.2.1 Agente de cura	22
3.3 FIBRAS VEGETAIS PARA REFORÇOS EM COMPOSITOS.....	24
3.4 MERCERIZAÇÃO.....	25
3.5 INTERFACE MATRIZ FASE.....	26
4 MATERIAIS E MÉTODOS	28
4.1 MATRIZ POLIMÉRICA.....	29
4.2 FIBRA DE PENTE DE MACACO.....	29
4.3 MERCERIZAÇÃO.....	30
4.4 PREPARAÇÃO DOS COMPÓSITOS.....	31
4.5 ENSAIO MECÂNICO.....	34
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	36
5.1 FIBRAS NÃO TRATADAS ORIENTADAS BIDIRECIONALMENTE.....	36
5.2 FIBRAS MERCERIZADAS ORIENTADAS UNIDIRECIONAL.....	39
5.2.1 Resistência à tração (MPa)	40
5.2.2 Módulo de Young	42
5.2.3 Alongamento	44
6 MORFOLOGIA DAS FIBRAS ANTES E APÓS TRATAMENTO DE MERCERIZAÇÃO	46
7 CONCLUSÃO	51
8 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	52
9 REFERÊNCIAS	53

1 INTRODUÇÃO

A busca por fontes renováveis tem despertado o interesse constante em alternativas viáveis para o desenvolvimento sustentável. A região amazônica tem sido alvo de estudos, devido à sua biodiversidade ser uma das mais ricas do planeta. Dentro deste contexto a engenharia de materiais tem o papel de destaque os materiais compósitos, pois a utilização de fibras vegetais como substitutas de diversos reforços sintéticos ou cargas minerais em compósitos poliméricos tem apresentado um grande potencial de aplicação tecnológica.

As fibras vegetais têm sido estudadas ao longo de décadas, no que se referem à sua constituição, propriedades mecânicas e aos seus possíveis usos. Foram muito utilizadas durante um grande período de tempo, deixando de ter grande uso com o surgimento de novas tecnologias. Entretanto, recentemente, tem-se buscado retomar o uso de técnicas consagradas e, também, desenvolver novos compósitos utilizando recursos naturais renováveis, com grande incremento no uso das fibras naturais de celulose, de coco, de sisal, de linho, de rami, de juta e de cânhamo, entre outras (SABARIZ; SILVA; et all, 2006).

O uso de fibras vegetais como reforço em compósitos poliméricos, com o objetivo de substituir total ou parcialmente as fibras sintéticas, tem recebido muita atenção dos pesquisadores. Isto porque as fibras vegetais apresentam importantes vantagens como: baixo custo, baixa densidade, resistência, baixa abrasividade aos equipamentos de processo, são biodegradáveis, não são tóxicas ou poluentes diminuindo assim problemas ambientais, além de serem originárias de fontes renováveis e serem disponíveis em todo o mundo (NÓBREGA, 2007).

A utilização de fibras naturais como reforço de compósitos desperta interesses tanto sociais como industriais. No primeiro caso, por garantir a fixação e subsistência humana no campo e no segundo, pela possibilidade de desenvolver produtos mais econômicos e com características moldadas de acordo com a necessidade de aplicação. Para a sociedade e a indústria é ainda uma alternativa de substituição de materiais convencionais cujo descarte possa trazer poluição ambiental, como é o caso das fibras de vidro e carbono. Além das fibras naturais, consideradas separadamente, tecidos trançados com estas fibras podem também ser utilizados como reforço para compósitos com emprego potencial em painéis de construção e mobiliário (CAMERINI et all, 2008).

As fibras naturais, especificamente as vegetais possuem uma baixa massa específica, são recicláveis, não tóxicas, possuem baixo custo entre outras características. Porém têm algumas desvantagens na sua utilização como as suas propriedades serem influenciadas pelas características do solo, época de colheita, forma de processamento, não uniformidade da seção transversal da fibra entre outras desvantagens (NETO E PARDINI, 2006).

Outra desvantagem no emprego de fibras lignocelulósicas em compósitos de matriz polimérica está associada ao desenvolvimento de uma interface fraca, entre as fibras e a matriz. Essa característica é devida ao fato das fibras serem hidrofílicas, enquanto os polímeros normalmente usados como matrizes são hidrofóbicos. (ALMEIDA, 2006).

Para melhorar a interação fibra matriz utilizam-se vários tratamentos superficiais são realizados na fibra. Dentre estes, um dos métodos mais populares é a modificação superficial das fibras por tratamento alcalino, realizado com hidróxido de sódio. Este, além de apresentar baixo custo, facilidade de operação e eficácia, leva à remoção de hemicelulose, lignina, e contaminantes como ceras e sais minerais, levando ao aumento da cristalinidade, redução do diâmetro e da densidade das fibras, separando as microfibrilas de celulose e expondo as fibras a um contato mais íntimo com o polímero, atuando na interface fibra/matriz. E é nessa região em que ocorre o contato entre os componentes do compósito e a qual está intimamente ligada à propriedade mecânica do compósito, pois se houver adesão inadequada o desempenho do compósito será comprometido pelo surgimento de falhas. (FERNANDES; *et all*, 2009).

As fibras utilizadas neste trabalho são classificadas como reforço lamelar oriundas da casca da árvore Pente de Macaco (*Apeiba tibourbou* AUBL), a qual é típica da região Amazônica. A fibra serve também de matéria-prima para a confecção de cordas. É uma árvore que atinge cerca de 10-15 m de altura, utilizada na arborização e ornamentação de praças e avenidas, principalmente devido à beleza de suas folhas e também pela exuberância de seus frutos (MATOS, *et all*, 2008). Esta espécie possui copa ampla, com grandes folhas simples, alternas e estipuladas. Seu período de floração desta espécie é extenso, sendo comum encontrar na mesma árvore desde botões florais até frutos maduros (GIRNOS, 1993).

As principais motivações deste trabalho é o fato das fibras de Pente de Macaco ser nativas da Amazônia, apresentarem propriedades mecânicas que indicam boas aplicações em compósitos poliméricos, dando mais uma alternativa para fontes ecológicas, uma vez que as mesmas são renováveis e abundantes na natureza. A investigação da sua utilização como reforço em compósitos de matriz polimérica poucos estudos foram encontrados na literatura.

2 OBJETIVOS

Este trabalho teve como objetivo caracterizar compósitos poliméricos à base de resina poliéster, reforçados com mantas de Pente de Macaco, sem tratamento químico, orientadas bidirecionalmente na matriz, e tratadas quimicamente por mercerização.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Estudar suas propriedades mecânicas a partir do ensaio de tração para diferentes teores fibrosos.
- ✓ Comparar os resultados obtidos com outros tipos de reforços vegetais.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 COMPÓSITOS

3.1.1 Características Gerais

Compósito consiste de dois ou mais materiais, intrinsecamente insolúveis. Os diferentes materiais (fases) estão separados por uma interface de escala microscópica.

Os compósitos são produzidos quando dois ou mais materiais (ou fases) são utilizados para resultar em uma combinação de propriedades que não podem ser obtidas de outra maneira. Materiais compósitos podem ser selecionados para resultar em combinações incomuns de rigidez, resistência mecânica, peso, desempenho em altas temperaturas, resistência à corrosão, dureza ou condutividade. Os compósitos apresentam propriedades superiores às dos seus componentes, isto é, atuam com sinergia. Concha de abalone, madeira, ossos e dentes são exemplos de compósitos que existem na natureza. Já o concreto reforçado por aço e os polímeros reforçados de fibra de vidro são exemplos de compósitos sintéticos (ASKELAND E PHULÉ, 2008).

Um compósito pode ser definido como sendo uma combinação de dois ou mais materiais, onde está presente uma fase contínua, constituída pela matriz, e a fase descontínua, o reforço, sob forma de fibras, partículas esféricas ou plaquetas, embebidas na matriz, sendo que cada qual permanece com suas características individuais (CALLISTER, 2007).

As características de anisotropia de um compósito são influenciadas enormemente pela orientação do reforço. As propriedades finais dos compósitos dependem fundamentalmente da forma como os componentes individuais interagem entre si, ou seja, dependem da interface entre as fases descontínua e contínua. (SILVA, 2010)

O aumento do teor do reforço é um fator que pode promover um aumento nas propriedades mecânicas, embora um alto carregamento de reforço possa favorecer a aglomeração de fibras e a baixa dispersão destas na matriz (TANOBE et. all, 2004). A fração volume máxima é de aproximadamente 80% além disso, as fibras não podem mais ser completamente envoltas pela matriz.

3.1.2 Classificação dos Compósitos

Em um contexto bem amplo, os compósitos podem ser divididos em naturais e sintéticos. Entre os sintéticos é considerando as diferentes classes relacionadas com as várias opções de matriz, pode-se enumerar uma série de outras classificações decorrentes dos tipos e arranjos dos reforços existentes, conforme mostra esquematicamente o diagrama da Figura 1. Os compósitos associados ao corpo humano também são mostrados no diagrama. Observa-se pela Figura 1 que os reforços em um compósito podem consistir-se de fibras ou partículas. Caso o reforço seja na forma de fibras, pode-se dispô-las em feixes paralelos entre si, de modo a formar e orientar o reforço em multi direções, multicamadas ou na forma de camadas isoladas ou lâminas. Os compósitos obtidos com reforço multidirecional têm como ponto de partida as preformas têxteis e se constituem em um salto tecnológico no sentido de se obter estruturas maciças de grande volume e com propriedades ajustadas às aplicações a que se destinam (NETO e PARDINI, 2006).

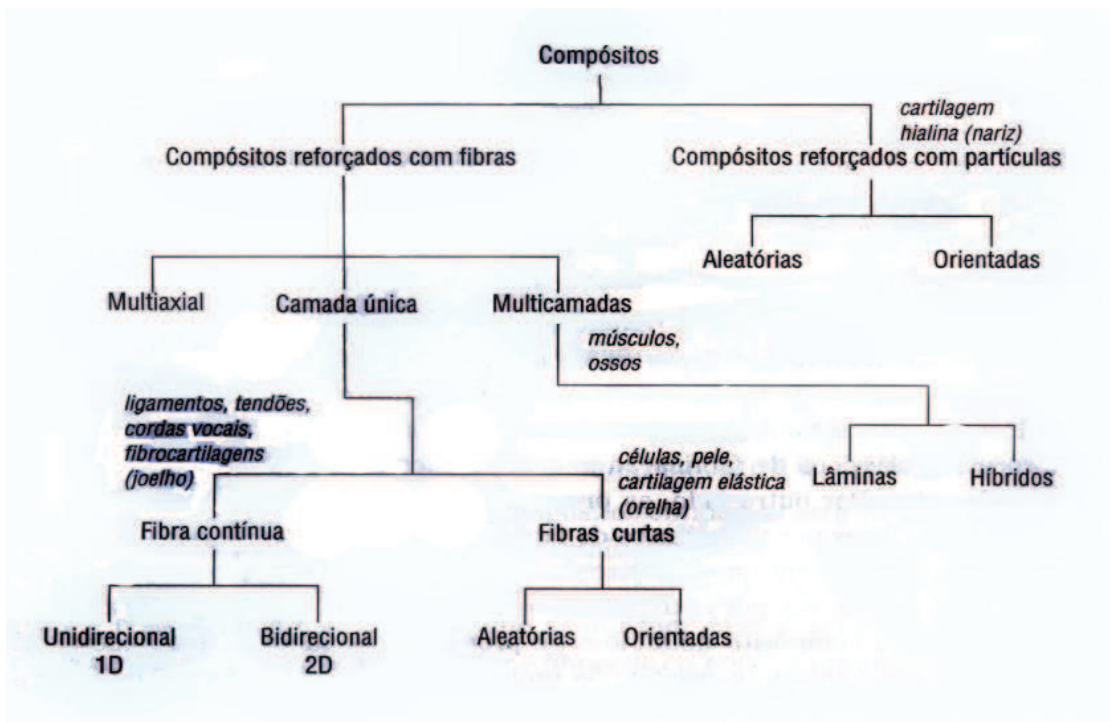
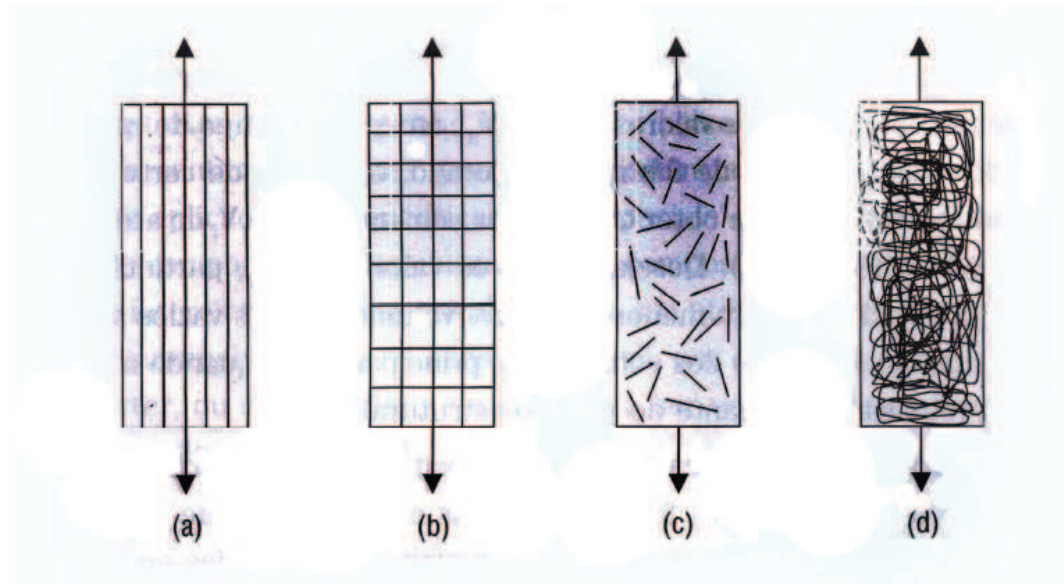


Figura 1- Proposta de classificação hierárquica de compósitos sintéticos e naturais.

Fonte: NETO e PARDINI, 2006.

Os compósitos obtidos com fibras contínuas podem apresentar reforço unidirecional ou reforço bidimensional (tecidos). Nestes casos, o material é moldado de forma que, em cada camada do compósito, a fase de reforço é contínua e dotada de uma orientação preferencial. (NETO e PARDINI, 2006). Casos particulares de lâminas compósitas são ilustrados esquematicamente na Figura 2

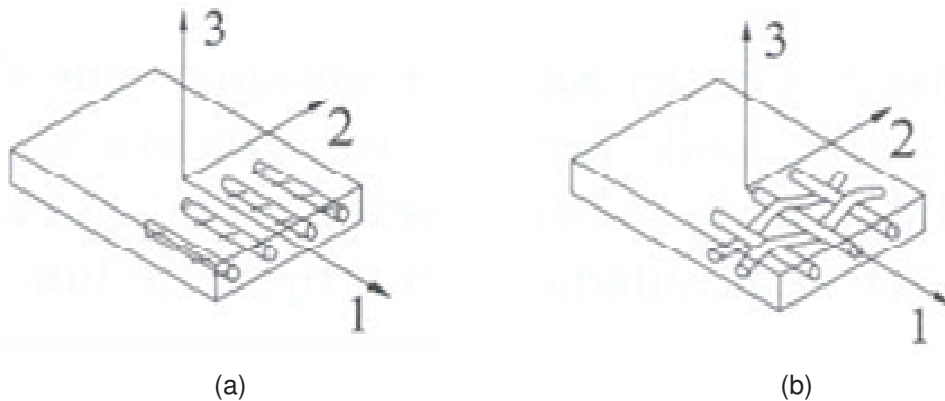
Figura 2 - Lâminas com reforço tipo: (a) unidirecional; (b) tecido bidirecional balanceado; (c) fibras picadas; e (d) manta contínua, submetida a esforços de tração uniaxial longitudinais.



Fonte: NETO e PARDINI, 2006.

Quando nos referimos às Figuras (2.c e 2.d), os valores de resistência mecânica e rigidez seriam menores que nas situações das Figuras (2.a e 2.b). No entanto, só se verificam para esforços longitudinais (direção do carregamento). Se os esforços fossem aplicados transversalmente, quem teria o melhor desempenho seria o compósito bidirecional apresentado na Figura (2.b). Logo, estas tendências indicam que a orientação das fibras em relação aos esforços aplicados, considerando-se o fato de serem contínuas ou não, influenciam significativamente nas propriedades mecânicas dos compósitos. Desta forma, arranjos distintos e contribuições de fibras conferem nos compósitos diferentes características e propriedades. (FELIPE, 2003).

Figura 3 – Laminado com fibra unidirecional (a) e laminado com fibra bidirecional (b).



Fonte: FELIPE, 2003.

Considerando que os compósitos apresentados nas Figuras acima foram fabricados com a mesma matriz, observa-se que o compósito apresentado nas Figuras (3.a e 3.b), respectivamente, tendem a ser muito mais eficientes estruturalmente, em relação aos compósitos obtidos com fibras picadas e mantas contínuas. Porém, quando nos referimos à Figura (3.a) onde a direção do esforço é a direção 1, a resistência mecânica e rigidez teriam maiores valores na direção 1, quando comparamos com a Figura (3.b) onde esses valores seriam intermediários.

Os materiais compósitos também são convencionalmente classificados de acordo com a sua natureza química e física de sua fase aglutinante que se dividem em:

- ✓ Compósitos de matriz metálica: estes materiais, reforçados com fibras metálicas ou cerâmicas, possuem boa resistência mecânica em altas temperaturas. O alumínio reforçado com fibras de boro revestidas com SiC tem sido amplamente utilizado em aplicações aeroespaciais, incluindo suportes para ônibus espacial (ASKELAND e PHULÉ, 2008) ;

- ✓ Compósitos de matriz cerâmica: são inorgânicos e têm como força motriz para seu desenvolvimento a resistência superior a altas temperaturas. Esses compósitos, ao contrário das cerâmicas tradicionais, representam a maior promessa na obtenção de dureza para aplicações estruturais, como motor a jato de alta eficiência (SHACKELFORD, 2008);

- ✓ Compósitos de matriz poliméricos: por sua vez destacam-se pela sua baixa densidade, fácil conformação e elevada resistividade elétrica. São

frequentemente utilizados em aplicações que exigem alta resistência específica (ASKELAND e PHULÉ, 2008).

3.2 MATRIZ POLIÉSTER PARA COMPÓSITOS

Segundo (SILVA, 2010) as resinas de poliéster são uma família de polímeros formados da reação de ácidos orgânicos dicarboxílicos (anídrico maleico ou oftálico) e glicóis, que, quando reagidos, dão origem a moléculas de cadeias longas lineares. O tipo de ácidos influencia as propriedades finais da resina e poliésteres ortoftálica, isoftálicas e tereftálicas podem ser produzidas. Se um ou ambos constituintes principais são insaturados, ou seja, contêm uma ligação dupla reativa entre átomos de carbono. A resina resultante é insaturada.

Os poliésteres insaturados são obtidos a partir de diácidos insaturados, um diácido saturado e um diol, resultando num pré-polímero, cuja cadeia molecular é composta por ligações simples e duplas entre os átomos de carbono. O pré-polímero é diluído num monômero vinílico inibido para facilitar sua estocagem e posterior utilização. Inicialmente o sistema encontra-se no estado líquido e após a adição de um agente de cura, as ligações duplas no pré-polímero são ativadas e o monômero vinílico polimeriza formando “pontes” entre as cadeias do pré-polímero se solidificam formando uma estrutura termofixa irreversível, reticulada e infusível. (ASKELAND E PHULÉ, 2008).

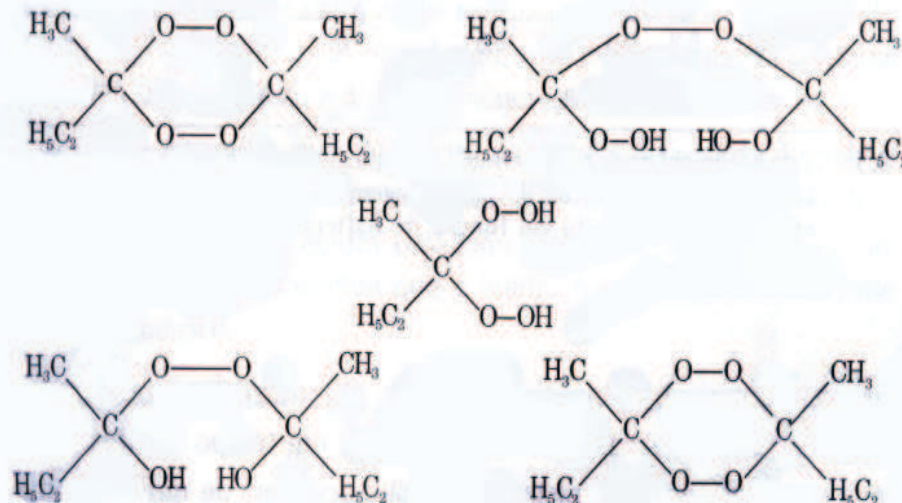
3.2.1 Agente de cura

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

de metil-etil-cetona decompõe-se na presença de octoato de cobalto ou naftanato de cobalto. Essa combinação do peróxido com seu respectivo acelerador são chamados de sistema de polimerização. (FILHO, 2011).

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 Dimetilanilina (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. Na prática, sistemas de cura à temperatura ambiente não atingem cura total, sendo necessário efetuar uma pós-cura, a uma determinada temperatura e um determinado tempo para completar a reação.

Figura 4 - Estruturas moleculares de peróxidos componentes do catalisador de metiletil cetona.



3.3 FIBRAS VEGETAIS PARA REFORÇOS EM COMPOSITOS

Os compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais veem sendo bastante estudados ao longo das últimas décadas, com a preocupação em preservação do meio ambiente, pois eles têm ganhado espaço no que se diz respeito aos novos materiais.

As principais vantagens das fibras naturais para reforço de compósitos são as seguintes:

- ✓ Baixa massa específica;
- ✓ Recicláveis, não tóxicas e biodegradáveis;
- ✓ Baixo custo;
- ✓ Estimulam empregos na zona rural; e
- ✓ Baixo consumo de energia na produção.

Já, entre as desvantagens e limitações citar:

- ✓ Baixas temperaturas de processamento, isto é, não toleram mais que 200°C durante a consolidação no interior da matriz de um compósito;
- ✓ Acentuada variabilidade nas propriedades mecânicas e baixa estabilidade dimensional;
- ✓ Apresentam seções transversais de geometria complexa e não uniforme.

Dentre as fibras naturais mais utilizadas na fabricação de eco compósitos, destacam-se as de linho, cânhamo, juta e sisal. Por outro lado, é grande a quantidade de fibras naturais que podem ser utilizadas como elemento de reforço em materiais compósitos que ainda não são totalmente conhecidas, ou que não são utilizadas por vários motivos, dentre eles, a morfologia, propriedades ou custo (OLIVEIRA e D'ALMEIDA, 2008).

Dentre as menos conhecidas temos a fibra de Pente de Macaco, oriunda do caule da árvore com nome científico *Apeiba tibourbou aubl*, encontrada nas regiões norte e nordeste, que segundo (MATOS; *et all*, 2008) é uma árvore que atinge cerca de 10-15 m de altura, utilizada na arborização e ornamentação de praças e avenidas, principalmente devido à beleza de suas folhas e também pela exuberância de seus frutos. Essa árvore apresenta copa ampla, com folhas grandes como pode ser vista na Figura 5.

Figura 5 – Árvore e Caule de Pente de Macaco.



Fonte: Autora, 2013

Esta fibra é utilizada para confecções de cordas por moradores da zona rural da região sul e sudeste do Pará. Esta fibra será utilizada na realização desse trabalho.

3.4 MERCERIZAÇÃO

Para que o contato interfacial entre fibras naturais e a matriz polimérica seja efetiva modificações superficiais podem ser necessárias. Trabalhos indicam que a modificação superficial da fibra diminui o seu caráter hidrofílico, aumenta a adesão com a matriz polimérica e reduz a diferença de polaridade entre fibra e matriz

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 (SILVA, 2003).

Devido aos altos teores de lignina e hemicelulose na sua composição além da presença de gorduras cerosas, ocorre uma baixa adesão fibra/matriz,

ocasionando assim, uma baixa resistência mecânica ao compósito conformado, porém uma maneira de diminuir a quantidade destas substâncias das fibras são realizados tratamentos químicos superficiais nestas, geralmente utilizando soluções alcalinas de NaOH ou um produto químico conhecido como N-isopropilacrilamida, entre outros, tendo como consequência para tais tratamentos um aumento da rugosidade da superfície destas fibras vegetais, melhorando assim a aderência mecânica entre fibra e matriz. Atuais pesquisas têm comprovado que a modificação na estrutura das fibras melhora significativamente as propriedades mecânicas dos compósitos formados. (SILVA; DANTAS; FELIPE, 2009).

Mergerização é denominada como sendo um tratamento químico a base de NaOH para tratar fibras celulósicas, melhorando as características adesivas das superfícies das fibras devido a remoção de impurezas naturais e artificiais das superfícies. Portanto, a tensão superficial e conseqüentemente a molhabilidade (“wettability”) das fibras mergerizadas se torna mais alta, melhorando também a ligação através de uma forma mecânica de entrelaçamento entre a matriz e a superfície rugosa das fibras (FILHO, 2011).

A Mergerização também proporciona o desfibrilamento das fibras, ou seja, a desagregação das fibras em microfibras, aumentando assim a área superficial efetiva disponível para o contato com a matriz líquida. Dados da literatura descrevem que muitos compósitos nos quais foram utilizadas fibras mergerizadas, as propriedades mecânicas foram superiores àqueles nos quais foram utilizadas fibras não tratadas.

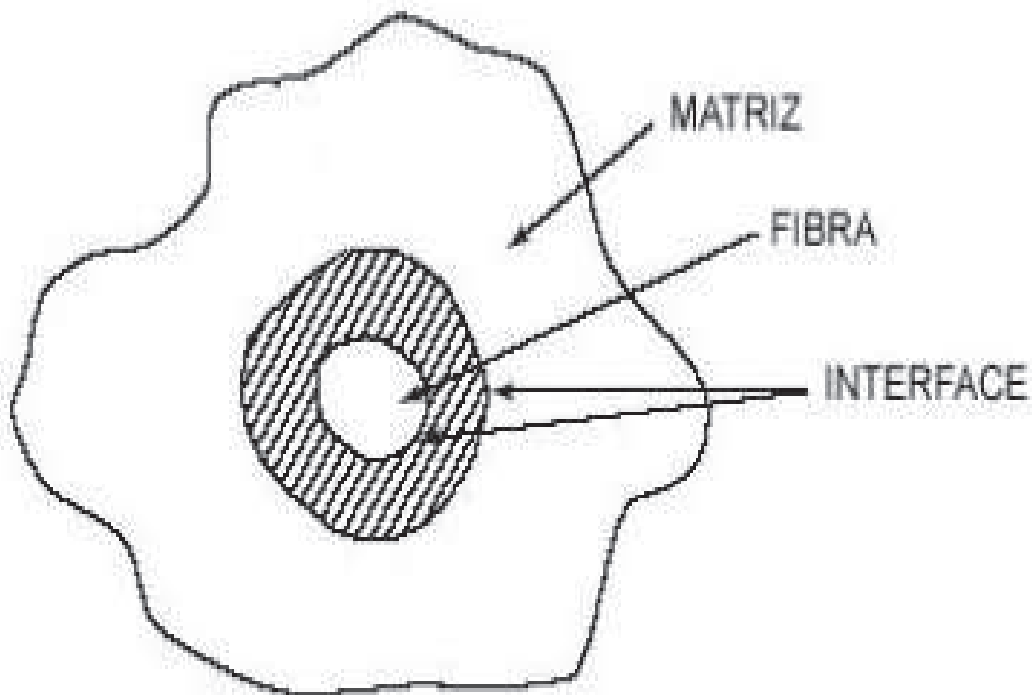
Embora esse tratamento aumente a adesão com uma matriz polimérica, a resistência mecânica da fibra pode ser significativamente reduzida dependendo da concentração da solução alcalina, comprometendo a resistência do compósito fabricado com estas fibras.

3.5 INTERFACE MATRIZ FASE

Um dos fatores mais importantes em materiais compósitos, com uma ou mais fases contínuas, é a interface entre o reforço e a matriz. A interface, ilustrada na Figura 6, é a região onde ocorre o contato entre os componentes do compósito. As propriedades finais dos compósitos dependem fundamentalmente da forma como os componentes individuais interagem entre si, ou seja, dependem da interface entre

as fases descontínua e contínua. Esta região é a principal responsável pela transferência da solicitação mecânica da matriz para o reforço. A adesão inadequada entre as fases envolvidas na interface poderá provocar o início de falhas, comprometendo o desempenho do compósito. Portanto, além das propriedades individuais de cada componente do compósito, a interface deve ser a mais adequada possível para otimizar a combinação das propriedades envolvidas.

Figura 6 - Corte transversal de um compósito reforçado por fibra.



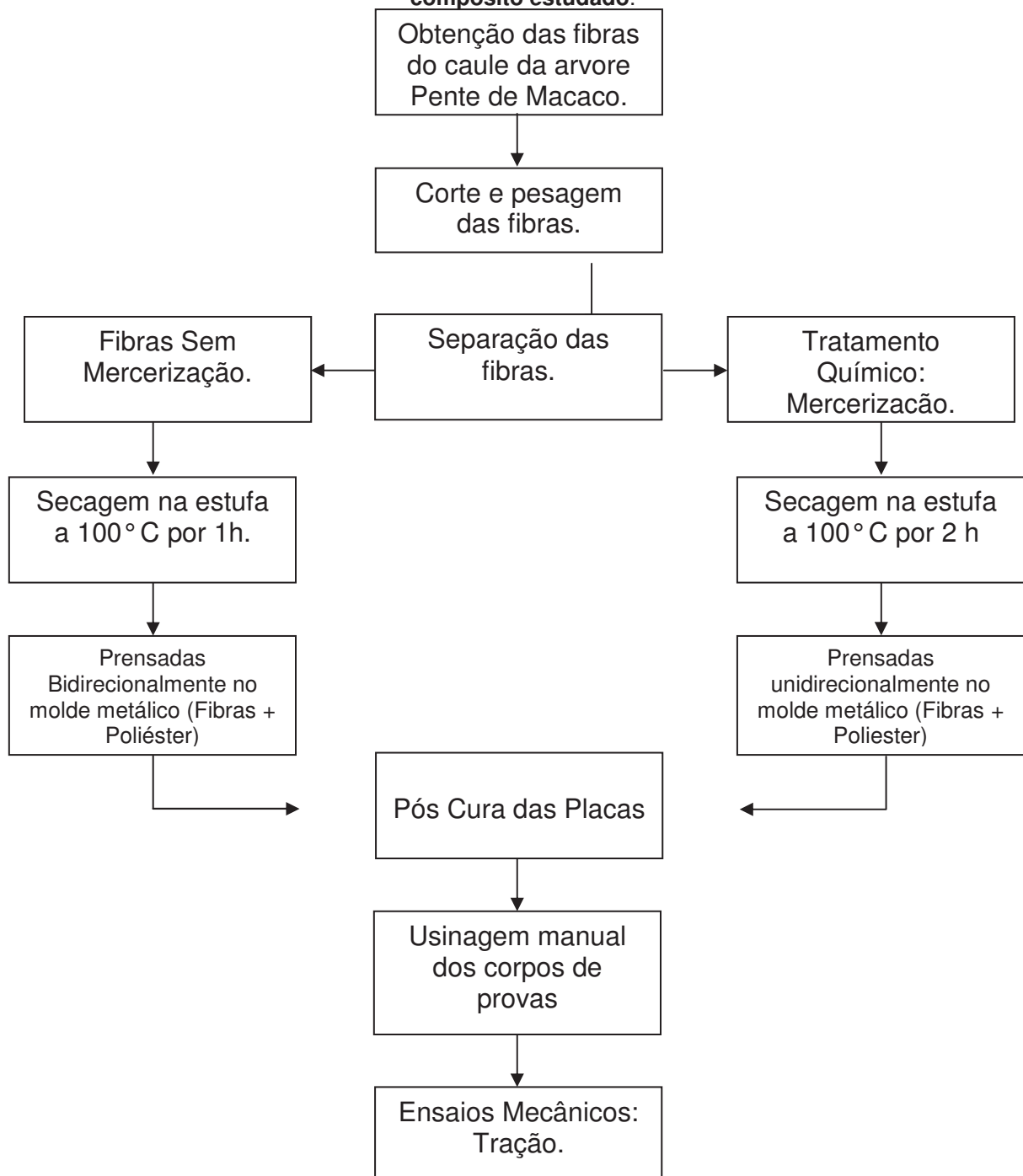
Fonte: Nóbrega, 2007.

Em compósitos com matrizes poliméricas a falha deveria ocorrer na matriz. Na prática, a adesão nunca é perfeita e o processo de ruptura é gerado na interface. Portanto, na maioria dos casos, a falha do polímero reforçado ocorre por cisalhamento na região interfacial. A falha ocorre em função de debilidade das ligações atômicas ou intermoleculares entre a superfície da matriz e a superfície do reforço. (NÓBREGA, 2007)

4 MATERIAIS E MÉTODOS

A Figura 7 descreve de forma sucinta um fluxograma, o qual é possível observar toda a parte experimental para obtenção do compósito estudado, assim como sua caracterização mecânica.

Figura 7 - Fluxograma da metodologia empregada para obtenção e caracterização mecânica do compósito estudado.



4.1 MATRIZ POLIMÉRICA

Para a confecção dos compósitos, foi usada como matriz polimérica uma resina poliéster insaturada GAMA 313, fabricada pela Embrapol, do tipo ortoftálica pré-acelerada, reticulada com estireno. Utilizou-se como iniciador o Peróxido de Metil-Etil-Cetona (MEK-P) em concentração de 1% em peso.

4.2 FIBRA DE PENTE DE MACACO

As mantas de pente de macaco (Figura 8) foram obtidas através do caule da planta deixado de molho por 2 semanas como visto na Figura 8 utilizando o processo manual. As melhores e sem defeitos foram cortadas no comprimento de 17 cm para a confecção de mantas pelo método de compressão em molde de aço de dimensões internas de 140x170x3mm. As fibras foram secas em estufa a 80 °C por 48 horas, Figura 9.

Figura 8 - Recipiente contendo as casca da planta.



Fonte: Autora, 2013.

Figura 9 - Mantas de Pente De Macaco.



Fonte: Autora, 2013.

4.3 MERCERIZAÇÃO

Primeiramente o tecido de Pente de Macaco foi cortado no comprimento de 17 cm e devidamente seco na estufa. Estes foram mantidos sob fervura em água destilada durante uma hora em banho maria, sem agitação, e em seguida imersa na solução alcalina de hidróxido de sódio (NaOH) à concentração de 2,5%, pelo mesmo tempo da fervura, sob agitação constante. Pode ser observado nas Figuras 10(a), 10(b) e 10(c).

Figura 10 (a) - Fibras com NaOH 2,5%.



Fonte: Autora, 2013.

Figura 10 (b) e (c) - Fibras com NaOH 5% e 10%.



Fonte: Autora, 2013.

Terminado o tratamento alcalino, as fibras foram lavadas em água destilada até ser alcançado um pH próximo do neutro e logo após, secas em estufa a uma temperatura constante de 90°C por duas horas, a fim de remover a umidade. O procedimento utilizado para tratamento da fibra de pente de macaco a concentração de 5% e 10% foi o mesmo. Sendo o seu peso de 127g, em estado seco para todas as concentrações de NaOH.

4.4 PREPARAÇÃO DOS COMPÓSITOS

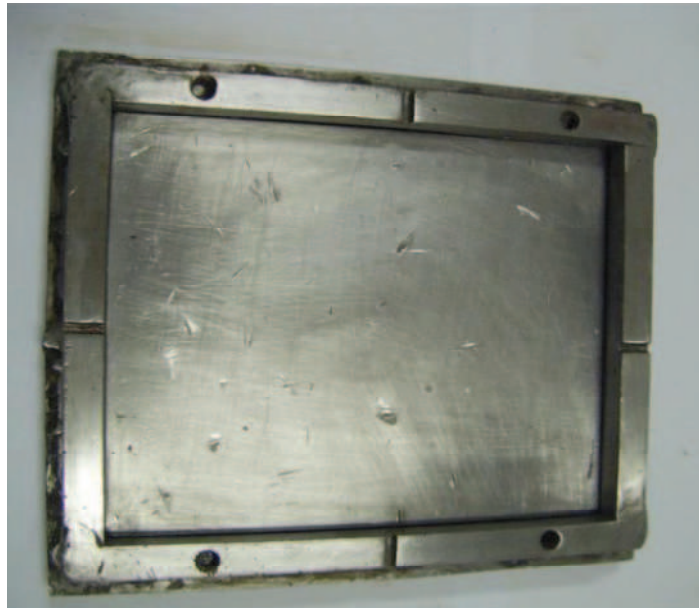
Compósitos com teores variados de fibras foram preparados por moldagem à compressão. O teor de fibras foi determinado por análise gravimétrica, utilizando o seguinte procedimento: pesou-se 12, 25, 40, 50 g de fibra de pente de macaco previamente secas depois pesou-se a placa do compósito produzido. Com os pesos obtidos determinou-se o teor de fibras (em massa) utilizando a equação 1:

$$T_F (\%) = (P_T/P_L) \times 100 \quad (1)$$

Onde TF é o teor de fibras, P_T é o peso (g) das fibras e o P_L é o peso (g) da placa, obtendo-se os seguintes teores: 12,24%, 24,24%, 38,75% e 44,15%.

O molde mostrado na Figura 11 foi untado com sebo de carneiro para auxiliar a desmoldagem das placas do molde metálica. O catalisador MEK-P foi acrescentado à resina e parte desta mistura vertida no molde. As fibras de pente de macaco, previamente secas e pesadas, foram colocadas no molde alinhadas no sentido longitudinal e transversal e pressionadas com auxílio de uma espátula para garantir a sua total impregnação.

Figura 11 - Molde Metálico.



Fonte: Autora, 2013.

Por fim, verteu-se um excesso de resina. Quando a mesma estava próxima do ponto de gelificação o molde então fechado e colocado em uma prensa hidráulica Figura 12, com força de fechamento de 8 toneladas de força por 8 horas, a temperatura ambiente. Para as fibras com tratamento químico o mesmo foi feito, porém as fibras foram alinhadas no sentido longitudinal.

Figura 12- Prensa 15 toneladas BONEVAU.



Fonte: Autora, 2013.

As 16 placas, sendo quatro de fibras não tratadas e doze de tratadas, tendo dimensões de 140x170x3mm, foram submetidas a pós-cura por 48 horas a 80 °C, para posterior usinagem dos corpos de prova, totalizando 96 corpos, sendo 24 para não tratadas e 72 para tratados, sendo suas dimensões regidas pelas normas ASTM D- 3039 para o ensaio de tração (Figura 13).

Figura 13– Dimensões dos corpos de prova para ensaio de tração, respectivamente.



Fonte: Norma ASTM D-3039, 1995.

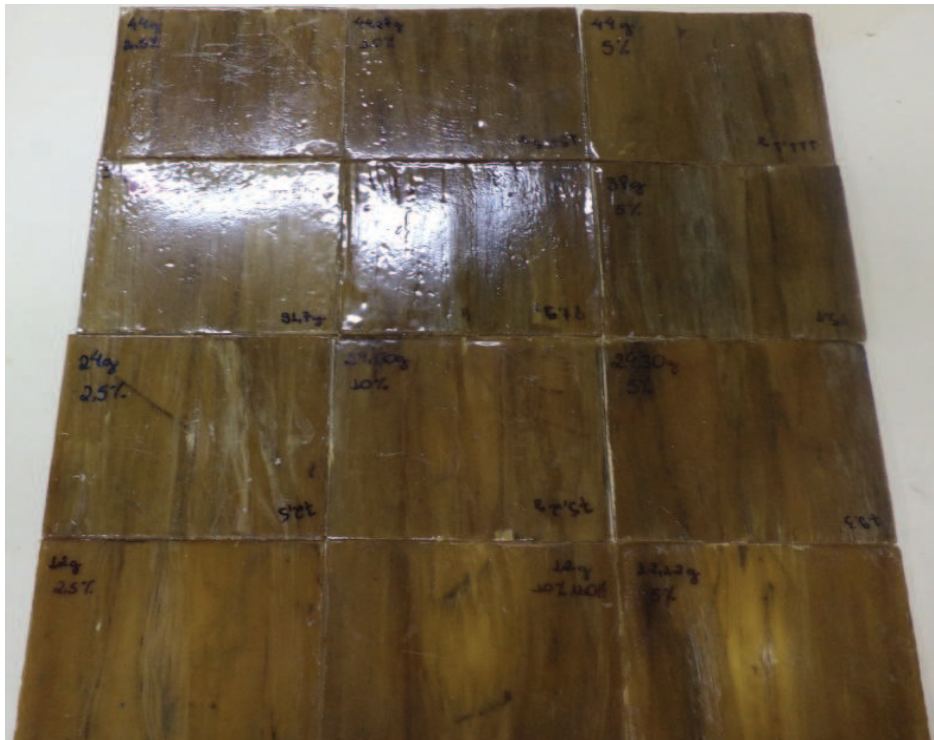
Os corpos de prova mostrados na Figura 14 foram confeccionados com fibras não tratadas e serradas manualmente a partir das placas. As placas com fibras tratadas esboçadas na Figura 15, produzidas por compressão.

Figura 14- Corpos de provas e placa do compósito estudado.



Fonte: Autora, 2013.

Figura 15- Placa com fibras tratadas do compósito estudado.



Fonte: Autora, 2013.

4.5 ENSAIO MECÂNICO

Para avaliação da influência do teor de fibra nas propriedades mecânicas, foi realizado ensaio mecânico de tração.

O ensaio de tração foi conduzido em uma máquina universal EMIC DL 10000, Figura 16, em temperatura ambiente com uma velocidade de 1mm/min tendo como base a norma ASTM D-3039.

Figura 16 - Máquina universal, utilizada para realizar os ensaios de tração.



Fonte: Autora, 2013.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foi retirada a média aritmética de cada diferente teor de fibra em relação aos resultados das propriedades mecânicas obtidos da máquina de ensaios mecânicos como: resistência a tração (MPa), módulo de Young (GPa) e alongamento da ruptura (%).

Os ensaios mecânicos permitem a determinação de propriedades referentes ao comportamento de um material sujeito à ação de forças e esforços, que são expressos como função de tensões e/ou deformações. As tensões representam a resposta interna aos esforços externos que atuam sobre uma determinada área em um corpo (CALLISTER, 2003).

5.1 FIBRAS NÃO TRATADAS ORIENTADAS BIDIRECIONALMENTE

Os resultados obtidos no ensaio dos compósitos sob tração estão listados na Tabela 1 e ilustrados nas Figuras 17, 18 e 19. Os resultados indicam que as resistências à tração dos compósitos reforçados bidirecionalmente com fibras de Pente de Macaco apresentam desempenhos superiores à da matriz para todos os teores de fibra. Compósitos com fibras de pente de macaco orientadas bidirecionalmente não possuem um volume crítico de fibras e, em todos os casos as mantas funcionaram como reforço, diferentemente de compósitos com fibra de babaçu que possuem este volume crítico aproximado de 38% observado por ANDRADE e NOBREGA, (2009). Acredita-se que o desempenho superior apresentado pelos compósitos reforçados com fibras de Pente de Macaco em relação à matriz polimérica esteja associado às propriedades mecânicas individuais das fibras, diferente das fibras de bananeira que para nenhum teor estudado por SAVIOLI et al, 2008 esta fibra se comportou como reforço.

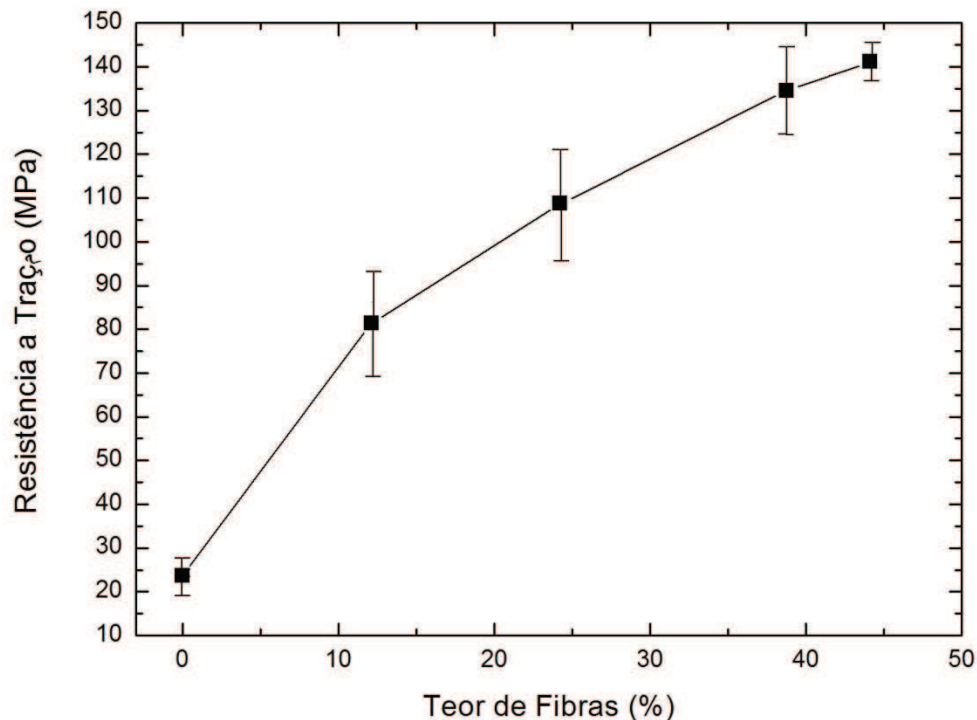
Tabela 1 - Resultados obtidos no ensaio de tração para os compósitos de pente de macaco não tratada orientadas bidirecionalmente.

Teor de Fibra (%)	Resistência a Tração (MPa)	Modulo de Young (GPa)	Alongamento (%)
0	23,70±3,57	2,13±0,08	1,25±0,33
12,24	81,33±5,42	2,53±1,12	1,90±0,83
24,24	108,70±4,67	3,13±1,34	2,14±1,07
38,75	134,52±2,39	7,05±1,10	2,52±0,91
44,15	141,1±3,93	6,18±1,59	1,88±1,12

Fonte: Autora, 2013.

Os compósitos de pente de macaco com fibras orientada bidirecional obtiveram resultados inferiores do mesmo compósito reforçado com fibras orientadas na longitudinal estudado por Rodrigues 2010.

Figura 17 - Resistência à tração dos compósitos em função do teor de fibras de pente de macaco não tratada e orientada bidirecional.

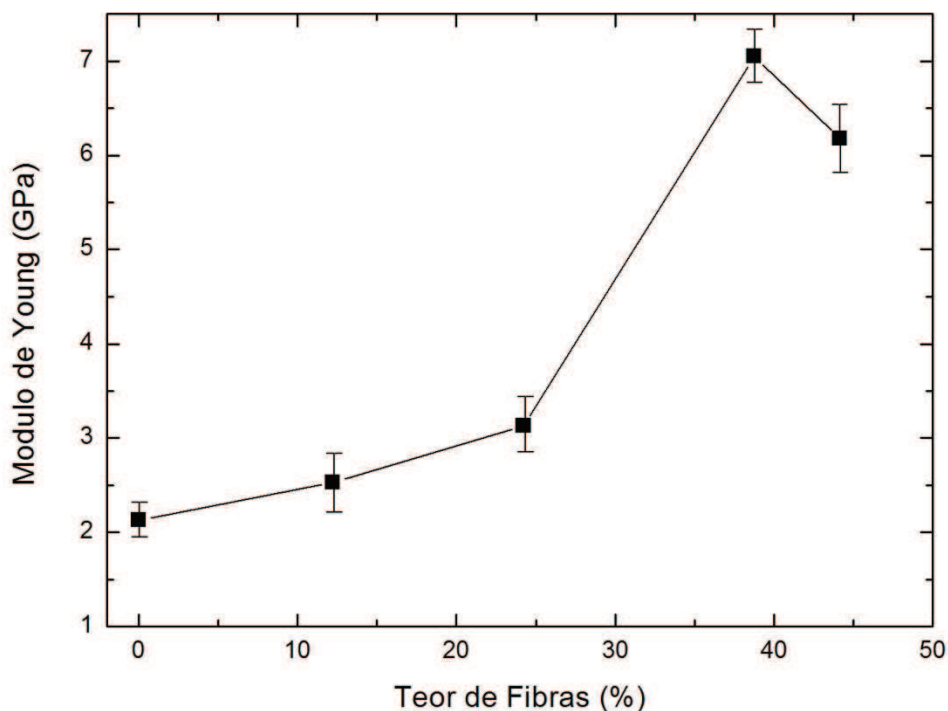


Fonte: Autora, 2013.

Os resultados obtidos para o módulo de Young, podem ser observados na Figura 18. À medida que o teor de fibras pente de macaco é aumentado na matriz poliéster verifica-se uma elevação no módulo de elasticidade. Tal ocorrência é

explicada pelo fato das fibras diminuírem o movimento livre das cadeias poliméricas e também por apresentar maior rigidez que a matriz, resultando num aumento do módulo de elasticidade dos compósitos avaliados. Com isso, pode-se afirmar que com a maior quantidade de reforço (44,15%), obteve-se o melhor módulo de elasticidade em relação às quantidades de reforço, sendo mostrado na Figura 18. Para essa propriedade mecânica, o reforço bidirecional de pente de macaco foram superiores aos resultados de Guimaraes Filho, 2011 encontrados para fibras de babaçu com teor de 30 % de fibra sem tratamento obtendo o valor de 4 GPa. Enquanto isso, o valor do módulo elástico do compósito, no qual o pente de macaco é o reforço, a uma quantidade equivalente sem tratamento está em torno de 7 GPa.

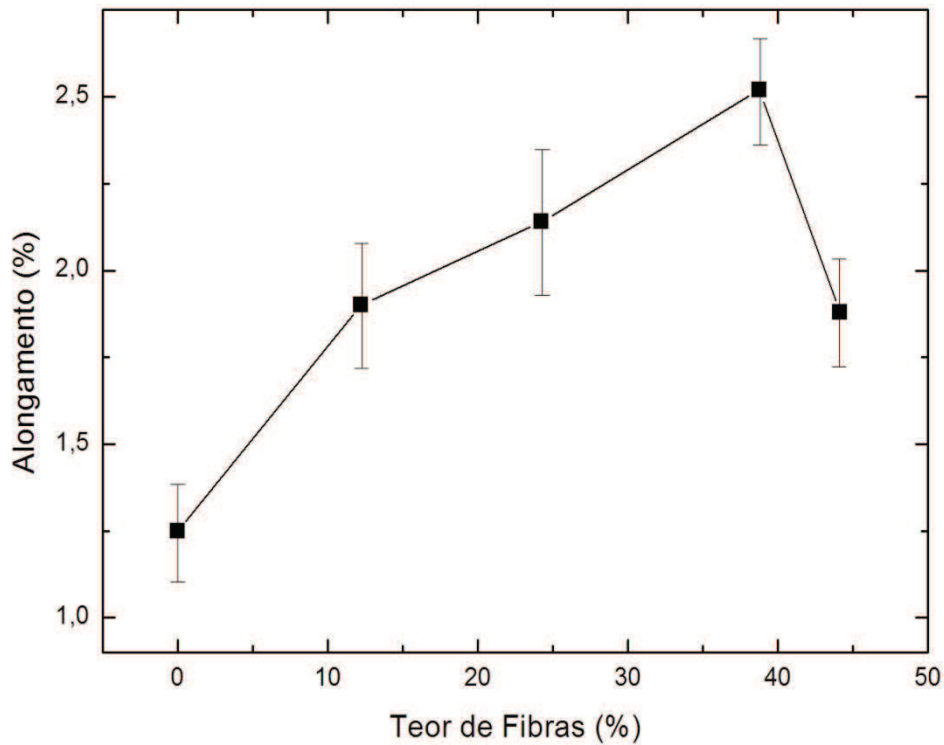
Figura 18 - Módulo de Young em função do teor de fibras orientadas bidirecionalmente não tratadas.



Fonte: Autora, 2013.

Na Figura 19 podemos observar que a incorporação das fibras na matriz poliéster provocou um aumento no alongamento do compósito e mostrou-se maior que a da matriz pura para todos os teores de reforço estudados. O aumento percentual observado foi de 2,3%, comportamento semelhante ao encontrado na literatura, podendo-se atribuir este resultado a boa adesão fibra-matriz e ao aumento da tenacidade do compósito.

Figura 19- Alongamento em função do teor de fibras de pente de macaco bidirecional.



Fonte: Autora, 2013.

5.2 FIBRAS MERCERIZADAS ORIENTADAS UNIDIRECIONAL

Todos os compósitos com fibras tratadas foram distribuídas na orientação longitudinal na matriz. As fibras receberam tratamento superficial de mercerização, com teores de NaOH (hidróxido de sódio) na concentração de 2,5%, 5% e 10%, respectivamente.

Os resultados obtidos nos ensaios de tração estão listados na Tabela 2.

5.2.1 Resistência à tração (MPa)

Os resultados para a resistência à tração obtidos pelo ensaio de tração estão listados na Tabela 2.

Tabela 2 - Resistência à tração obtida pelo ensaio de tração para compósito sem e com fibras de Pente de Macaco tratadas.

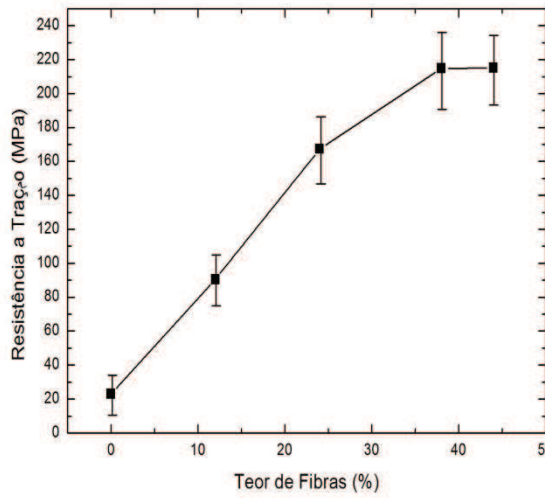
Teor de Fibras (%)	Res. Tração (Mpa) Sem Tratamento	Res. Tração (MPa) NaOH 2,5%	Res. Tração (MPa) NaOH 5%	Res. Tração (MPa) NaOH 10%
0	23±3,57	23,70±3,57	23,70±3,57	23,70±3,57
12	90,50±4,50	49,75±26,51	40,46±5,45	48,68±25,82
24	167,28±11,49	62,33±12,50	99,67±32,02	82,20±15,36
38	214,85±17,12	127,25±17,23	144,75±8,69	116,25±15,90
44	215±10,08	200,80±17,01	148±45,49	125±7,55

Fonte: Autora, 2013

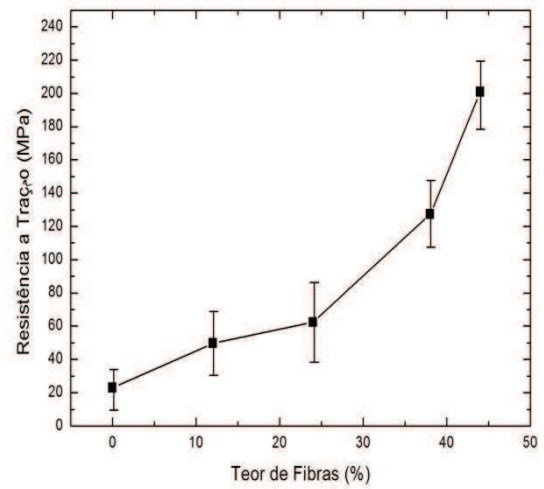
A resistência à tração, para os compósitos reforçados com as fibras de Pente de Macaco sem tratamento e orientadas na direção longitudinal, obtidos por Rodrigues, F.S (2010), foram superiores a resistência à tração para os compósitos reforçados com a mesma fibra, porém mercerizadas.

Resultado obtido no ensaio de tração por Rodrigues, F. S(2010), para essa propriedade, foi de 215 MPa no teor de fibras 44%, já os compósitos com fibras tratadas com NaOH 2,5%, obtiveram o resultado de 200,80 MPa para o mesmo teor. Pode-se analisar na Figuras 20 (a) e (b), 21 (a) e (b).

Figura 20 - (a) Resistência à Tração em função do teor de fibras não tratadas, (b) Resistência à tração em função de fibras tratadas com NaOH 2,5%



(a)

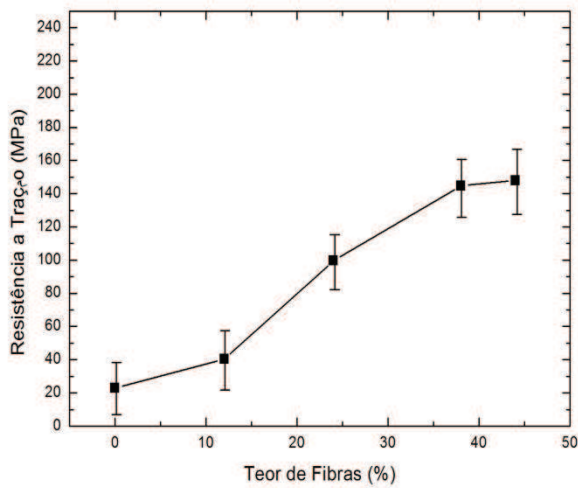


(b)

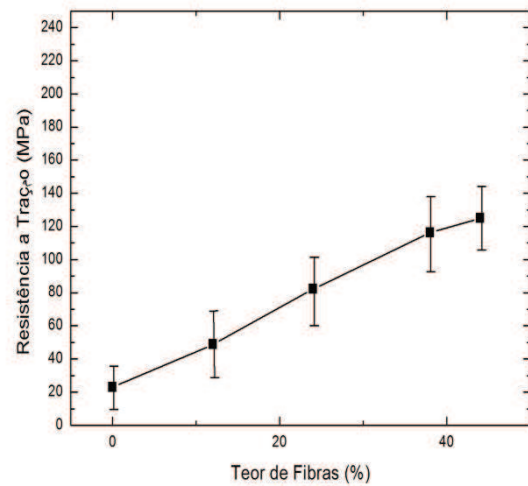
Fonte: Rodrigues F.S, 2010

Fonte: Autora, 2013.

Figura 21 - Resistência à Tração em função do teor de fibras tratadas com NaOH 5%, (b) Resistência à Tração em função do teor de fibras tratadas com NaOH 10%



(a)



(b)

Fonte: Autora, 2013.

Fonte: autora, 2013.

5.2.2 Módulo de Young

Os resultados para o Módulo de Young obtidos pelo ensaio de tração sem extensômetro estão listados na Tabela 3.

Tabela 3 - Módulo de Young obtidos pelo ensaio de tração para compósito com fibras de Pente de Macaco sem e com tratamento com NaOH.

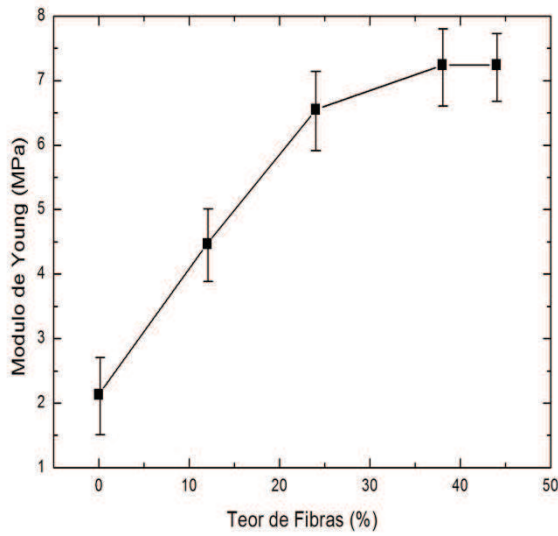
Teor de Fibras (%)	Mód Young (GPa) Sem Tratamento	Mód Young (GPa) NaOH 2,5%	Mód Young (GPa) NaOH 5%	Mód Young (GPa) NaOH 10%
0	2,13 ± 0,08	2,13±0,08	2,13±0,08	2,13±0,08
12	4,47 ± 0,26	3,78±2,75	3,83±0,95	3,11±0,90
24	6,55 ± 0,57	4,18±1,54	4,07±2,99	3,81±0,72
38	7,24 ± 0,74	6,09±2,04	4,73±2,49	4,38±0,62
44	7,24 ± 0,32	6,14±0,82	5,61±2,78	6,24±4,87

Fonte: Autora, 2013.

Os resultados da propriedade mecânica, módulo de Young, obtidos através do ensaio de tração, para os compósitos com fibras de Pente de Macaco tratadas foram inferiores aos compósitos com fibras de Pente de Macaco não tratadas e orientadas na direção longitudinal, estudadas por Rodrigues, F.S (2010).

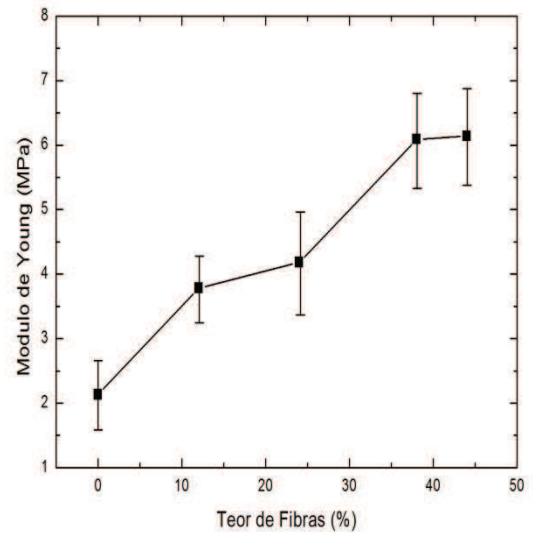
O melhor resultado encontrado no módulo de Young, foi para o teor 44% de fibras tratadas com NaOH 10%, sendo 6,24 para GPa, já para as fibras não tratadas são 7,24 GPa para o mesmo teor de fibra. Pode-se analisar nas Figuras 22 (a) e (b), 23 (a) e (b).

Figura 22 - Módulo de Young em função do teor de fibras não ratadas, (b) Módulo de Young em função de fibras tratadas com NaOH 2,5%.



(a)

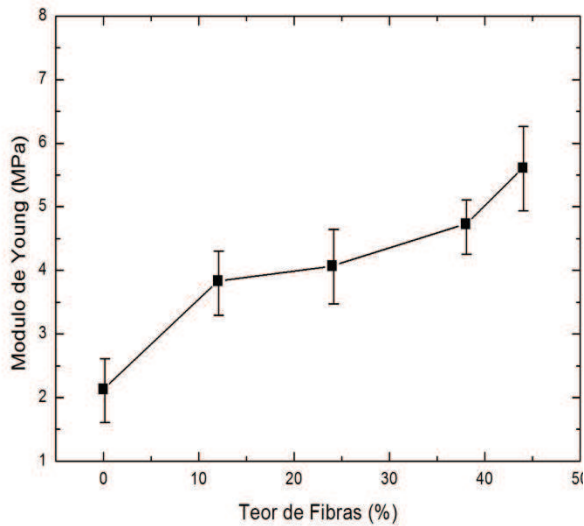
Fonte: Rodrigues, F. S, 2010.



(b)

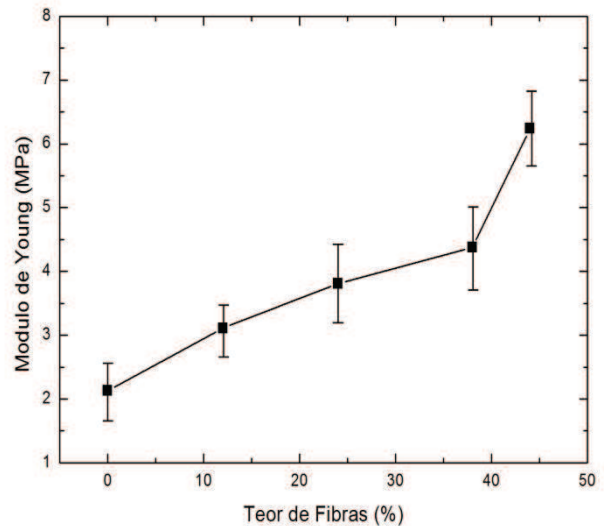
Fonte: Autora, 2013.

Figura 23 - Módulo de Young em função do teor de fibras tratadas com NaOH 5%, (b) Módulo de Young em função do teor de fibras tratadas com NaOH 10%.



(a)

Fonte: Autora, 2013.



(b)

Fonte: Autora, 2013.

5.2.3 Alongamento

Os resultados para o alongamento obtidos através pelo ensaio de tração estão listados na Tabela 4.

Tabela 4 - Alongamento obtidos pelo ensaio de tração para compósito com fibras de Pente de Macaco sem e com tratamento com NaOH.

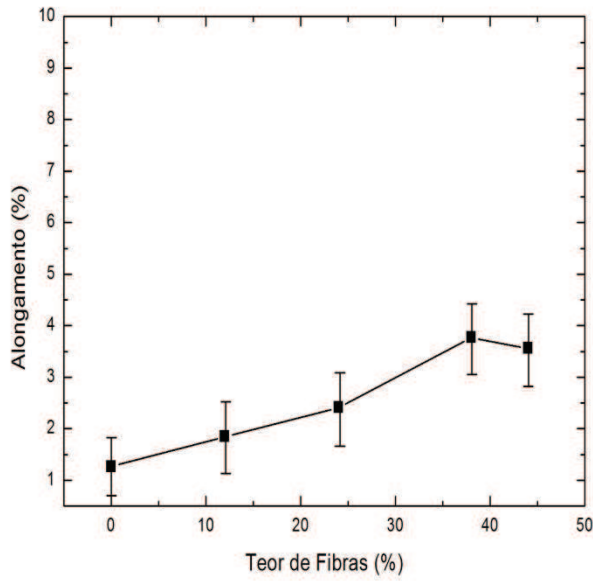
Teor de Fibras (%)	Alongamento (%) Sem Tratamento	Alongamento (%) NaOH 2,5%	Alongamento (%) NaOH 5%	Alongamento (%) NaOH 10%
0	1,27 ± 0,33	1,25±0,33	1,25±0,33	1,25±0,33
12	1,85 ± 0,30	1,90±1,60	2,45±1,33	5,52±2,85
24	2,41 ± 0,18	1,85±1,18	2,34±1,43	5,94±3,50
38	3,77 ± 1,00	3,13±0,58	4,96±3,13	8,90±1,35
44	3,56 ± 0,42	5,07±0,55	6,63±2,68	9,14±0,56

Fonte: Autora, 2013

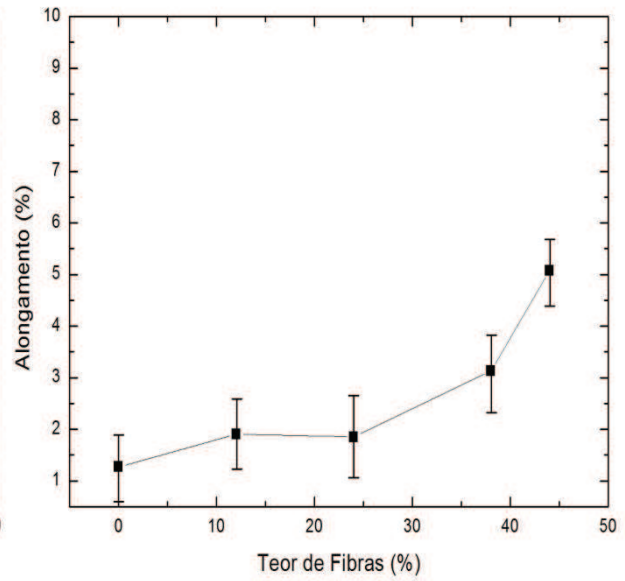
Diferente das outras propriedades estudadas, para o alongamento houve um aumento nos compósitos com fibras tratadas, em todas as concentrações de NaOH, sendo maior que os resultados encontrados por Rodrigues, F.S (2010). O maior resultados obtido nas fibras tratadas foi no compósito com fibras tratada com NaOH 10% com teor 44% tendo o alongamento de aproximadamente de 9%, uma vez que para compósitos com mesmo teor de fibras sem tratamento e orientadas na direção longitudinal foi de 3,56% por Rodrigues, F.S(2010).

Esses resultados estão ilustrados nas Figuras 24 (a) e (b), 25 (a) e (b).

Figura 24 - Alongamento em função do teor de fibras não tratadas, (b) Alongamento' em função de fibras tratadas com NaOH 2,5%.



(a)

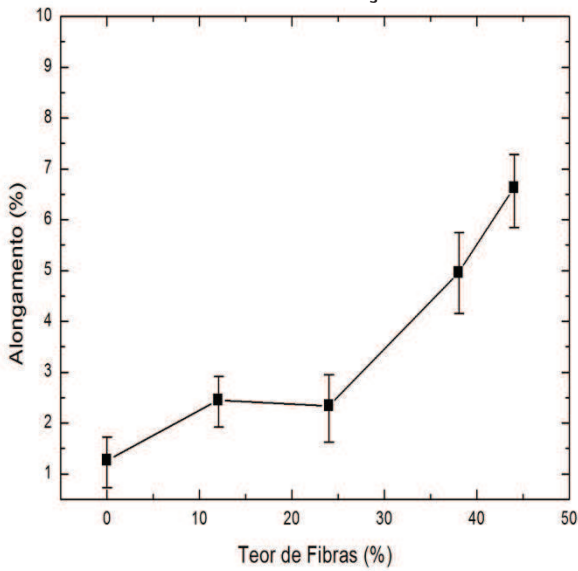


(b)

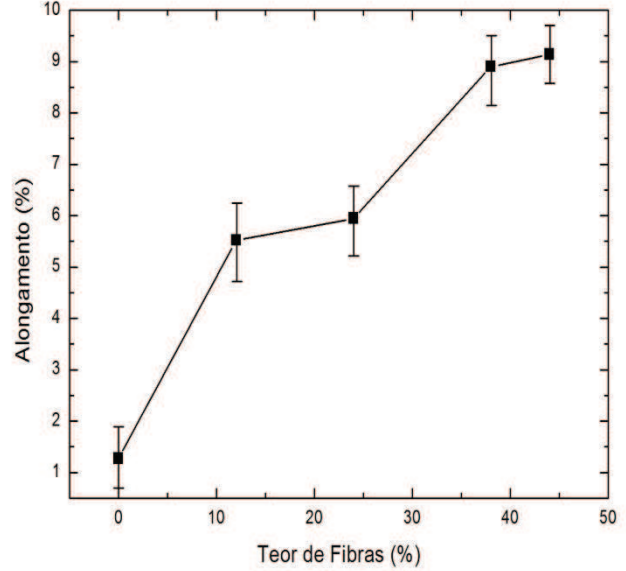
Fonte: Rodrigues, F. S, 2010.

Fonte: Autora, 2013.

Figura 25 - Alongamento em função do teor de fibras tratadas com NaOH 5%, (b) Alongamento em função do teor de fibras tratadas com NaOH 10%.



(a)



(b)

Fonte: Autora, 2013.

Fonte: Autora, 2013.

6 MORFOLOGIA DAS FIBRAS ANTES E APÓS TRATAMENTO DE MERCERIZAÇÃO

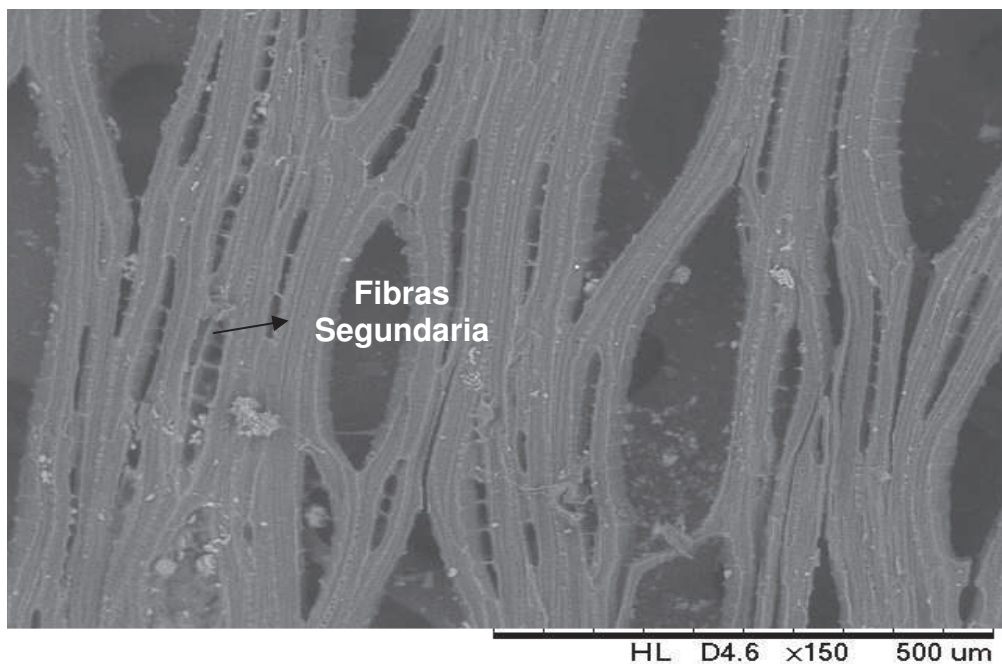
As Figuras 26, 27, 28 apresentam as micrografias obtidas através da técnica de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), onde se observa a morfologia das fibras não mercerizadas.

As Figuras 26 e 27 mostram a direção preferencial da fibra de Pente de Macaco, sendo essas sendo ligadas por fibras secundária. Nas Figuras 27 e 28 observa-se a presença de fibrilas presentes na rugosidade. Estas contribuem para melhor adesão da fibra na matriz polimérica, assim tendo a capacidade de serem transferidos esforços mecânicos da matriz para toda a fibra.

Uma vez que estas fibrilas podem resistir individualmente à solitação mecânica, mesmo que outras já tenham se rompido a capacidade de o conjunto sustentar esforços é bastante eficaz.

Através da Figura 28 é possível observar a presença de orgânicos remanescentes do processo de extração das fibras do caule da árvore. Não se sabe qual a influência desse resíduo na adesão da fibra com a matriz, para isso seria necessário um estudo do resíduo orgânico.

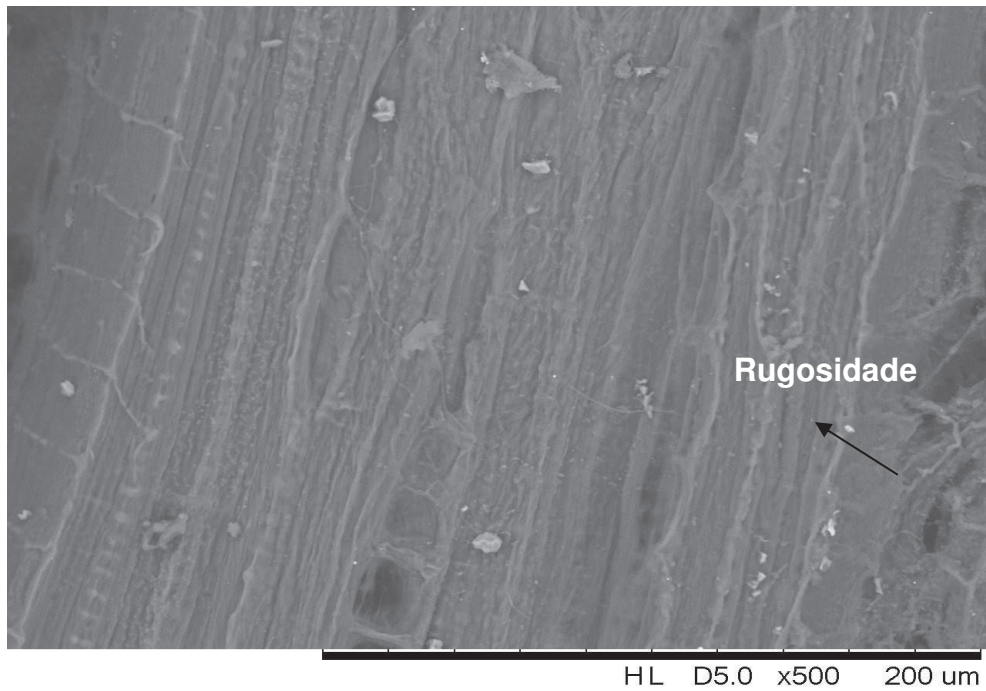
Figura 26 - Micrografia obtida por MEV da superfície de fibras Pente de Macaco não tratadas.



UFPA-FEMAT

Fonte: Autora, 2013.

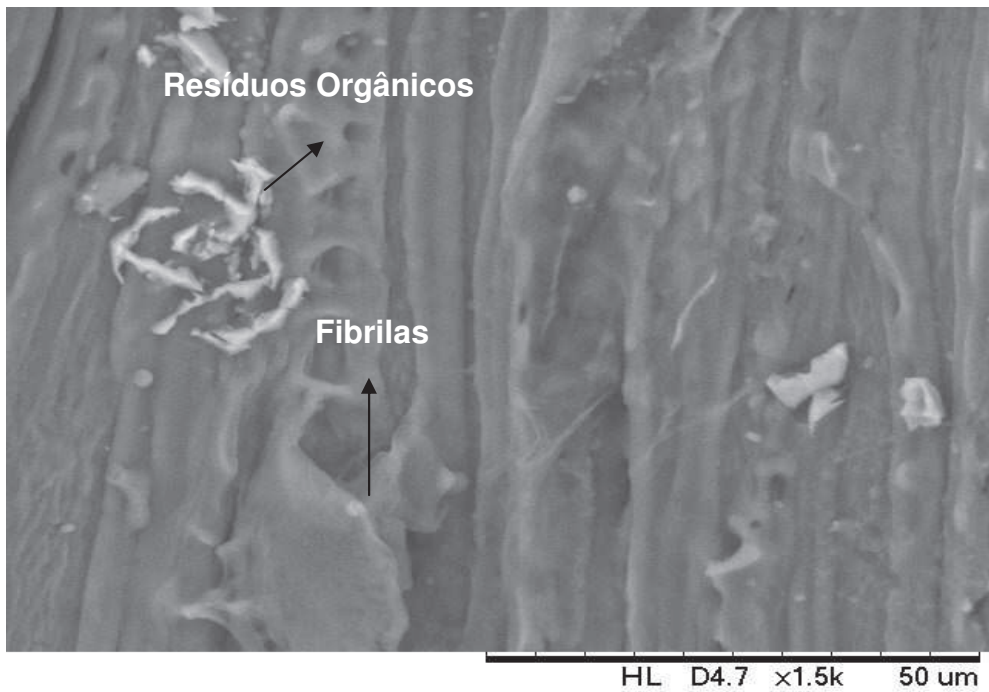
Figura 27- Micrografia obtida por MEV da superfície de fibras Pente de Macaco não tratadas.



UFPA-FEMAT

Fonte: Autora, 2013.

Figura 28- Micrografia obtida por MEV da superfície de fibras Pente de Macaco não tratadas.

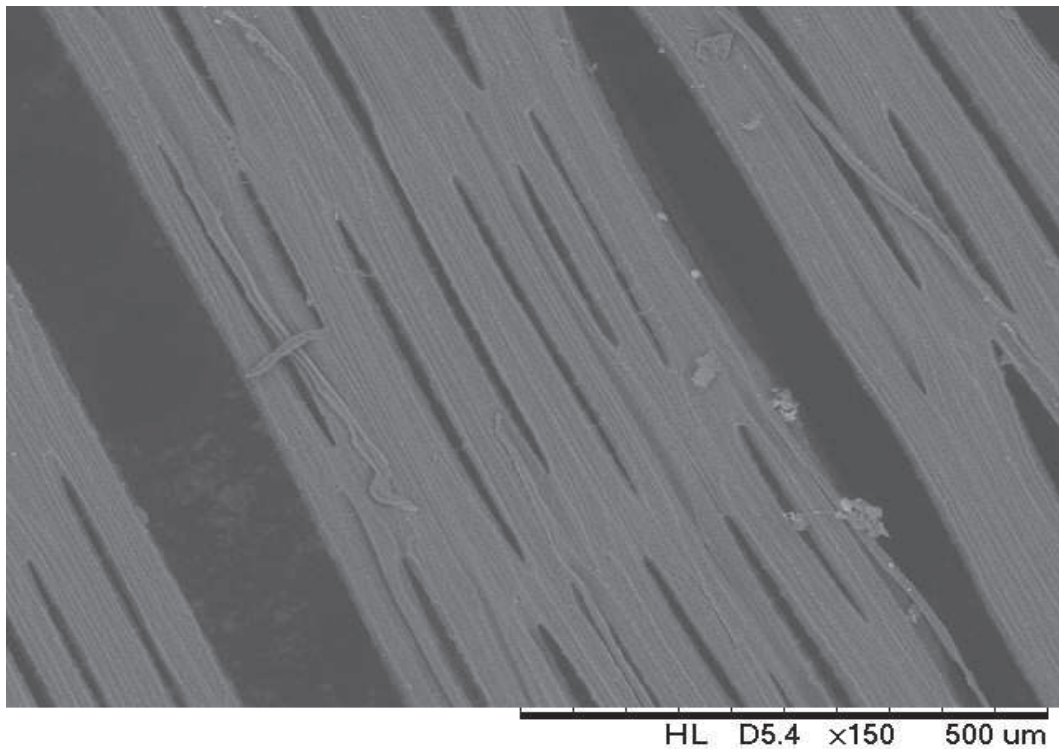


UFPA-FEMAT

Fonte: Autora, 2013.

As Figuras 29, 30, 31 e 32 apresentam a micrografia das fibras com tratamento superficial com NaOH 2,5 %, 5% e 10 %. Observou-se que o tratamento alcalino nas concentrações estudadas causou a desestruturação parcial das fibras. Como o aumento na concentração do hidróxido de sódio foi verificado a desfibrilação da fibra.

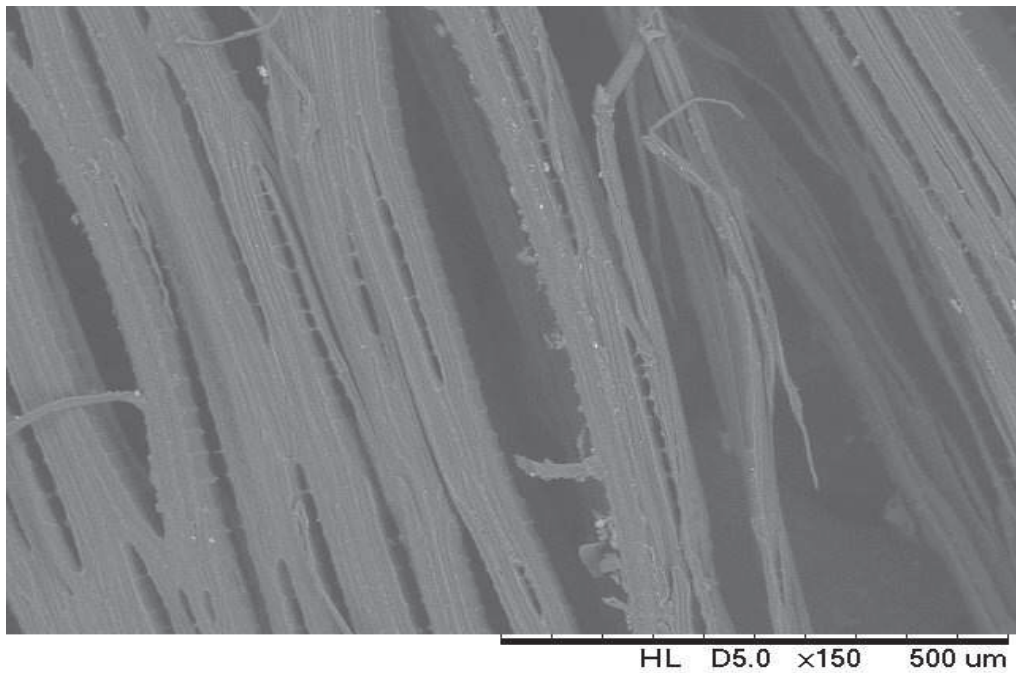
Figura 29- Micrografia obtida por MEV da superfície de fibras de Pente de Macaco tratadas com NaOH 2,5%.



UFPA-FEMAT

Fonte: Autora, 2013.

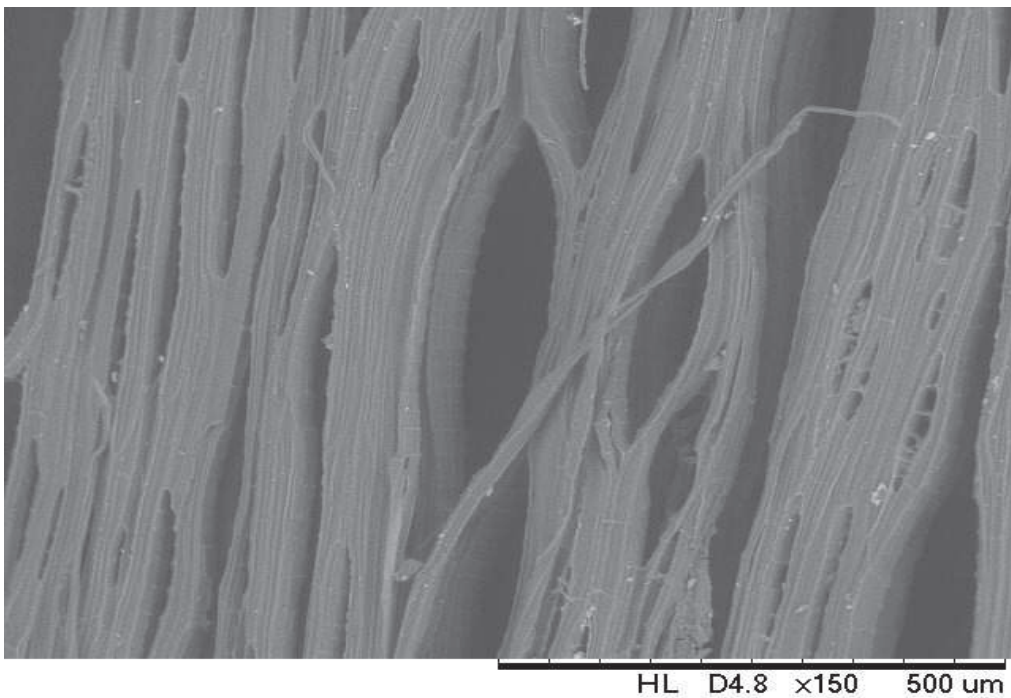
Figura 30- Micrografia obtida por MEV da superfície de fibras de Pente de Macaco tratadas com NaOH 5%.



UFPA-FEMAT

Fonte: Autora, 2013

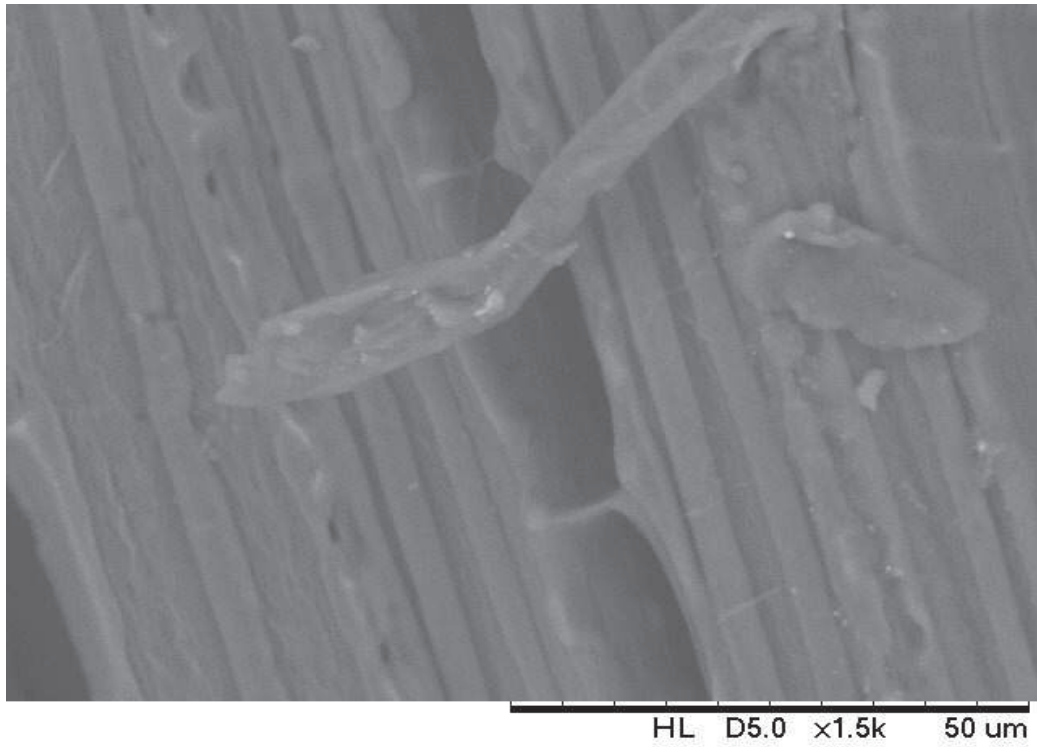
Figura 31- Micrografia obtida por MEV da superfície de fibras de Pente de Macaco tratadas com NaOH 10%.



UFPA-FEMAT

Fonte: Autora, 2013.

Figura 32- Micrografia obtida por MEV da superfície de fibras de Pente de Macaco tratadas com NaOH 10%.



UFPA-FEMAT

Fonte: Autora, 2013.

7 CONCLUSÃO

Em todos os compósitos estudados apresentaram uma melhoria nas propriedades mecânicas estudadas em relação à resina pura. Porém quando comparados com os compósitos estudados por Rodrigues. F. S., 2010, esses com Pente de Macaco sem tratamento orientado longitudinalmente, ocorreu uma diminuição das propriedades mecânicas, obtidas através do ensaio de tração.

Nos compósitos orientados bidirecionalmente sem tratamento, a diminuição nas propriedades se explica devido à orientação longitudinal teve maior resistência mecânica que a orientação bidirecional.

A mercerização realizada na fibra de Pente de Macaco causou a degradação das fibrilas reduzindo a resistência da fibra, conseqüentemente a do compósito. Ocorreu a diminuição das propriedades mecânicas de resistência à tração e módulo de Young. Por outro lado, o aumento do alongamento demonstra uma melhoria na adesão da fibra na matriz polimérica.

Outra das possíveis razões para esses comportamentos está diretamente ligada ao poder de ataque do tratamento alcalino utilizado, em relação às variantes de concentração e tempo.

Estes resultados preliminares, obtidos nesse trabalho, indicam que as fibras Pente de Macaco orientadas na bidirecional e as fibras de Pente de Macaco tratadas com NaOH com concentrações 2,5%, 5% e 10 % orientadas na longitudinal podem ser utilizadas em compósitos poliméricos, para aplicações onde seja necessário médio desempenho mecânico, tais como cestos, luminárias e divisórias de paredes. Levando em consideração à resistência à tração. Tendo como melhor resultado os compósitos com fibras tratadas com NaOH 2,5% orientadas na direção longitudinal.

8 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

- ✓ Realizar uma análise química das fibras, com o intuito de conhecer sua composição e escolher um tratamento superficial adequado;·.
- ✓ Realizar outros tratamentos superficiais.
- ✓ Desenvolver compósitos híbridos, isto é, compósitos reforçados simultaneamente com fibras de Pente de Macaco e outra fibra vegetal ou ainda reforço cerâmico.
- ✓ Programar um teste de hipóteses, a fim de aumentar a confiabilidade dos resultados obtidos.
- ✓ Absorção de água, no compósito com fibras sem e com tratamento.
- ✓ Analisar a influência do tempo durante a mercerização.
- ✓ Realizar outros tipos de ensaios mecânico, como impacto, fadiga e de cisalhamento.

9 REFERÊNCIAS

SABARIZ, A.; SILVA, V. R. V.; *et all.* **Propriedades Mecânicas de Compósitos Formados por Matriz Epoxídica Reforçada com Fibras Vegetais.** In: 17º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Anais. Foz do Iguaçu, PR: CBECIMat, 2006.

RODRIGUES, F.S; ANDRADE, E. C.; NÓBREGA, M. M. S. **Desenvolvimento e Caracterização Mecânica de Compósitos Poliméricos Reforçados por Fibras Vegetais de Pente de Macaco (*Apeiba Tibourbou Aubl*).** In: 65º Congresso Internacional ABM. Rio de Janeiro. 2010. Rio de Janeiro, p. 1. Disponível em: <http://www.abmbrasil.com.br/> acesso em: 03 de Julho de 2012.

NÓBREGA, M. M. S. **Compósitos de Matriz Poliéster com Fibras de Caroá *Neoglaziovia Variegata*: Caracterização Mecânica e Sorção de Água.** Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) - Centro de Ciências e Tecnologia - Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Campina Grande: PB, 2007.

CAMERINI, A. L.; TERRONES, L. A. H.; MONTEIRO, S. N. **Tenacidade ao Impacto de Compósitos de Tecido de Junta Reforçando Matriz de Polietileno Reciclado.** Rev. Matéria, vol. 13, n. 1, Rio de Janeiro: RJ, 2008.

NETO, F. L. PARDINI, L. C. **Compósitos Estruturais: Ciência e Tecnologia.** Editora: Edgard Blücher, São Paulo, SP. 2006.

ALMEIDA, A. L. S.; BARRETO, D.W.; *et all.* **Efeito De Tratamentos Superficiais em Fibras de Piaçava Sobre o Comportamento Dinâmico-Mecânico de Compósitos de Matriz Poliéster Isoftálica.** In: 17º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Anais. Foz do Iguaçu, PR: CBECIMat, 2006.

FERNANDES, R. I. M. **Estudo da Modificação Química nas Fibras Provenientes da Coroa do Abacaxi.** In: 10º Congresso Brasileiro de Polímeros. Anais. Foz do Iguaçu, PR: CBPol, 2009.

MATOS, V. P. *et all.* **Efeito do Tipo de Embalagem e do Ambiente de Armazenamento Sobre a Germinação e o Vigor das Sementes de *Apeiba tibourbou* Aubl.** Rev. *Árvore*, vol. 32, n. 4, p. 617-625, 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/> acesso em: 04 de Julho de 2012.

GIRNOS, E.C. **Morfologia, Anatomia e Aspectos da Germinação de *Apeiba tibourbou* Aubl.** Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) - Universidade Estadual Paulista- UNESP, São Paulo, SP: 1993.

ASKELAND, D. R. PHULÉ, P. P. **Ciência e Engenharia de Materiais.** Editora: Cengage Learning, São Paulo, SP. 2008.

Willian D. Callister, JR., **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução.** Editora: LTC, São Paulo, SP. 2003.

SILVA, H. S. P. **Desenvolvimento de Compósitos Poliméricos com Fibras de Curauá e Híbrido com Fibras de Vidro.** Dissertação para Obtenção do Título em Mestre Engenheiro – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, RS: 2010.

TANOBE, V. O. A.; SYDENSTRICKER, T. H. D; AMICO, S. C.; SOUZA, G. P. **Fabricação e Caracterização de Compósitos Poliméricos Reforçados por Fibras de *Luffa Cylindrica*.** In: XV Congresso Brasileiro de Engenharia Química. Curitiba, PN. Setembro de 2004.

FELIPE, R. C. T. S.; **Apostila: Materiais Compostos.** Centro federal de educação tecnológica do RN. Departamento acadêmico de tecnologia industrial. Curso superior em tecnologia da fabricação mecânica. Setembro de 2008.

FILHO, M. A. S. G.; **Avaliação Mecânica de Compósitos de Resina Poliéster Reforçada com Fibras longas de Babaçu Antes e após a Mercerização.** Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal do Pará – Faculdade de Engenharia de Materiais. 2011.

OLIVEIRA, A. K. F.; D'ALMEIDA, J. R.M.; **Caracterização da Fibra de Ubuçu como Elemento para Fabricação de Ecocompósitos.** In: 18^a Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Porto de Galinhas, Recife, PE. Novembro de 2008.

MATOS, V. P. et al. **Efeito do tipo de embalagem e do ambiente de armazenamento sobre a germinação e o vigor das sementes de *Apeiba tibourbou* AUBL.** Rev. Árvore, vol. 32, n. 4, Viçosa, 2008.

SILVA, A. C. **Estudo da Durabilidade de Compósitos Reforçados com Fibras de Celulose.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil na Área de Engenharia de Construção Civil. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo-SP, 2003.

SILVA, C. C. *et all.* **Desenvolvimento de Tecidos de Sisal para Utilização em Compósitos Poliméricos.** Instituto federal do Rio Grande do Norte. Natal-RN, 2009.

SAVIOLI, R. G; RIBEIRO, A. L. A; SÁNCHEZ, C. G; SANCHES, E. M. S. **Avaliação das Propriedades Mecânicas e Térmicas do Compósito de Fibra de Bananeira em Matriz Polimérica de Poliéster Insaturado.** In: 18^a Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Porto de Galinhas, Recife, PE. Novembro de 2008.

ANDRADE, E. C.; NÓBREGA, M. M. S. **Compósitos de Matriz Poliéster Reforçados com Fibras de Babaçu *Orrbignya speciosa* : Caracterização Mecânica.** 2009, Foz do Iguaçu. Paraná: CBPol, 2009.

LEÃO, M. A. **Fibras de Licuri: Um reforço alternativo de compósitos poliméricos.** (Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, Natal: RN, 2008.

RODRIGUES, F. S. **Desenvolvimento e Caracterização Mecânica de Compósitos Poliméricos Reforçados por Mantas Vegetais de Pente de Macaco (*Apeiba Tibourbou Aubl*).** Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal do Pará – Faculdade de Engenharia de Materiais. 2010.