



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

Milton Adalberto da Silva Guimarães Filho

**Avaliação mecânica de compósitos de resina poliéster
reforçada com fibras longas de babaçu antes e após a
Mercerização**

MARABÁ
2011

Milton Adalberto da Silva Guimarães Filho

**Avaliação mecânica de compósitos de resina poliéster
reforçada com fibras longas de babaçu antes e após a
Mercerização**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de
Engenharia de Materiais da
Universidade Federal do Pará –
UFPA, em cumprimento às exigências
para obtenção do grau de Bacharel
em Engenharia de Materiais.
Orientador: Prof. Márcio Paulo de
Araújo Mafra

MARABÁ
2011

Milton Adalberto da Silva Guimarães Filho

**Avaliação mecânica de compósitos de resina poliéster
reforçada com fibras longas de babaçu antes e após a
Mercerização**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de
Engenharia de Materiais da
Universidade Federal do Pará –
UFPA, em cumprimento às exigências
para obtenção do grau de Bacharel
em Engenharia de Materiais.
Orientador: Prof. Márcio Paulo de
Araújo Mafra

Data de aprovação: ____/____/____

Conceito: _____

Bancada Examinadora:

Prof. Márcio Paulo de Araújo Mafra
ORIENTADOR – UFPA

Prof. M.Sc. Luis Fernando Nazaré Marques
EXAMINADOR – UFPA

Prof^a Dr^a Rosane Maria Pessoa Betânio Oliveira
EXAMINADOR – UFPA

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a cada pessoa que ao longo de minha vida acadêmica teve confiança e respeito pelo que eu almejo, foram inúmeros professores e amigos que entraram e saíram da minha vida, provas terríveis, tropeços e vitórias. Momentos de extrema alegria, proporcionados pelo êxtase da aprovação no vestibular até as inesquecíveis confraternizações da FEMAT 07, choro pela distância de velhos e grandes amigos e principalmente por esta aparentemente tão perto da minha família, mas longe para abraçar minha “mamuh” e meu “papusko” e por perdas de amigos que estarão para sempre em meu coração. In memoriam aos meus queridos e eternos amigos, Flavinho, Yramilton, Eliane e Mauro, que partiram deixando duas certezas, a primeira é que o mundo pode ser melhor, bastando somente um sorriso e a segunda é que o mundo perdeu um pouco do seu brilho com a partida tão cedo de pessoas tão maravilhosas.

AGRADECIMENTOS

Ao meu Deus de infinitas graças, que com sua misericórdia e compaixão ilimitadas me concedeu o dom de ter uma família maravilhosa e amigos sensacionais, além de me oferecer oportunidades e dar forças para superar todos os obstáculos ao longo de toda minha vida, em especial no período desses quase cinco de Marabá-PA.

Aos meus pais queridos o Senhor Milton e dona Gildete, que sempre fizeram de tudo para me oferecer uma educação com princípios éticos e morais. Sendo durante toda minha vida os pilares de sustentação social, religiosa e econômica.

Aos melhores irmãos do mundo Tatiane, Patrícia e Firmino Guimarães, pelo incentivo, apoio e por me aturarem em todas as horas que chorei pensando que tudo parecia perdido.

Aos meus irmãozinhos Rodrigo e Clarice que desde chegaram em minha vida vêm me ensinando humildade e respeito.

Aos meus amigos da querida e melhor turma que já tive o prazer de estudar FEMAT 2007 pelo carinho, “respeito” e brincadeiras.

Um agradecimento em especial a Ayla Nobre, Livia Araújo, Suelen Camargo, Carlos Vinicius e Rosenildo Lima, que dividiram durante toda minha graduação, momentos sem iguais de alegria, proporcionados por vitórias e superações.

Ao meu orientador professor Paulo Mafra, pelo apoio acadêmico e financeiro para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao professor Adriano Rabelo, por ter me ajudado nas análises no Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV).

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

Aos grandes e verdadeiros amigos que tive o prazer de fazer durante minha estadia em Marabá, o meu grandíssimo obrigado a André Branches, Andrejev Souza, Rodrigo Sampaio, Luan Fernandes, Mário Eduardo, Albiney Castro, Neyvaldo Lopes, Juliane Brito, Stefani Marina, Priscila Freitas, Emmanuelle Andrade, Lys Daniele, Elaine Andrade, Cleyson Lameira, Nângela Frank, Weylla Lopes, Janykelly Gonçalves, Erika Rossini, Raiane Sodré e Adilton Rocha.

A toda equipe de serviços da UFPA, por ajudarem e serem compreensivos com as bagunças e cheiro nada agradável dos materiais utilizados.

Ao GEPC, em especial a Juliana Rodrigues pela colabora o na parte experimental deste trabalho.

Aos meus irmãos, amigos e companheiros de longa data, Alison, Carlayne e Carine Dias, Bruno Pereira, Júlio C zar, Jomar Júnior, Elias Reinaldo, Elaine Rocha, Elissandra Gomes, Eduardo e Edin ia Souza Trasiblo (Brasil), Mauricio e Marcela Cassini, Raulim e Rogério Galvão e aquele que me fez rir, “chorar” e foi o descobridor da fibra utilizada nesse trabalho o eterno “R ”.

Aos meus amigos da Faculdade que de alguma maneira me ajudaram diretamente e indiretamente.

  Universidade Federal do Pará, pela forma o em Engenharia de Materiais.

EPÍGRAFE

Seria mais fácil fazer como todo mundo faz
o caminho mais curto, produto que rende mais [...]

Mas nós vibramos em outra frequência

sabemos que não é bem assim

se fosse fácil achar o caminho das pedras

tantas pedras no caminho não seria ruim [...]

Seria mais fácil fazer como todo mundo faz.

(Engenheiros do Hawaii - Outras frequências)

RESUMO

A busca por materiais ecologicamente corretos, visando minimizar os problemas ambientais tem se tornado uma grande preocupação nos últimos anos. A utilização das fibras naturais como substitutas de diversos reforços sintéticos ou de cargas minerais em compósitos poliméricos tem apresentado um grande potencial de aplicação tecnológica. Este trabalho tem por objetivo desenvolver um compósito utilizando resina poliéster reforçada com fibras longas oriundas do invólucro do palmito da palmeira do Babaçu. Foram confeccionadas placas do compósito com diferentes pesos de massa do reforço fibroso para estudo das propriedades mecânicas em tração e flexão de acordo com as normas ASTM D-3039 e D-790, respectivamente. Realizou-se um tratamento alcalino nas fibras conhecido como mercerização no peso em massa de fibra de 50 g, uma vez que este foi considerado o volume crítico. Devido apresentar os melhores resultados nos ensaios de tração e flexão. As concentrações de NaOH foram variadas de 2,5 até 10,0 % e o gradiente do tempo foi mantido constante sendo utilizado o período de uma hora. As alterações na morfologia de superfície das fibras foram avaliadas através da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). Os resultados demonstram que a fibra longa do invólucro do palmito do babaçu tem grande potencial como reforço na resina poliéster, e não apresentaram melhoras significativas nas propriedades mecânicas após a mercerização.

Palavras – chaves: Poliéster. Babaçu. Propriedades mecânicas. Mercerização.

ABSTRACT

The search for environmentally friendly materials, to minimize environmental problems has become a major concern in recent years. The use of natural fibers as a substitute for various reinforcement synthetic or mineral fillers in polymer composites has shown a great potential for technological application. This work aims to develop a composite using polyester resin reinforced with long fibers coming from the casing of the babaçu. Composite plates were prepared with different weights of fibrous mass reinforcement to study the mechanical properties in tension and bending according to ASTM D-3039 and D-790, norms respectively. It was carried out an alkaline treatment of fibers known a 50 g fiber mass weight mercerization, since this was considered the critical volume, due to present the best results in tension and bending tests. The concentrations of NaOH were varied from 2.5 to 10 % and the gradient time was kept constant and used the period of 1 hour. Changes in surface morphology of the fibers were evaluated by Scanning Electron Microscopy (SEM). The results show that the long-fiber casing of the babaçu palm has great potential as reinforcement in polyester resin, and showed no significant improvement in mechanical properties after mercerization.

Keywords: polyester. babaçu. mechanical properties. mercerization

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - <i>Orrbignya Speciosa</i> , comumente conhecida como babaçu.....	15
Figura 2 - Corte transversal de um compósito reforçado por fibra.....	18
Figura 3 - Compósitos com diferentes reforços: a) fibras curtas aleatórias; b) partículas; c) laminados; d) partículas lamelares; e) fibras longas desalinhadas.....	19
Figura 4 - Fibras de babaçu no tronco da palmeira.....	25
Figura 5 - Fluxograma da metodologia empregada para obtenção e caracterização mecânica do compósito estudado.....	32
Figura 6 - Retida das fibras na forma de mantas do invólucro do palmito.....	33
Figura 7 - Molde utilizado para a confecção das placas de compósitos.....	35
Figura 8 - Placa sendo confeccionada em uma prensa hidráulica sob pressão de oito toneladas por oito horas.....	36
Figura 9 – Dimensões dos corpos de prova para ensaio de tração e flexão, respectivamente.....	36
Figura 10 – Placa e corpos de prova do compósito estudado.....	37
Figura 11 - Máquina de ensaio universal, utilizada para os ensaios de flexão e tração.....	38
Figura 12 - Resistência à tração dos compósitos em função do peso em massa de fibra de babaçu não tratadas.....	41
Figura 13- Módulo de Young dos compósitos em função do peso em massa de fibra de babaçu não tratadas.....	42
Figura 14 - Alongamento na ruptura dos compósitos em função do peso em massa de fibra de babaçu não tratadas.....	43
Figura 15 - Resistência a flexão dos compósitos em função do peso em massa de fibra de babaçu não tratadas.....	44
Figura 16 - Força de ruptura dos compósitos em função do peso em massa de fibra de babaçu não tratadas.....	45
Figura 17 - Resistência à tração dos compósitos em função da concentração de NaOH.....	46
Figura 18 - Módulo de Young dos compósitos em função da concentração de NaOH.....	47

Figura 19 - Alongamento na Ruptura dos compósitos em função da concentração de NaOH.....	48
Figura 20 - Resistência a flexão dos compósitos em função da concentração de NaOH.....	49
Figura 21 - Força de ruptura dos compósitos em função da concentração de NaOH.....	49
Figura 22 (a) e (b) - Micrografia obtida por MEV da superfície de fibras de Babaçu não tratadas. Aumento de 150 e 300x respectivamente.....	50
Figura 23 (a) e (b) - Micrografia obtida por MEV da superfície de fibras de Babaçu mercerizadas com concentração de 2,5% de NaOH. Aumento de 150 e 300x respectivamente.....	52
Figura 24 (a) e (b) - Micrografia obtida por MEV da superfície de fibras de Babaçu mercerizadas com concentração de 5% de NaOH. Aumento de 150 e 300x respectivamente.....	53
Figura 25 (a) e (b) - Micrografia obtida por MEV da superfície de fibras de Babaçu mercerizadas com concentração de 7,5% de NaOH. Aumento de 150 e 300x respectivamente.....	54
Figura 26 (a) e (b) - Micrografia obtida por MEV da superfície de fibras de Babaçu mercerizadas com concentração de 10,0% de NaOH. Aumento de 150 e 300x respectivamente.....	55
Figura 27 - Micrografia obtida por MEV da superfície de fibras de Babaçu mercerizadas com ênfase na microfibrila de floema. Aumento de 6000x.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Comparação das propriedades entre termoplásticos e termorrígidos.....	20
Tabela 02 - Propriedades mecânicas obtidas pelo ensaio de tração dos compósitos com reforço de fibras longas de Babaçu sem tratamento. Pós-cura por 48 horas a 50 °C.....	40
Tabela 03 - Resistência à flexão e força de ruptura dos compósitos obtidos por ensaios de flexão em 3 pontos em função do peso em massa de fibra.....	43
Tabela 04 - Propriedades mecânicas obtidas pelo ensaio de tração dos compósitos com reforço de fibras longas de Babaçu mercerizadas. Pós-cura por 48 horas a 50 °C.....	45
Tabela 05 - Propriedades mecânicas obtidas pelo ensaio de flexão dos compósitos com reforço de fibras longas de Babaçu mercerizadas. Pós-cura por 48 horas a 50 °C.....	48

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	16
3	REVISÃO BIBLIOGRAFICA	17
3.1	COMPÓSITOS.....	17
3.2	COMPÓSITOS POLIMÉRICOS.....	20
3.2.1	RESINA POLIÉSTER.....	22
3.2.2	AGENTES DE CURA.....	22
3.3	REFORÇO.....	23
3.3.1	FIBRAS DO BABAÇU.....	24
3.4	INTERFACE MATRIZ-FIBRA.....	25
3.5	MERCERIZAÇÃO.....	26
3.6	COMPÓSITOS POLIMERICOS REFORÇADOS POR FIBRAS VEGETAIS.....	27
4	METODOLOGIA	32
4.1	MATRIZ POLIMÉRICA.....	32
4.2	FIBRAS LONGAS DE BABAÇU.....	33
4.3	PREPARAÇÃO DOS COMPÓSITOS.....	33
4.4	CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DA SUPERFÍCIE DAS FIBRAS TRATADAS E NÃO TRATADAS.....	38
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	40
5.1	ENSAIOS MECÂNICOS.....	40
5.2	FIBRAS NÃO MERCERIZADAS.....	40
5.3	FIBRAS MERCERIZADAS.....	45
5.4	MORFOLOGIA DAS FIBRAS ANTES E APÓS TRATAMENTO DE MERCERIZAÇÃO.....	50
6	CONCLUSÕES	57
7	SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS	58
	REFERÊNCIAS	59

1 INTRODUÇÃO

A utilização de fibras vegetais em produtos comerciais teve um aumento significativo nos últimos anos, devido sua grande contribuição para geração de riquezas, o seu uso reduz o impacto ambiental, causado pela produção e descarte de bens de consumo, já que são abundantes, de fontes renováveis, biodegradáveis e de baixo custo, além de favorecer um maior aproveitamento do potencial agrícola brasileiro.

Boas propriedades mecânicas combinadas com baixa densidade tornam as fibras naturais um bom componente para a aplicação em compósitos e desenvolvimentos de materiais de baixo custo, tais como divisórias, cestos, luminárias, etc. Além de melhorar as propriedades mecânicas dos materiais, a substituição de polímeros com fibras naturais, diminui o custo do produto e a utilização de fontes não renováveis, a exemplo temos a resina poliéster usada neste trabalho, o que industrialmente se torna um dos principais motivos das crescentes e relevantes novas pesquisas na área de compósitos poliméricos. Também deve ser mencionado que a natureza oca, de fibras vegetais, pode conceder o isolamento acústico ou dependendo do tipo de matriz, promover determinadas propriedades de amortecimento (FRANCO; GONZÁLEZ, 2004).

Ao contrário das fibras de engenharia tradicional, por exemplo, vidro e fibra de carbono, juntamente com cargas minerais, as fibras lignocelulósicas são capazes de transmitir ao compósito certos benefícios, tais como menor densidade, menos desgaste da máquina produzido pelos reforços minerais, ausência de riscos para a saúde e um alto grau de flexibilidade; além disso, promovem ao compósito, resistência relativamente elevada e rigidez (JOSEPH, SREEKALA, 2002).

As fibras vegetais apresentam algumas dificuldades para serem utilizadas como cargas para materiais poliméricos, dentre elas podem-se citar: a temperatura de degradação e elevada higroscopicidade. A temperatura de degradação das fibras vegetais é relativamente baixa, em torno de 200 °C. Nesta temperatura pode ocorrer tanto a degradação propriamente dita, quanto a liberação de voláteis, diminuindo as propriedades mecânicas dos compósitos. Sendo assim, seu uso fica limitado a materiais plásticos com baixa temperatura de processamento, como por exemplo: polietileno, polipropileno, policloreto de vinila e poliestireno. Em relação à higroscopicidade, a absorção de umidade pode resultar em inchamento das fibras o

que compromete a estabilidade dimensional do compósito e diminui a interação fibra/matriz, fragilizando o compósito, exigindo assim a utilização adequada de tratamentos físicos e químicos para aumentar a aderência fibra/matriz, uma vez que a interface desempenha um papel importante nas propriedades físicas e mecânicas de tais materiais. (DHAKAL, 2007).

A principal desvantagem da fibra natural pode ser sua natureza hidrofílica, o que diminui a compatibilidade com a hidrofóbica matriz polimérica. O papel da matriz em compósitos reforçados com fibras é transferir a carga para as fibras duras através de esforços de cisalhamento na interface. Este processo requer uma boa ligação entre a matriz polimérica e as fibras. Má aderência na interface significa que a plena capacidade do composto não pode ser explorada e deixa-o vulnerável a ataques ambientais que pode enfraquecê-lo, reduzindo assim sua vida útil (WAMBUA, 2003).

Diversos tipos de tratamento superficial distintos com sofisticação, custo, tecnologia e eficácia, foram proposto para melhorar a adesão fibra/matriz em compósitos poliméricos lignocelulósicos. 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 á propriedade mecânica do compósito, pois se houver adesão inadequada o desempenho do compósito será comprometido pelo surgimento de falhas. (FERNANDES, 2009).

As fibras utilizadas neste trabalho foram extraídas da planta *Orrbignya speciosa* da família botânica *Palmae* (Figura 1), popularmente conhecida como Babaçu. O palmito é o mais importante produto proveniente do babaçu, no entanto as amêndoas dentro dos seus cocos são fontes de óleos para a indústria de cosméticos, o tronco e os restos das cascas do fruto da palmeira são utilizados na produção de carvão. É importante ressaltar que uma vez derrubada, o aproveitamento da palmeira se dar por completo (ANDRADE; NÓBREGA, 2009).

Figura 1 - *Orrbignya Speciosa*, comumente conhecida como Babaçu.



Fonte: GUIMARÃES FILHO, 2011.

Dando enfoque as fibras utilizadas no presente trabalho, sua origem é do invólucro do palmito, portanto seu emprego si torna viável uma vez que, estas estavam sendo queimadas para a produção do carvão vegetal. Apesar de tantas e tão variadas utilidades, por sua ocorrência não controlada do ponto de vista econômico e agrícola, o Babaçu continua a ser tratado como um recurso marginal, permanecendo apenas como parte integrante dos sistemas tradicionais e de subsistência. O Babaçu é uma cultura extrativista, não havendo plantações comerciais (MULLIRANI, 2009).

Diante do exposto a motivação principal deste trabalho é o fato das fibras de Babaçu serem nativas do norte brasileiro, apresentarem propriedades mecânicas que indicam boas aplicações em compósitos poliméricos. Além disso, elas possuem um potencial para o desenvolvimento regional, visto que, seu reaproveitamento ajuda a amenizar os impactos ambientais, ocasionados pelas indústrias carvoeiras. A investigação da sua utilização como reforço em compósitos de matriz polimérica poucos estudos foram encontrados na literatura.

2 OBJETIVOS

Este trabalho tem o objetivo de desenvolver novos compósitos à base de resina poliéster insaturada, reforçada por fibras longas do invólucro do palmito de Babaçu *in natura* e tratadas quimicamente por Mercerização, um tratamento a base de hidróxido de sódio e alguns objetivos específicos tais como:

- Estudar suas propriedades mecânicas a partir dos ensaios de tração e flexão para diferentes teores fibrosos;
- Avaliar as alterações na morfologia da superfície das fibras antes e após tratamento químico através da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).
- Levantar possíveis aplicações para o compósito obtido;
- Viabilizar substituições de reforços convencionais pelas fibras estudadas no presente trabalho.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

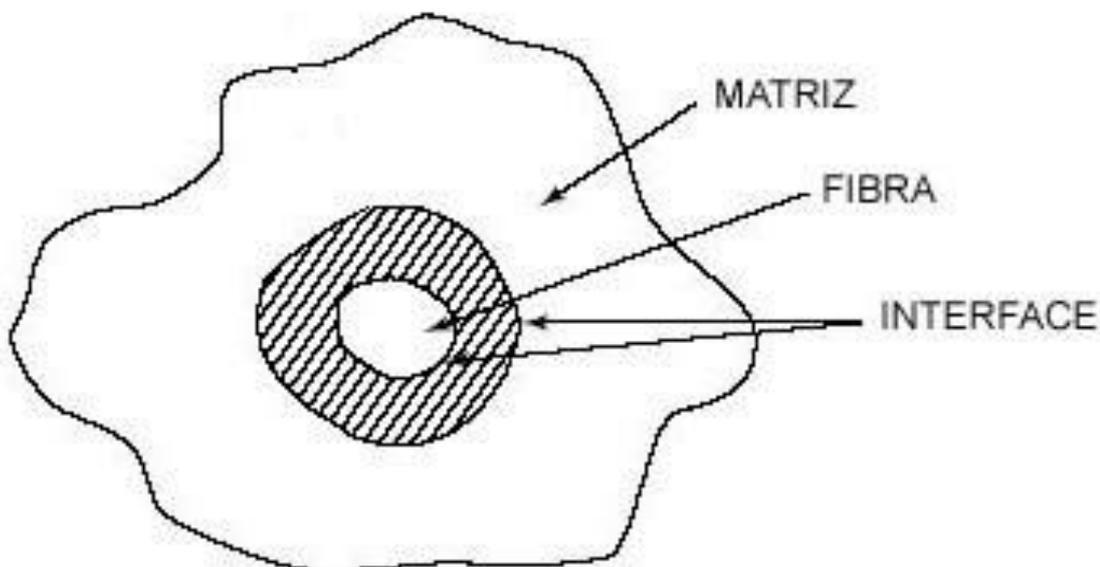
3.1 COMPÓSITOS

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 propriedades dos compósitos são controladas, principalmente, pelas propriedades de seus materiais constituintes, teor de reforço, grau de dispersão, geometria do reforço, razão de aspecto (relação comprimento/diâmetro) e orientação das fibras. Estas propriedades controlam a homogeneidade do produto. As características de anisotropia de um compósito são influenciadas enormemente pela orientação do reforço. Compósitos longitudinalmente orientados são anisotrópicos por natureza e o máximo na resistência é obtido quando o material é testado na direção do alinhamento das fibras. Na direção transversal ao alinhamento das fibras, o reforço é virtualmente inexistente e, portanto, o material falha já em tensões muito baixas (LI, 2000).

Um dos fatores mais importantes em materiais compósitos, com uma ou mais fases contínuas, é a interface entre o reforço e a matriz (Figura 02) A interface 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 (FORNARI, 2009).

Figura 2 - Corte transversal de um compósito reforçado por fibra.



Fonte: SOBRINHO, 2005.

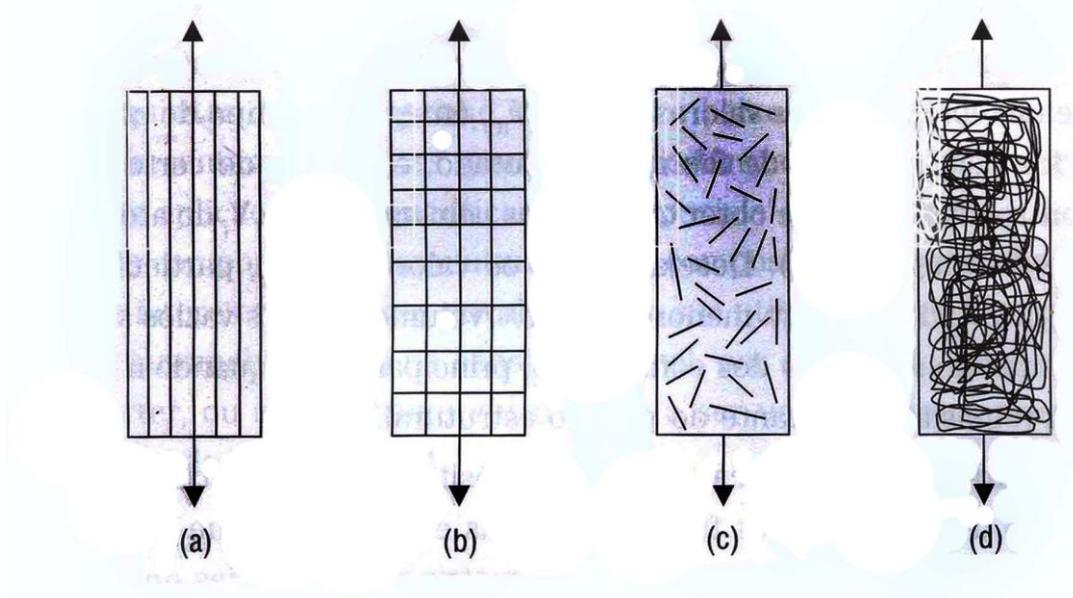
Embora possuam propriedades mecânicas inferiores quando comparado aos compósitos com fibras contínuas, os compósitos com fibras descontínuas oferecem maior facilidade de processamento a um menor custo. Nos compósitos com fibras descontínuas, as propriedades do compósito dependem da quantidade e comprimento das fibras. Os extremos das fibras são geralmente pontos concentradores de tensões, que induzem tensões cisalhantes na interface. Assim como o comprimento das fibras, a sua orientação é de igual importância e depende essencialmente do processo de fabricação. As propriedades mecânicas variam consideravelmente de acordo com a mudança na distribuição de orientação das fibras (PAIVA, 1999; SILVA, 2003).

As propriedades físico-químicas e mecânicas dos componentes de um compósito são combinadas para proporcionar as características desejadas ao produto final; esta mudança deve ser realizada conhecendo as propriedades individuais de cada componente. Uma propriedade física dos materiais que afeta diretamente a estrutura dos compósitos é o coeficiente de expansão térmica. Uma discrepância muito acentuada nesta propriedade entre os componentes do compósito dificulta a adesão entre os componentes, pois a dilatação ou a contração

diferencial favorece a separação das fases na região interfacial. Quanto maior o coeficiente de expansão térmica mais fraca será a interação atômica ou molecular na estrutura do material (SHACKELFORD, 2005). Este efeito será mais acentuado quando o material for submetido a elevados gradientes de temperatura.

Os compósitos podem ser classificados de acordo com o tipo de matriz, tipo do reforço utilizado e com a geometria ou a forma dos reforços presentes. Materiais com características orgânicas podem ser conjugados com aqueles de natureza inorgânica. Componentes na forma de fibras (longas ou curtas), partículas globulares, plaquetárias ou escamas (Figura 3), podem ser incorporadas a matrizes dúcteis ou frágeis de maneira aleatória ou em laminados orientados, gerando compósitos com diferentes estruturas e propriedades (CAVALCANTI, 2006; CALLISTER, 2007).

Figura 3 - Placas com reforço tipo: (a) unidirecional; (b) bidirecional; (c) fibras picada; (d) Longas aleatórias



Fonte: CALLISTER, 2007.

Para estimar uma propriedade de um compósito, e da continuidade o seu desenvolvimento é comum utilizar a regra das misturas (equação 1), esta é capaz de quantificar uma propriedade mecânica (força, módulo de elasticidade e tensão). Espera-se que os resultados se encontrem em valores intermediários entre dos materiais constituintes.

$$X = X_a V_a + X_b V_b \quad (1)$$

Os índices a e b referem-se aos componentes (matriz e fase dispersa) e V é a fração volumétrica.

3.2 COMPÓSITOS POLIMÉRICOS

Os compósitos poliméricos podem ser termoplásticos ou termorrígidos. A principal diferença entre estes dois tipos está no comportamento característico quando aquecidos, isto é, os termoplásticos são polímeros capazes de serem moldados várias vezes, devido às suas ligações moleculares, tornando-os fluidos sob ação da temperatura e depois se solidificando quando há um decréscimo de temperatura. Por outro lado, os termorrígidos não se tornam fluidos devido à presença de ligações cruzadas entre as cadeias macromoleculares (reticulação). A Tabela 01 apresenta as principais características de polímeros termoplásticos e termorrígidos (SANTOS, 2006; SOBRINHO, 2005).

Tabela 01: Comparação das propriedades entre termoplásticos e termorrígidos.

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

Fonte: SANTOS, 2006.

Os polímeros termorrígidos são mais utilizados para uso estrutural em materiais compósitos, por apresentarem algumas vantagens em relação aos termoplásticos, tais como alta estabilidade térmica, elevada rigidez, alta estabilidade dimensional, boas propriedades de isolamento térmico e elétrico, resistência à fluência e à deformação sob carregamento (SANTOS, 2006). As resinas termorrígidas ou termofixas são encontradas como resinas líquidas e que solidificam pelo calor ou pela ação de um agente catalisador. Uma vez solidificadas não mais voltam ao estado líquido inicial, portanto só podem ser usadas uma única vez.

Tradicionalmente as resinas termofixas são originárias do petróleo, sendo que algumas são baseadas em óleos vegetais de recursos renováveis. As resinas termofixas podem ser moldadas por processos de fabricação bastante diferentes quanto à complexidade e custos, desde processos manuais e artesanais com o uso de moldes simples e baratos, passando por processos mistos de média complexidade entre manual e mecanizado até os processos caros e complexos como os usados nos termoplásticos. Como exemplo pode-se citar o poliéster insaturado, poliuretanos, resinas epóxi, resinas fenólicas, (TARGA, 2009).

As resinas termoplásticas amolecem na presença de calor e enrijecem quando frios, permitindo serem usadas mais de uma vez, o que facilita processos de recuperação e reciclagem, apesar de alguns tipos sofrerem degradação a cada ciclo de amolecimento. São moldadas por equipamentos pesados e em moldes metálicos complexos e caros. Apesar de serem baseadas tradicionalmente no petróleo, algumas resinas termoplásticas têm como base matérias primas vegetais biodegradáveis. Como exemplos têm o Poliestireno, Polipropileno, PET, PVC, Policarbonato, ABS, nylon (TARGA, 2009).

Os compósitos com matriz polimérica, na sua vertente estrutural, em meados do século XX e consistem em uma resina polimérica como a fase matriz plástica adesiva macia e relativamente dúctil (que pode ser poliéster ou epóxi) e fibras como meio de reforço. Esses materiais são usados na mais ampla diversidade de aplicações dos compósitos, assim como nas maiores quantidades, em função das suas propriedades à temperatura ambiente, a sua facilidade de fabricação e do seu custo (CALLISTER, 2007). As principais vantagens são o baixo custo de aquisição de matéria prima, o preço acessível dos produtos gerados, além das boas propriedades mecânicas do compósito (SAVIOLI, 2008).

Para avaliar o desempenho total dos compósitos, é essencial conhecer individualmente o papel da matriz do material, visto que os danos iniciais em um compósito são controlados pelo trincamento da matriz. Dessa forma a estrutura interna dos compósitos e sua interação, a qual, por sua vez, é função da aderência entre fibra e matriz, influenciam de forma significativa no seu desempenho e na sua durabilidade (SILVA, 2002).

3.2.1 RESINA POLIÉSTER

Segundo Fagury (2005) as resinas poliéster possuem grupos ésteres como elementos fundamentais em suas cadeias moleculares. Resultam da reação de condensação de um diol com um diácido e, dependendo do tipo do ácido empregado, o poliéster pode ser saturado (termoplástico) ou insaturado (termofixo).

Os poliésteres saturados são obtidos pela reação entre um diol e um diácido saturado, resultando num produto termoplástico, cuja cadeia molecular é composta apenas por ligações simples entre átomos de carbono. Possuem moléculas longas e lineares, e não são sujeitos a reações de reticulação, podendo ser encontrados em forma de fibras ou filmes (ASKELAND, 2008).

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, 2008).

3.2.2 AGENTES 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 é chamada de sistema de polimerização (SOBRINHO, 2005).

O MEKP (*Methyl Ethyl Ketone Peroxide*) utilizado neste trabalho, não possui fórmula quimicamente definida, sendo conhecido comercialmente como uma mistura de vários peróxidos e hidroperóxidos. A diferença de atividade entre os iniciadores se dá pela diferença de proporção desses peróxidos e hidroperóxidos, que varia de fabricante para fabricante.

3.3 REFORÇO

Reforços são os constituintes que aumentam determinadas propriedades do compósito em relação à matriz polimérica. Podem ser considerados reforços desde cargas minerais, muitas vezes incorporadas aos polímeros com o intuito de reduzir custos, até fibras de ultra-alta resistência. As cargas minerais proporcionam aumentos na rigidez, dureza e, algumas vezes, na resistência e temperatura de distorção térmica; os elastômeros proporcionam aumento na resistência ao impacto de matrizes poliméricas frágeis; as fibras, pelas suas características de elevada razão L/d, são os principais responsáveis pelo aumento nas propriedades mecânicas dos compósitos (CALLISTER, 2007).

Os reforços podem ser classificados:

a) Quanto à sua natureza:

- duros para promover aumento à dureza e a resistência à abrasão;
- resistentes à ruptura para proporcionar elevada resistência à tração, à flexão e ao cisalhamento;
- rígidos para incrementar o módulo elástico;
- flexíveis para aumentar a resistência ao impacto;
- resistentes termicamente para aumentar a estabilidade térmica.

b) Quanto às características geométricas:

- particulados;
- fibrosos;
- laminados.

As características do reforço que têm maior influência sobre as propriedades de compósitos são: constituição química, tamanho e razão de aspecto. A adesão entre os componentes de um compósito é de fundamental importância para que o reforço possa exercer sua função de forma efetiva e os esforços aplicados sejam divididos entre as duas fases (CAVALCANTI, 2006).

A quantidade do reforço é uma das principais variáveis a ser considerada no desenvolvimento do compósito. A qualidade do compósito final é função, dentre outros requisitos, do comprimento, razão de aspecto e dispersão do reforço na matriz polimérica e do grau de cristalinidade do compósito. No caso de compósitos reforçados por fibras longas ou contínuas, a qualidade do produto final também depende do método e condições de moldagem dos componentes (CAVALCANTI, 2006).

Quando se utilizam cargas fibrosas, as tensões aplicadas ao sistema são transferidas pelo polímero à fibra por um mecanismo de transferência de tensão por cisalhamento. Para que haja transferência efetiva de tensões é necessário que a interface seja forte, ou seja, que haja boa adesão entre os componentes (LEE, 2006).

Fibras podem ser usadas como reforço em plásticos sempre que há a necessidade de propriedades mecânicas elevadas combinadas com baixo peso. No que diz respeito ao uso de fibras vegetais como reforço em compósitos poliméricos, o interesse maior é a substituição parcial ou total das fibras de vidro, extensamente usadas, além da obtenção de vantagens do ponto de vista de peso, custo e adesão fibra-matriz, especificamente com matrizes polares (PAIVA, 1999).

3.3.1 FIBRAS DO BABAÇU

A celulose, principal componente da parede celular da fibra vegetal, é um polissacarídeo linear, constituído por um único tipo de unidade de açúcar (1,4- β -D-glucopyranose). As propriedades mecânicas das fibras vegetais dependem do tipo de celulose, uma vez que, cada tipo de celulose tem sua geometria celular particular e as condições geométricas é que determinam as propriedades mecânicas.

As fibras do babaçu tornam-se uma incógnita, uma vez que existem poucos estudos na caracterização química de tal matéria prima. Por determinação visual, as principais características das fibras do babaçu oriundas do invólucro do palmito (figura 4) são sua alta resistência mecânica, possuem comprimento longo e certa uniformidade no que diz respeito comprimento/diâmetro (L/d).

Figura 4 – Fibras de Babaçu no tronco da palmeira.



Fonte: GUIMARÃES FILHO, 2011.

3.4 INTERFACE MATRIZ-FIBRA

As principais desvantagens no emprego de fibras em compósitos poliméricos são relacionadas à natureza polar e hidrofílica bem como à susceptibilidade a ataques de fungos e bactérias. A natureza hidrofílica das fibras vegetais proporciona baixa molhabilidade e adsorção da matriz polimérica em sua superfície, resultando em fraca adesão interfacial polímero-fibra no compósito final. A qualidade da interface fibra-matriz é significativa para a aplicação de fibras vegetais como reforço para plásticos (NÓBREGA, 2006).

É bem conhecido que o comportamento de diversos sistemas multicomponentes tais como materiais compósitos, blendas poliméricas e camadas pigmentadas, depende não somente da composição, morfologia e das propriedades dos constituintes, mas também da natureza da região interfacial (SHACKELFORD, 2008).

A adesão entre carga-matriz é um dos principais fatores que caracterizam o comportamento físico e mecânico de um compósito. A adesão inadequada entre as

fases envolvidas poderá provocar o início de falhas interfaciais, comprometendo o desempenho do compósito (SHACKELFORD, 2008).

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. Um dos fatores que favorece a interação interfacial é o fenômeno de contração que a matriz polimérica sofre durante a sua cura ou a sua solidificação.

Para que ocorra uma melhor distribuição de tensões sobre a superfície do reforço, durante o fenômeno de contração, é necessário que ocorra um molhamento perfeito do reforço pela resina (CAVALCANTI, 2006).

3.5 MERCERIZAÇÃO

Mercerização 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 mercerizadas se torna mais alta, melhorando também a ligação através de uma forma mecânica de entrelaçamento entre a matriz e a superfície rugosa das fibras (PAIVA, 1999).

O efeito do tratamento químico na superfície da fibra reduz a absorção de umidade, pois aumenta a hidrofobicidade da superfície devido a ligações de longas cadeias de hidrocarbonetos. A adição desses agentes que penetram na parede celular através dos poros superficiais, depositando-se na região interfibrilar restringindo a entrada de água (FAGURY, 2005).

A mercerização 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 mercerizadas, as propriedades mecânicas foram superiores àqueles nos quais foram utilizadas fibras não-tratadas (MARINELLI, 2008).

3.6 COMPÓSITOS POLIMERICOS REFORÇADOS POR FIBRAS VEGETAIS

Questões ambientais estão assumindo cada vez mais destaque em nossa sociedade, principalmente no que diz respeito a desenvolvimento tecnológico. Na engenharia dos materiais, este papel se traduz em baixo consumo de energia, utilização de renováveis e biodegradáveis. Fibras naturais, tanto de origem animal quanto de origem vegetal lignocelulósicas, atendem a estes requisitos. Ou seja, suas utilizações as caracterizam como ambientalmente corretas em comparação com as fibras sintéticas como o náilon, vidro e carbono. Por esta razão, compósitos reforçados com fibras naturais, sobretudo as lignocelulósicas facilmente cultivadas, têm sido objeto de recentes investigações (IOZZI, 2010).

A utilização de compósitos poliméricos reforçados com fibras vegetais não é recente e as primeiras patentes datam da década de 60. A partir da década de 90, uma visão mais realística ou “ecológica” do processo industrial fez ressurgir o interesse em materiais renováveis, tais como as fibras e os óleos vegetais, principalmente na indústria automotiva. Associado aos aspectos ecológicos há também os aspectos tecnológicos e as vantagens econômicas no uso destes materiais. A questão social é também um forte argumento para o incentivo da produção destes compósitos, uma vez que estes materiais são geralmente oriundos de regiões economicamente pobres (SILVA, 2003).

As fibras vegetais mais utilizadas como material de reforço em compósitos poliméricos são as fibras de sisal, coco, juta e banana, além de fibras de madeira, bagaço e bambu.

As propriedades mecânicas destes compósitos dependem de alguns fatores, tais como fração volumétrica, razão de aspecto, distribuição e orientação das fibras, adesão matriz-fibra e composição química da matriz polimérica e das fibras. As resinas termorrígidas mais utilizadas nestes compósitos são as fenólicas, poliésteres, epóxi e poliamidas. Dentre as resinas termoplásticas, o destaque é para o polietileno de baixa densidade e o polipropileno.

As matrizes termorrígidas apresentam um enorme potencial para a utilização das fibras vegetais, pois, neste caso, podem utilizar métodos de processamento bastante simples e de baixo custo, além de utilizar com vantagem, fibras contínuas, sem a necessidade de se promover alterações nos procedimentos e/ou

equipamentos de processamento. Estima-se que mais de três quartos de todas as matrizes de compósitos poliméricos sejam constituídas por polímeros termorrígidos (WAMBUA, 2003).

Entre outras inúmeras aplicações, os compósitos com fibras vegetais possuem um enorme potencial de aplicação estrutural e não-estrutural na indústria automotiva. A indústria automotiva europeia se destaca neste ramo, principalmente a Alemanha, que trabalha no intuito de produzir veículos com todos os componentes recicláveis ou biodegradáveis. Além dos aspectos “ecológicos”, o principal incentivo para a utilização destes compósitos é a redução de custo e peso dos veículos. Uma importante característica destes materiais é a capacidade de fraturar sob impacto sem soltar lascas. Outras vantagens são: estabilidade dimensional e resistência às intempéries ambientais (SILVA, 2003).

De acordo com Silva (2003), que avaliaram o efeito do tratamento de alcalinização, conhecido como mercerização, sobre o desempenho mecânico e as características de fratura de compósitos com matriz poliéster reforçada com fibras de curauá mercerizadas sob condições (tempo, concentração de NaOH) por períodos distintos. Os resultados mostraram um decréscimo da resistência dos compósitos, embora não expressivo, com a mercerização das fibras. A análise da fratura revelou que a mercerização tende a causar degradação parcial da fibra de curauá, comprometendo o desempenho mecânico do compósito. Quantidades de fibra superiores a 20% em peso compensam as trincas que causam ruptura em virtude da elevada resistência de cada fibra que, no conjunto, oferecem condição de reforço.

Segundo Nóbrega (2007), que investigou o efeito da micromorfologia da fibra de curauá (*Ananas erectifolius*), constituída de um feixe natural de filamentos paralelos, sobre as propriedades mecânicas de compósitos de matriz poliéster com fibras de curauá como reforço contínuo e alinhado. Os autores concluíram que as propriedades dos compósitos foram afetadas pela micromorfologia das fibras. Reentrâncias agudas na superfície da fibra agem como concentradores de tensão do lado da resina, reduzindo a resistência do compósito. Resultados experimentais, em confronto com a estimativa teórica baseada na regra das misturas, para a resistência mecânica dos compósitos mostraram reduções de até 2,1 vezes o valor experimental. Para o valor experimental esta discrepância foi interpretada como consequência da impossibilidade de se ter absoluta penetração da resina nas partes mais agudas das reentrâncias entre os filamentos da fibra de curauá.

Silva (2003) realizou um estudo comparativo das propriedades mecânicas em flexão de compósitos reforçados com fibras de vidro, fibras de Curauá (*Ananas erectifolius*) e compósito híbrido vidro/Curauá. Os resultados mostraram que as propriedades do compósito híbrido foram muito próximas do compósito de fibra de vidro, enquanto que o compósito de curauá teve um desempenho bastante inferior. O compósito híbrido desenvolvido mostrou ser um promissor substituto para os laminados de fibra de vidro mesmo em aplicações de contato direto com água, como em reservatórios e tubulações.

Targa (2009) estudou as propriedades mecânicas de compósitos poliméricos, com matriz de polipropileno reforçados com fibras de juta em diferentes proporções e obtidos em diferentes temperaturas de processamento e velocidade de rotação, assim como suas características morfológicas. A partir dos resultados obtidos, os autores concluíram que o uso da câmara de mistura Haake para a obtenção dos compósitos de polipropileno e fibra do coco verde não foi eficiente, já que o desempenho dos compósitos foi semelhante ao polipropileno puro. Dentre as condições de processamento, à temperatura de 170 °C, a velocidade do rotor de 60rpm e o teor de fibra de coco verde de 30% forneceram o melhor desempenho quanto à flexão e uma fratura mais homogênea, observado pelas análises de microscopia eletrônica de varredura.

Nóbrega (2007) estudou as propriedades mecânicas de compósitos poliméricos com matriz poliéster insaturado, reforçados por fibras curtas de Caroá e Macambira provenientes da região de Pocinhos - PB. Os resultados indicaram que as resistências à tração dos compósitos reforçados com fibras de Caroá e Macambira apresentam desempenhos superiores à da matriz para teores acima de 24% e 34%, respectivamente. Acreditam os autores que o desempenho superior apresentado pelos compósitos reforçados com fibras de Caroá em relação aos reforçados com Macambira, esteja associado tanto ao menor diâmetro médio das fibras de Caroá que promove aumento na área de contato fibra/matriz, quanto às propriedades individuais daquelas fibras. Os módulos e resistências ao impacto dos compósitos investigados foram superiores ao da matriz o que foi associado às propriedades mecânicas individuais das fibras de reforço e à sua razão de aspecto.

Paiva (1999) estudou a influência da variação do comprimento e quantidade das fibras de coco e banana nas propriedades mecânicas de compósitos fenólicos reforçados com as fibras naturais. Os autores concluíram que a variação

do comprimento e a quantidade de fibra nos compósitos de matriz termorrígida fenólica reforçada com fibra de banana são bastante influenciadas por esses parâmetros, e exercem menor influência nos compósitos reforçados com fibra de coco. Nos ensaios de resistência ao impacto dos compósitos, fibras de coco apresentaram um desempenho inferior aos da fibra de banana, muito provavelmente devido ao maior teor de celulose desta última. As cadeias de celulose são responsáveis pela cristalinidade das fibras, o que por sua vez exerce grande influência nas propriedades mecânicas apresentadas pelas fibras e conseqüentemente pelos compósitos por elas reforçados.

Fagury (2005) investigou o comportamento mecânico em tração de compósitos poliéster/fibras das folhas de abacaxi (*Ananas comosus*) em função do tipo e tempo de tratamento das fibras. Os resultados mostraram que as propriedades de tração foram pouco afetadas pelo tratamento com detergente e que o tratamento com solução aquosa de NaOH promoveu melhoras na resistência à tração e, principalmente, no módulo dos compósitos. A elevação das propriedades mecânicas dos compósitos com o tempo de imersão alcalina foi atribuída à melhor impregnação da fibra pela resina e, conseqüentemente, da interface fibra/matriz o que aponta para uma boa perspectiva de aplicação comercial. Além disso, Fagury (2005) também investigou o efeito do teor de fibras nas propriedades mecânicas em tração de compósitos de poliéster insaturado reforçados com fibras singelas unidirecionais de juta. Os autores concluíram que as propriedades em tração aumentam com o teor de fibras para os compósitos testados na direção das fibras e que este aumento foi bem mais significativo que os observados para compósitos semelhantes reforçados por tecidos de juta. As propriedades dos compósitos testados transversalmente às fibras foram bem inferiores às da matriz e quase que independentes do teor de fibras. A incorporação das fibras aumentou a resistência ao impacto transversal dos compósitos.

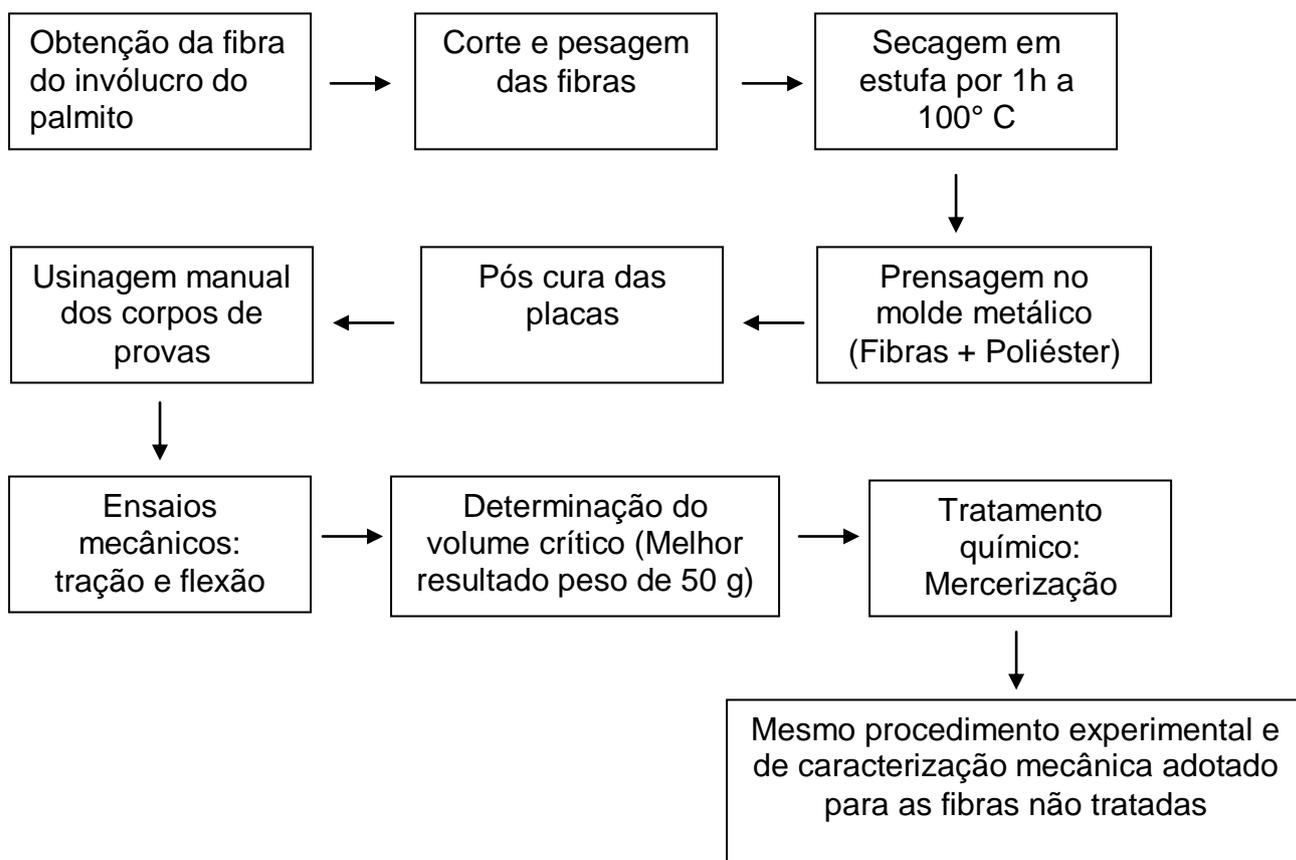
Lee (2006) estudou o comportamento mecânico em tração de compósitos de matriz fenólica reforçado por tecidos híbridos de juta e algodão em função das características dos tecidos e da orientação das fibras para desenvolver um material que seja adequado em aplicações estruturais leves. Os autores concluíram que, dentre as propriedades medidas, a propriedade mais sensível ao ângulo de teste e ao tipo de tecido usado é a resistência à tração. Concluíram ainda que, melhores propriedades mecânicas foram obtidas na direção das fibras de juta e a

caracterização por MEV das amostras possibilitou constatar que as fibras de juta possuem maior adesão com a resina fenólica do que as fibras de algodão.

4 METODOLOGIA

A figura 5 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 5 - Fluxograma da metodologia empregada para obtenção e caracterização mecânica do compósito estudado.



Fonte: Guimarães Filho, 2011.

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 FIBRAS LONGAS DE BABAÇU

As fibras foram retiradas do invólucro do palmito da palmeira comumente conhecida como Babaçu, na forma de mantas (figura 6), estas foram deixadas de molho por 24 horas para facilitar o desfiamento. Por fim as fibras longas com cerca de 90 cm foram cortadas em comprimentos de 17 cm, tamanho ideal para a compressão no molde metálico, levadas para estufa, onde foram secas a 100° C por uma hora.

Figura 6 - Retida das fibras na forma de mantas do invólucro do palmito.



Fonte: GUIMARÃES FILHO, 2011.

4.3 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 10, 20, 30, 40, 50 e 60 g de fibra de babaçu previamente secas depois se pesou a placa do compósito produzido.

Com os pesos obtidos determinou-se o teor de fibras (em massa) utilizando a equação 2:

$$TF (\%) = \frac{TF}{PL} \times 100 \quad (2)$$

Onde TF é o teor de fibras, PT é o peso (g) das fibras e o PL é o peso (g) da placa.

O molde mostrado na Figura 7 foi untado com sebo de carneiro para auxiliar a desmoldagem das placas da matriz metálica. O catalisador MEK-P foi acrescentado à resina e parte desta mistura vertida no molde. As fibras de babaçu, previamente secas e pesadas, foram colocadas no molde alinhadas no sentido longitudinal e pressionadas com auxílio de uma espátula para garantir a sua total impregnação.

Figura 7 - Molde utilizado para a confecção das placas de compósitos.



Fonte: GUIMARÃES FILHO, 2011.

Por fim, acrescentou um excesso de resina, quando esta se aproximava do ponto de gelificação, o molde foi fechado e colocado em uma prensa hidráulica (figura 8) com 8 toneladas de força de fechamento por 8 horas, a temperatura ambiente.

Figura 8 - Placa sendo confeccionada em uma prensa hidráulica sob pressão de oito toneladas por oito horas.



Fonte: GUIMARÃES FILHO, 2011.

As 10 placas, sendo seis de fibras não tratadas e quatro de tratadas, tendo cerca de 140x170x3mm, foram submetidas a pós-cura por 48 horas a 50 °C, para posterior usinagem dos corpos de prova, totalizando 120 corpos, sendo 72 para não tratadas e 48 para tratados, sendo suas dimensões regidas pelas normas ASTM D-3039 e D-790 para os ensaios de tração e flexão, respectivamente (figura 9).

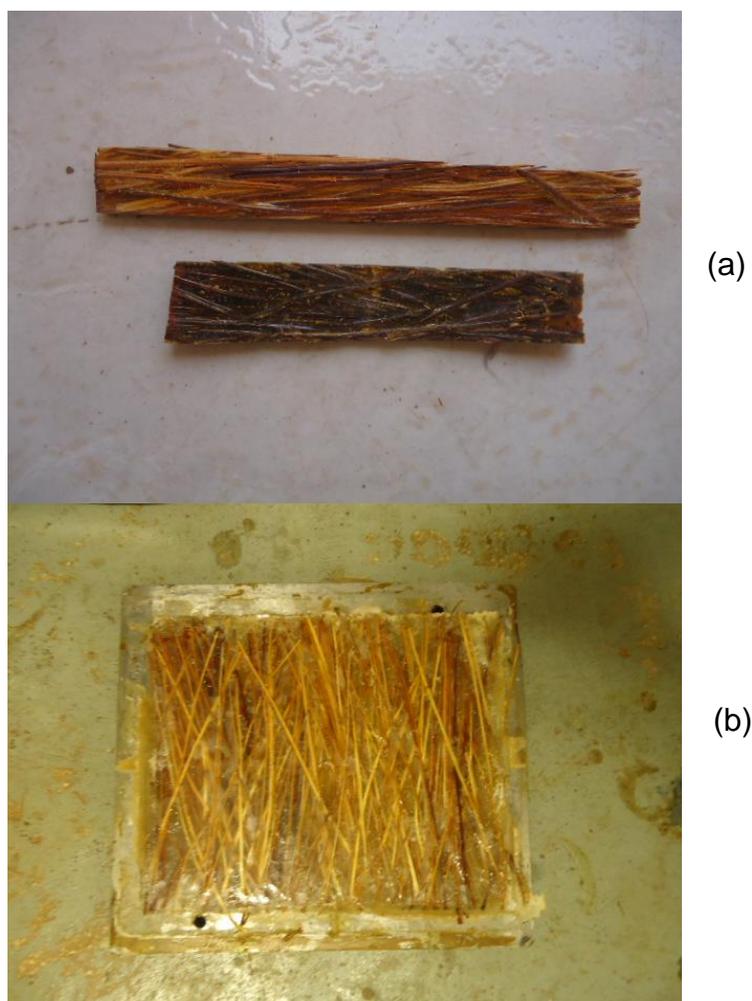
Figura 9 – Dimensões dos corpos de prova para ensaio de tração e flexão, respectivamente.



Fonte: Norma ASTM D-3039 e D-790, 1995.

Os corpos de prova mostrados na figura 10 (a) foram confeccionados com fibras tratadas e não tratadas e serrados manualmente a partir das placas produzidas por compressão esboçada na figura 10 (b).

Figura 10 – Placa e corpos de prova do compósito estudado.

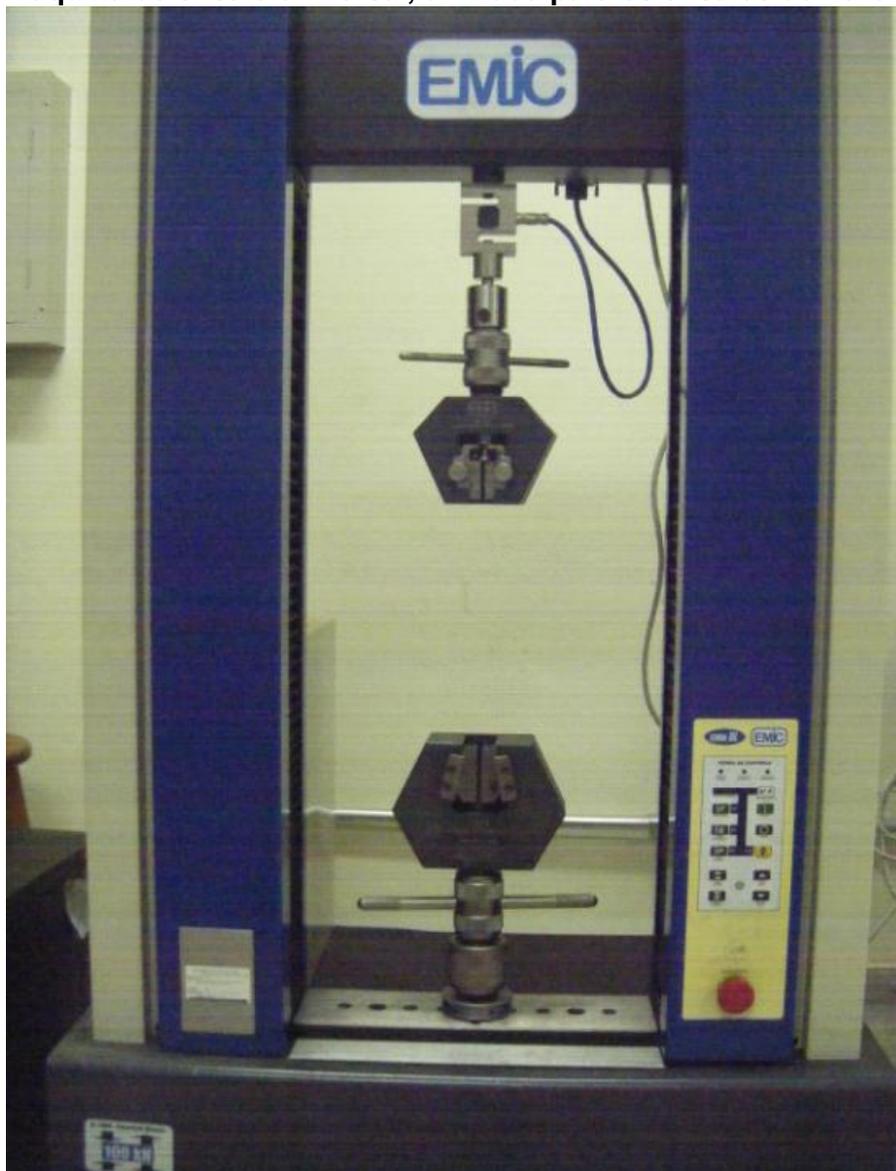


Fonte: Guimarães Filho, 2011.

Para avaliação da influência do peso em massa de fibra nas propriedades mecânicas, foram realizados ensaios mecânicos de tração e flexão.

O ensaio de tração e flexão foram conduzidos em uma máquina universal EMIC DL 10000 (figura 11), em temperatura ambiente com uma velocidade de 1mm/min tendo como base a norma ASTM D-3039 e ASTM D790, respectivamente.

Figura 11 - Máquina de ensaio universal, utilizada para os ensaios de flexão e tração.



Fonte: GUIMARÃES FILHO, 2011.

4.4 CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DA SUPERFÍCIE DAS FIBRAS TRATADAS E NÃO TRATADAS.

A Mercerização das fibras de babaçu foi feito com hidróxido de sódio (NaOH), solução a 2.5, 5.0, 7.5, e 10 % em temperatura ambiente durante 1 hora. Após esse tempo as fibras foram lavadas com água até equilibrar o pH e então foram secas em estufa com circulação de ar em temperatura de 100 °C, pelo período de 4 horas. Utilizou-se 200 g de fibras para a realização do tratamento, sendo 50 g para cada concentração de NaOH.

Foram produzidas quatro placas, cada uma com 50 g de fibras nas diferentes concentrações, uma vez que tal peso foi considerado o volume crítico, pois

apresentou os melhores resultados nos ensaios de tração e flexão para fibras não tratadas. O procedimento utilizado para a preparação dos compósitos com fibras tratadas foi semelhante à do utilizado para as fibras sem tratamento. Foram realizadas análises por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), nas fibras antes e após tratamento de mercerização, com o intuito de avaliar as mudanças nas suas superfícies, ou seja, influência do tratamento químico. O equipamento utilizado foi um MEV Modelo HITACHI TM 3000 acoplado a um EDX (Energy Dispersive X - ray) Modelo Swift ED3000.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 ENSAIOS MECÂNICOS

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).

Para uma avaliação das propriedades mecânicas do compósito (resina poliéster + fibras orientadas de babaçu), foram realizados os ensaios de tração e flexão, os quais viabilizaram quantificar, Resistência à Tração (MPa), Módulo de Young (GPa) e Alongamento na Ruptura (%), pelo ensaio de tração, e Resistência a flexão (MPa) e Força de ruptura (N) através do ensaio de flexão.

5.2 FIBRAS NÃO MERCERIZADAS

Os resultados obtidos pelo ensaio de tração para os compósitos reforçados com fibras longas de babaçu não tratadas estão apresentados na tabela 2.

Tabela 2 - Propriedades mecânicas obtidas pelo ensaio de tração dos compósitos com reforço de fibras longas de babaçu sem tratamento. Pós-cura por 48 horas a 50 °C.

Peso em massa de Fibra (g)	Resistência à Tração (MPa)	Módulo de Young (GPa)	Alongamento na Ruptura (%)
0	23,70 ± 3,57	2,13 ± 0,08	1,27 ± 0,33
10	17,60 ± 2,49	2,71 ± 0,50	4,54 ± 0,74
20	43,50 ± 2,59	3,91 ± 0,59	3,64 ± 0,74
30	55,0 ± 2,91	4,48 ± 0,44	3,64 ± 0,74
40	58,0 ± 1,63	4,88 ± 0,31	3,94 ± 0,43
50	62,0 ± 1,62	5,86 ± 0,50	4,84 ± 0,43
60	56,0 ± 1,63	5,62 ± 0,38	3,94 ± 0,43

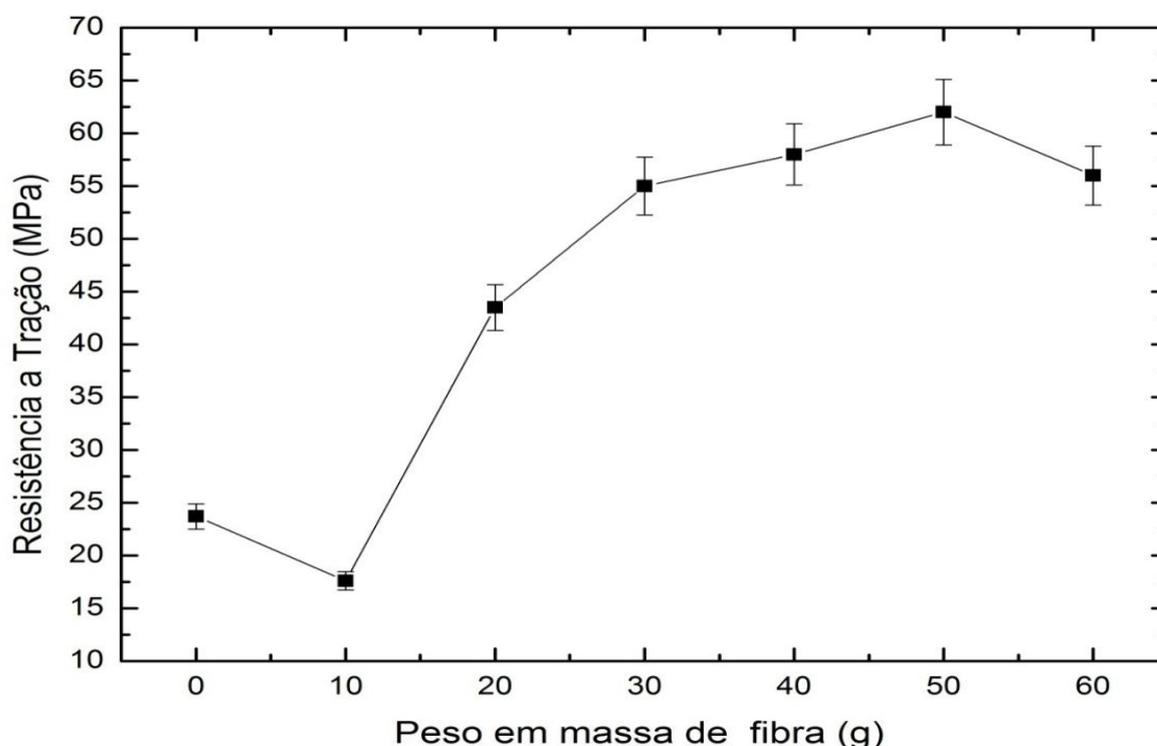
Fonte: GUIMARÃES FILHO, 2011.

É observado na figura 12 que a resistência à tração dos compósitos reforçados com fibras longas de babaçu não tratadas apresentaram resistências

superiores à da matriz para volume de fibras a partir de 20 g. A resistência à tração para volume de 10 g, não superou à da matriz poliéster. Este fato pode estar associado à distribuição heterogênea das fibras ao longo da matriz, pois a quantidade analisada foi pouco em relação ao tamanho da placa confeccionada, além disto, este comportamento pode ter sido devido à atuação das fibras como defeito no compósito; fator este que vem comprovar a existência de um volume crítico de fibras de Babaçu que atuam como reforço na matriz polimérica. Este volume crítico varia com a natureza da fibra e da matriz, com a razão de aspecto da fibra, e com a adesão interfacial fibra/matriz (CALLISTER, 2003).

Os dados obtidos estão de acordo com os reportados na literatura para sistemas afins, se acredita que o desempenho superior dos compósitos reforçados com volume de fibras acima de 20 g em relação à matriz esteja associado tanto ao menor diâmetro médio das fibras, que promovem o aumento nas áreas superficiais de contato (fibra/matriz), quanto às propriedades mecânicas individuais das fibras (CALLISTER, 2003).

Figura 12 - Resistência à tração dos compósitos em função do peso em massa de fibra de babaçu não tratadas.

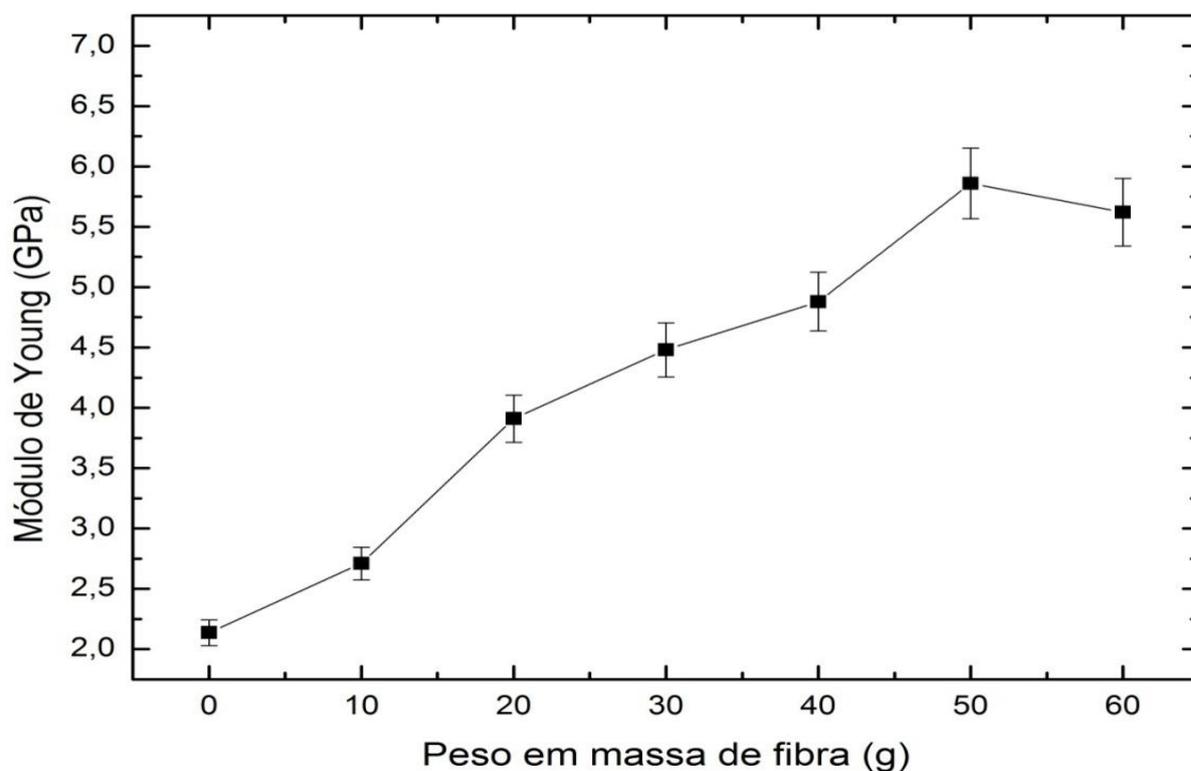


Fonte: GUIMARÃES FILHO, 2011.

Os resultados obtidos para o módulo de Young ou módulo de elasticidade, podem ser observados na figura 13. À medida que o teor de fibras de babaçu 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. Porém é possível observar um decaimento no Módulo de Elasticidade no volume de 60 g, isto se deve ao fato que a matriz polimérica não acondicionou o reforço, ou seja, com pouca interação entre a matriz/interface os corpos de prova submetidos ao ensaio acabaram por não sofrerem um aumento no seu Módulo de Elasticidade, ascendente linear, como vinha sendo observado ao longo do ensaio.

Figura 13 - Módulo de Young dos compósitos em função do peso em massa de fibra de babaçu não tratadas.

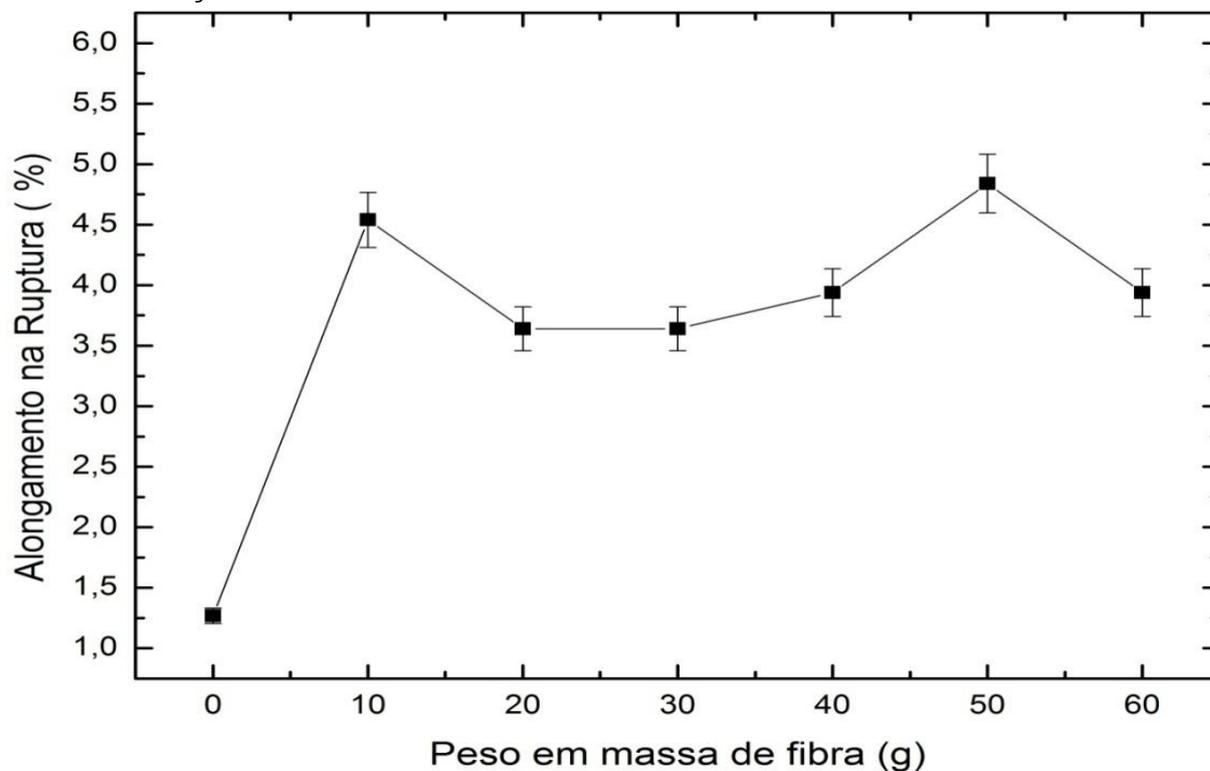


Fonte: GUIMARÃES FILHO, 2011.

Na figura 14 podemos perceber 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 fibras estudados, o peso de 60 g, teve um decréscimo em relação ao peso de 50 g, explicado por um deslizamento das fibras, idem ao Módulo de Elasticidade. O aumento percentual observado foi de

2,3%, comportamento semelhante ao encontrado na literatura (FERNANDES, 2009), podendo-se atribuir este resultado ao aumento da tenacidade do compósito.

Figura 14 - Alongamento na ruptura dos compósitos em função do peso em massa de fibra de babaçu não tratadas.



Fonte: GUIMARÃES FILHO, 2011.

A tabela 3 mostra os resultados obtidos através do ensaio de flexão em função do peso em massa de fibras de babaçu não tratadas.

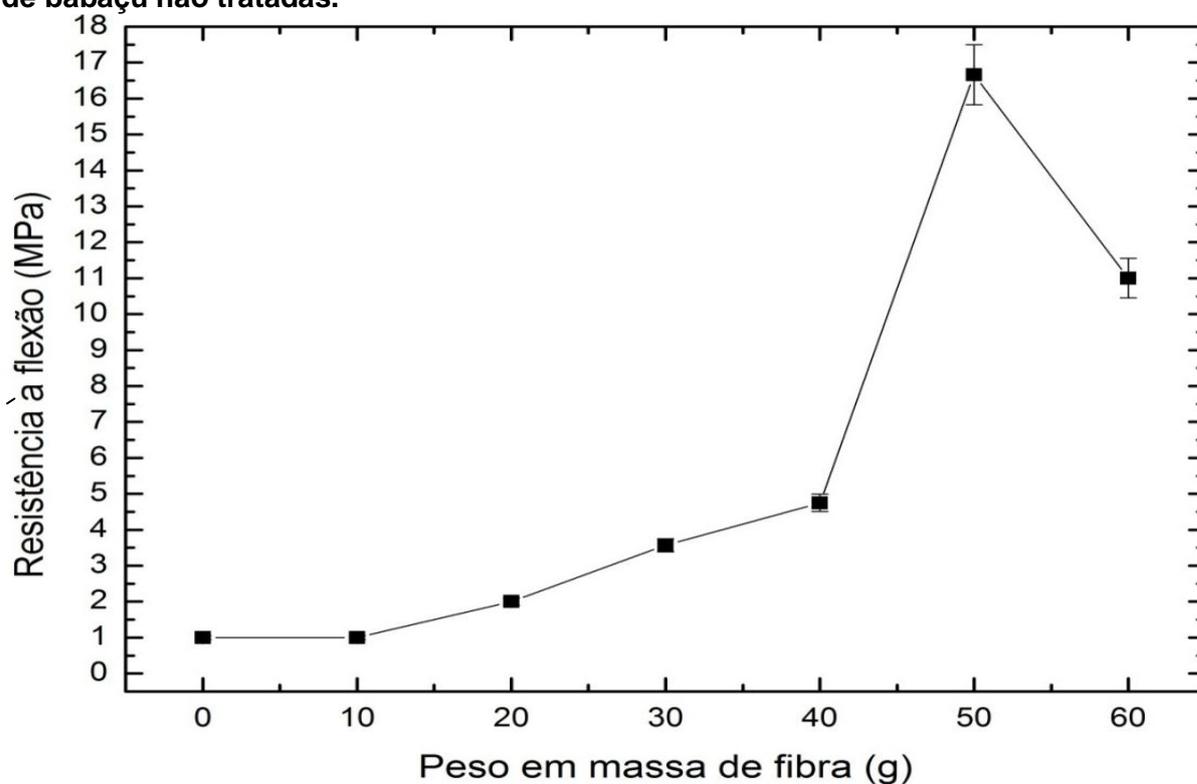
Tabela 3 - Resistência à flexão e força de ruptura dos compósitos obtidos por ensaios de flexão em 3 pontos em função do peso em massa de fibra.

Peso em massa de Fibra (g)	Resistência a flexão (MPa)	Força de ruptura (N)
0	1	39,06 ± 5,83
10	1	43,86 ± 8,22
20	2	85,86 ± 7,45
30	3,57 ± 0,69	136,2 ± 7,56
40	4,75 ± 1,48	214,7 ± 8,49
50	16,66 ± 1,88	247,8 ± 7,86
60	11 ± 0,82	208,49 ± 8,45

Fonte: GUIMARÃES FILHO, 2011.

Avaliando a resistência a flexão, observou-se que houve um aumento dessa propriedade em relação à resina pura para todos os volumes acima de 10 g, chegando ao ápice de 16,66 MPa para 50 g de fibra, (figura 15). O compósito reforçado com 60 g de fibra teve uma redução no limite de resistência, porém seu valor ser encontra ainda muito superior ao da resina pura, isto é devido às características particulares das fibras longas de Babaçu que se encontram orientadas dentro da matriz (NÓBREGA; ANDRADE, 2010).

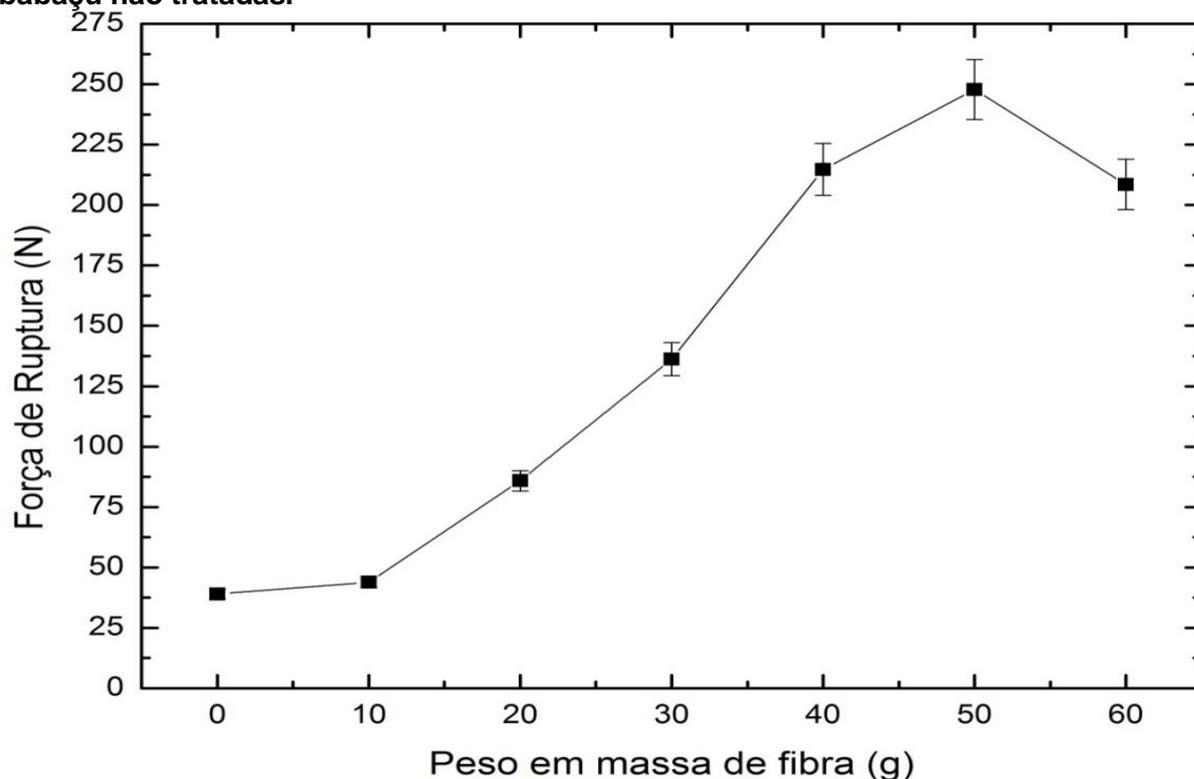
Figura 15 - Resistência a flexão dos compósitos em função do peso em massa de fibra de babaçu não tratadas.



Fonte: GUIMARÃES FILHO, 2011.

Na figura 16, os compósitos reforçados com fibras apresentaram um desempenho satisfatório para forças de ruptura levando em conta valores menores que 60 g de fibras, havendo um ganho da carga em relação à resina pura, 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.

Figura 16 - Força de ruptura dos compósitos em função do peso em massa de fibra de babaçu não tratadas.



Fonte: GUIMARÃES FILHO, 2011.

5.3 FIBRAS MERCERIZADAS

A tabela 4 apresenta os valores obtidos pelo ensaio de tração para peso em massa de 50 g de fibras tratadas por Mercerização.

Tabela 4 - Propriedades mecânicas obtidas pelo ensaio de tração dos compósitos com reforço de fibras longas de babaçu mercerizadas. Pós-cura por 48 horas a 50 °C.

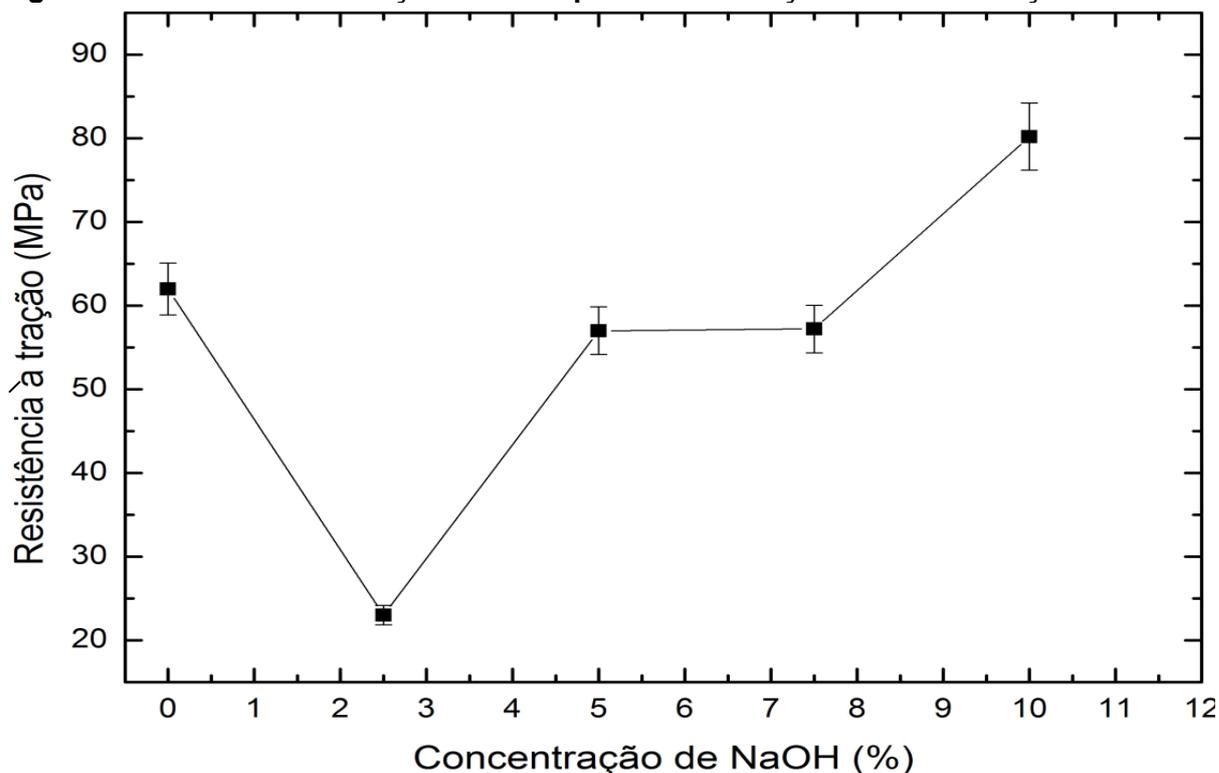
Teor de NaOH (%)	Resistência à Tração (MPa)	Módulo de Young (GPa)	Alongamento na Ruptura (%)
0	62,0 ± 1,62	5,86 ± 0,50	4,89 ± 0,43
2,5	23 ± 1,1	2,5 ± 1,1	1,82 ± 0,23
5,0	57 ± 1,1	4,04 ± 1,2	2,73 ± 0,56
7,5	57,2 ± 1,2	4,37 ± 0,8	2,73 ± 0,42
10,0	80,2 ± 1,4	6,82 ± 1,3	4,54 ± 0,22

Fonte: GUIMARÃES FILHO, 2011.

Os resultados dos ensaios de resistência à tração dos compósitos com fibras sem tratamento (50 g) e as mercerizadas com concentrações de 2,5; 5,0; 7,5; 10 % NaOH por uma hora e com 50 g em peso são apresentados nas figuras 17, 18, 19, respectivamente.

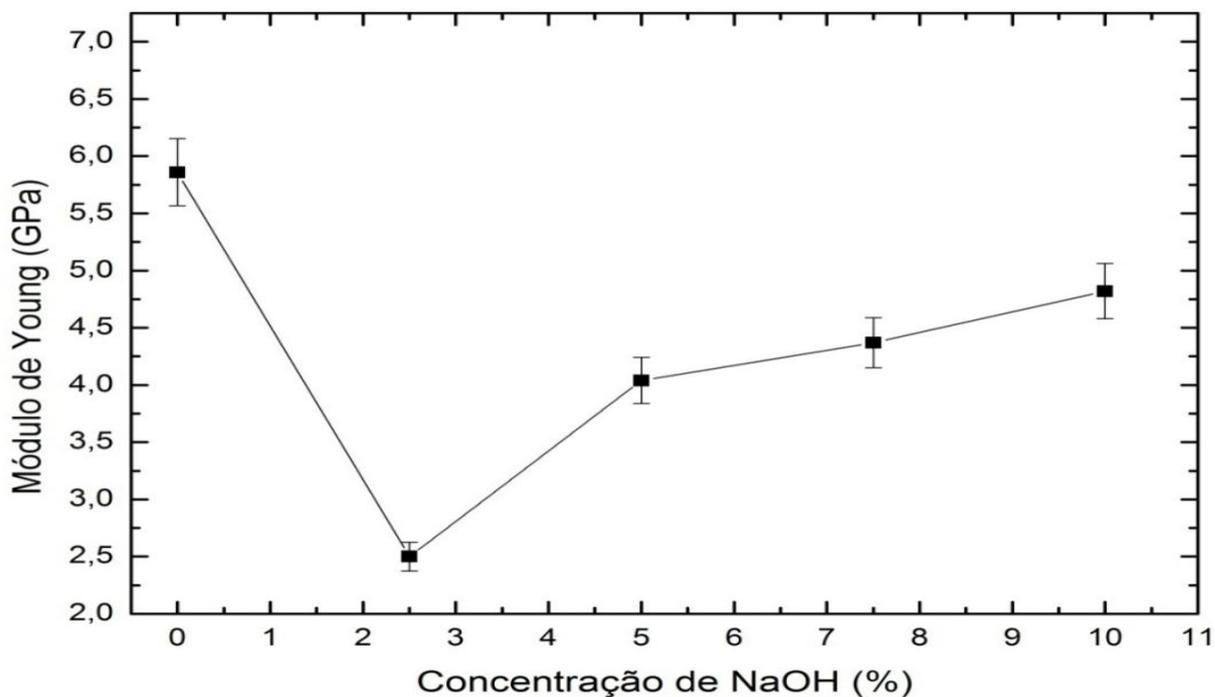
Observou-se que o limite de resistência à tração (figura 17) dos compósitos com fibras tratadas somente foi superior em relação aos compósitos confeccionados com fibras não tratadas para a concentração de 10,0 % de NaOH, isto se deve ao fato do tratamento químico ter alterado a superfície da fibra, gerando pontos de maior área superficial específica, aumentando a molhabilidade para assim ocasionando maior interação na interface matriz/fibra (NÓBREGA, 2007)

Figura 17 - Resistência à tração dos compósitos em função da concentração de NaOH.



Fonte: GUIMARÃES FILHO, 2011.

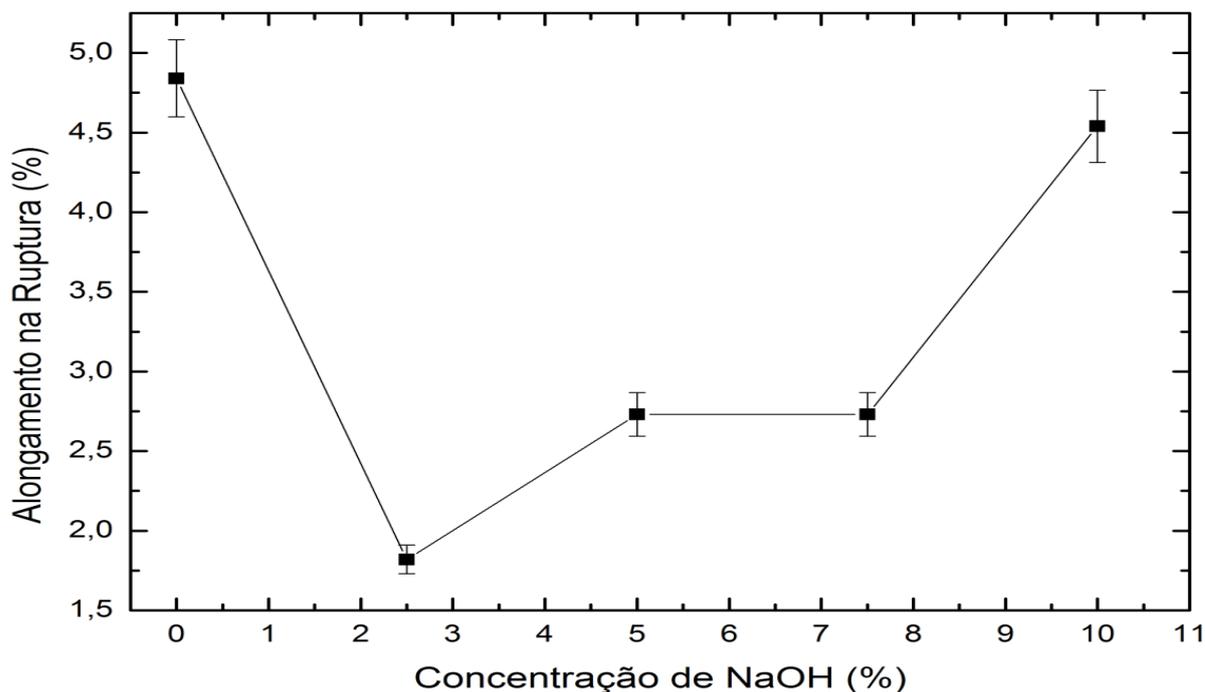
Para o módulo de elasticidade (figura 18), observou-se que as fibras tratadas provocaram no compósito um desempenho inferior em comparação com as fibras in natura, porém houve um aumento perceptível quando avaliado na concentração de 10 % de NaOH.

Figura 18 - Módulo de Young dos compósitos em função da concentração de NaOH.

Fonte: GUIMARÃES FILHO, 2011.

Os resultados para o alongamento na ruptura (figura 19) mostraram que a única concentração benéfica para a mercerização de fibras usadas para a confecção dos corpos de prova é a de 10 % de NaOH, entretanto esse aumento não foi tão significativo, haja visto que foi inferior ao das fibras não tratadas.

Figura 19 - Alongamento na Ruptura dos compósitos em função da concentração de NaOH.



Fonte: GUIMARÃES FILHO, 2011.

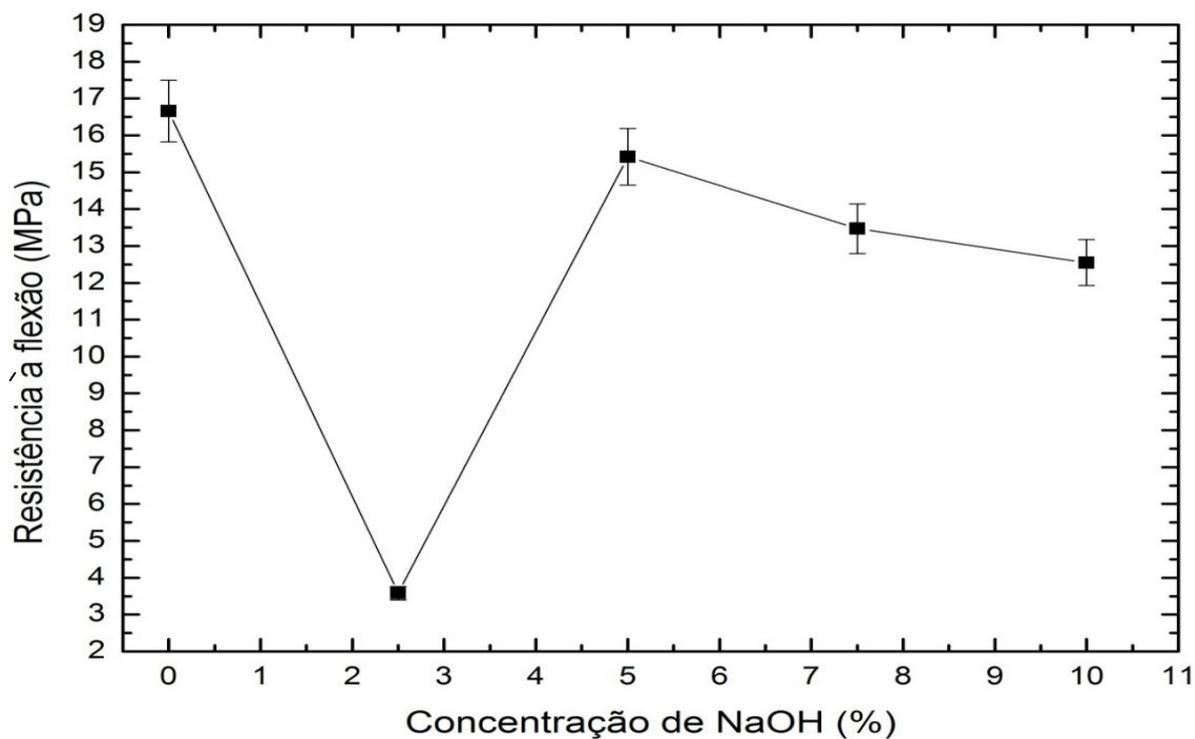
A tabela 5 apresenta valores adquiridos pelo ensaio de flexão para o compósito com fibras mercerizadas.

Tabela 5 - Propriedades mecânicas obtidas pelo ensaio de flexão dos compósitos com reforço de fibras longas de babaçu mercerizadas. Pós-cura por 48 horas a 50 °C.

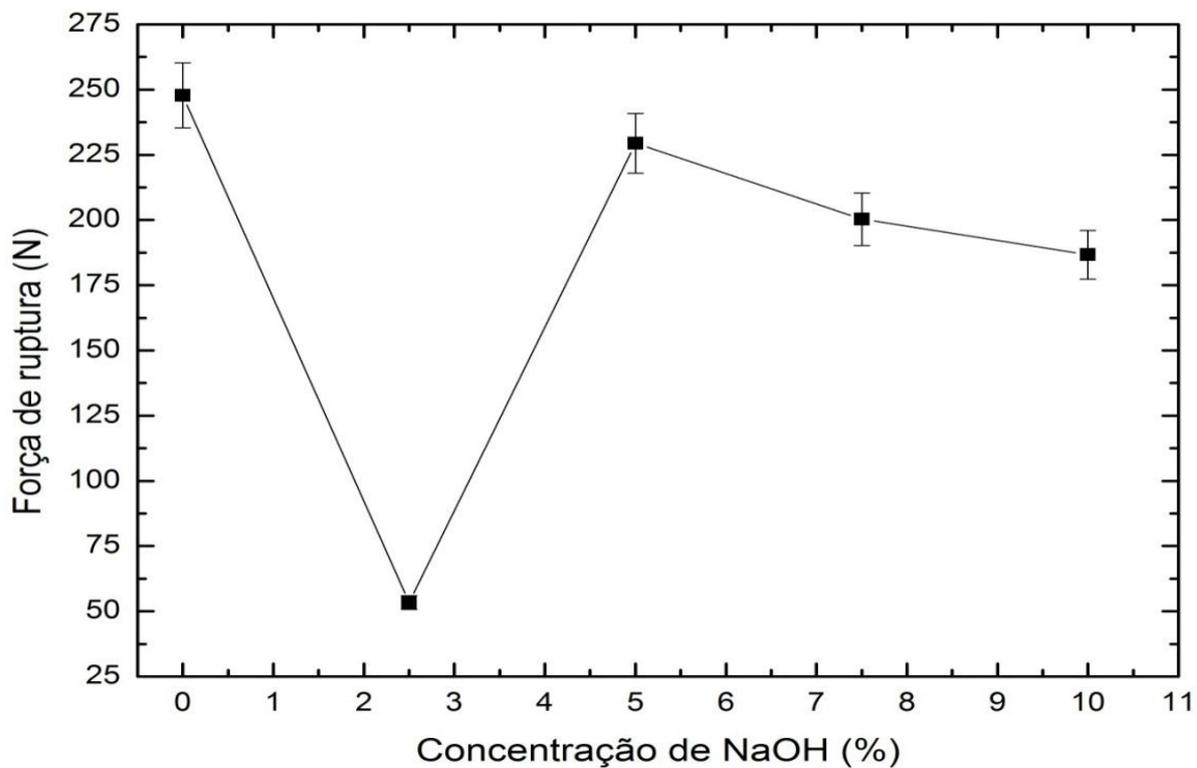
Teor de NaOH (%)	Resistência a flexão (MPa)	Força de ruptura (N)
0	16,66 ± 1,88	247,8 ± 7,86
2,5	3,58 ± 0,23	53,35 ± 0,85
5,0	15,42 ± 0,5	229,4 ± 8,89
7,5	13,47 ± 0,68	200,3 ± 7,58
10	12,55 ± 1,5	186,7 ± 7,87

Fonte: GUIMARÃES FILHO, 2011.

Nas figuras 20 e 21 é possível identificar que para qualquer que seja o valor da concentração de NaOH os valores de resistência a flexão e força de ruptura respectivamente são menores quando comparados com as fibras não tratadas. Isto muito possivelmente se deve ao fraco poder de ataque do tratamento de mercerização o qual foi imposto sobre as fibras, estando intimamente ligado aos gradientes de concentração e tempo.

Figura 20 - Resistência a flexão dos compósitos em função da concentração de NaOH.

Fonte: GUIMARÃES FILHO, 2011.

Figura 21 - Força de ruptura dos compósitos em função da concentração de NaOH.

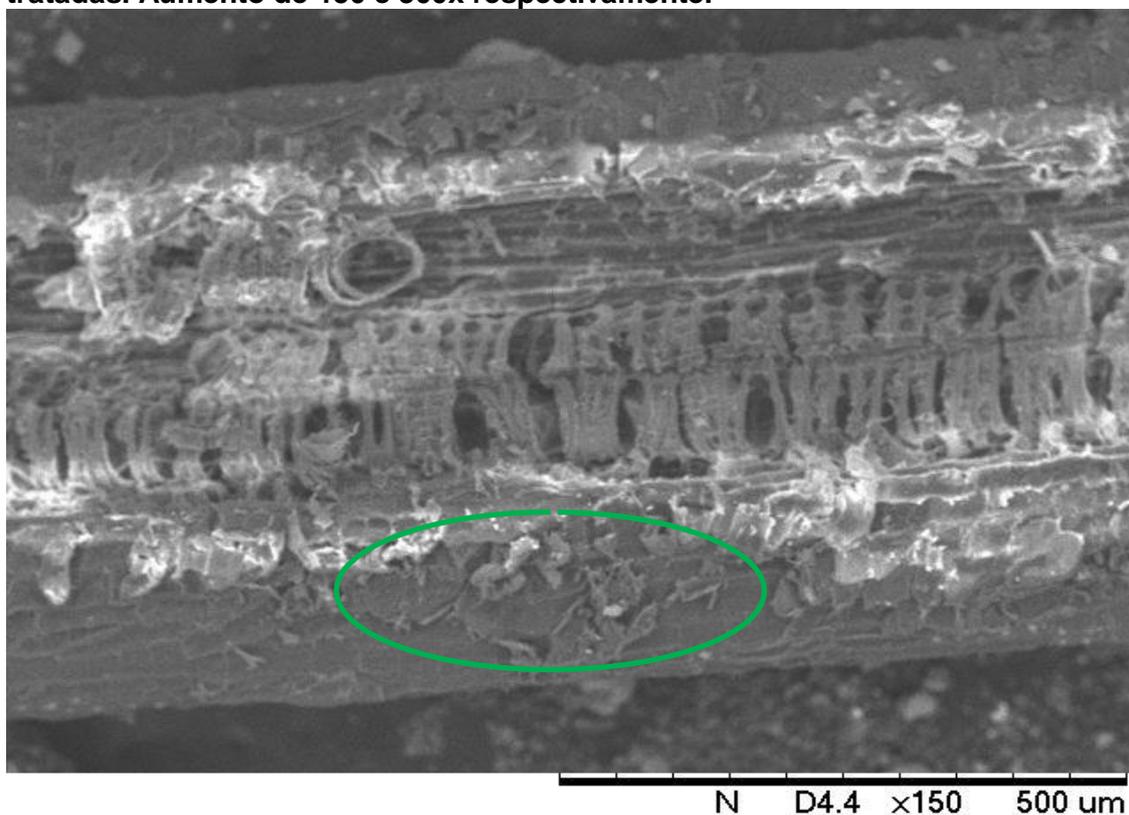
Fonte: GUIMARÃES FILHO, 2011.

5.4 MORFOLOGIA DAS FIBRAS ANTES E APÓS TRATAMENTO DE MERCERIZAÇÃO

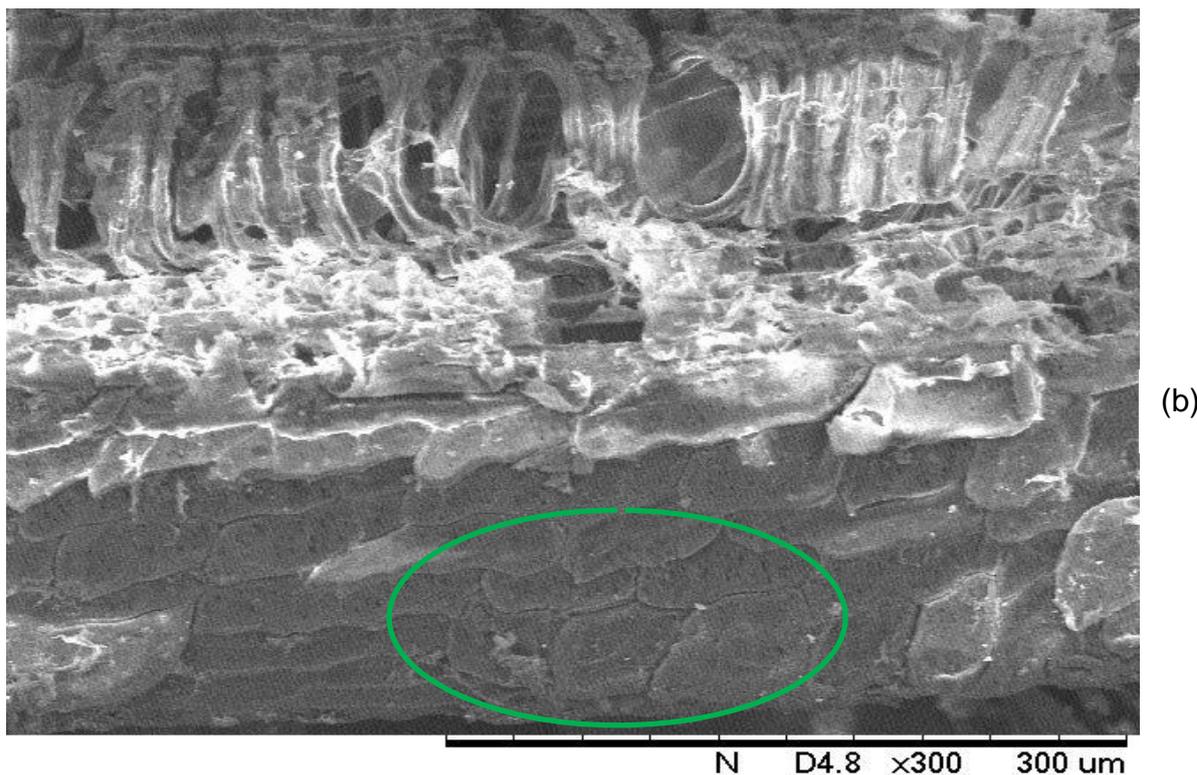
As figuras 22, 23, 24, 25 e 26 apresentam as micrografias obtidas através da técnica de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), onde se observa a morfologia das fibras não mercerizadas e mercerizadas com concentração de 2,5; 5,0; 7,5 e 10% de NaOH respectivamente.

A figura 22 (a) apresenta em destaque uma região rica em microfibras, que nada mais são do que ramificações do corpo central que acabam diminuindo a área superficial de contato com a matriz, levando o compósito a apresentar pouca adesão entre a interface matriz/reforço (IOZZI, 2009). Na figura 22 (b), pode se observar uma região que apresenta uma espécie de capa, nomeada na literatura como lignina, característico das fibras vegetais. A qual é atribuída o controle da impermeabilidade, conferir rigidez e resistência a ataques microbiológicos na fibra (MARINELLI, 2008). A homogeneidade desta região garante uma significativa adesão entre a interface em estudo.

Figura 22 (a) e (b) - Micrografia obtida por MEV da superfície de fibras de Babaçu não tratadas. Aumento de 150 e 300x respectivamente.



(a)



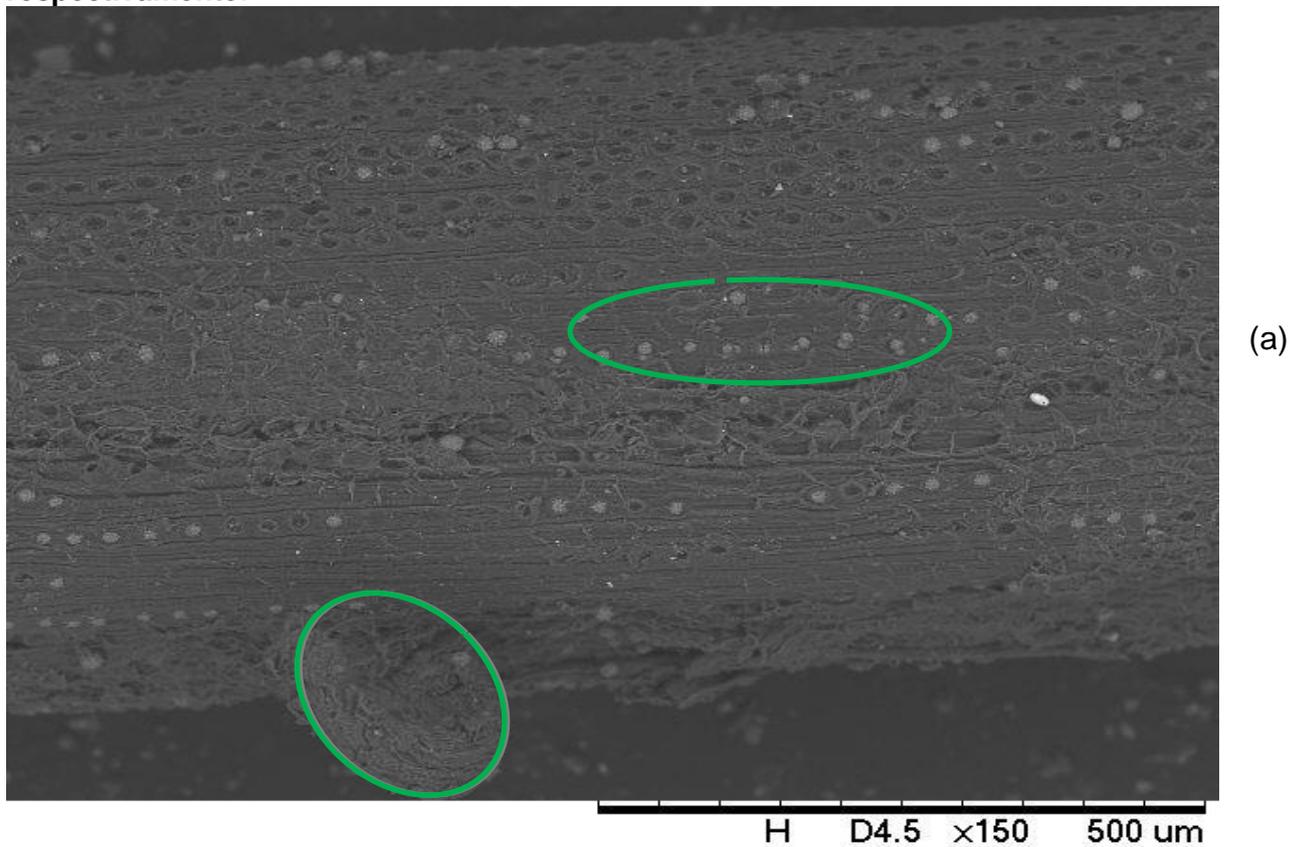
FEMAT-UFPA

Fonte: GUIMARÃES FILHO, 2011.

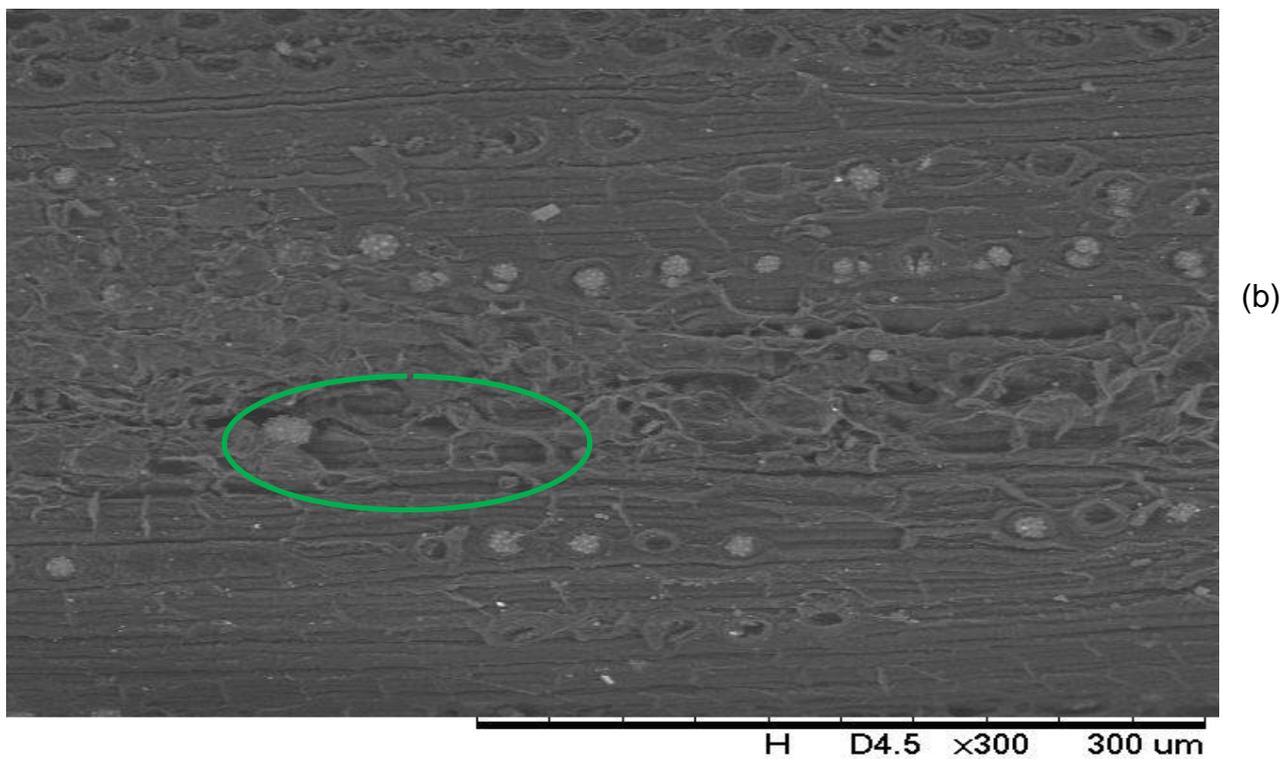
As figuras 23, 24, 25 e 26 apresentam em destaques verdes as regiões com protuberâncias de microfibrilas de floema, comumente conhecidas como esclerêmica, cuja função está ligada à condução de nutrientes para o interior das fibras, uma micrografia com 6000x de aumento, das microfibrilas estar representado na figura 27. Tal estrutura é proliferada ao longo da fibra à medida que se aumenta a concentração de NaOH chegando a uma considerável homogeneidade morfológica e distributiva na concentração de 10 % de NaOH (Figura 26), com relação ao comportamento mecânico o aparecimento das microfibrilas do floema, podem ser consideradas as responsáveis pela melhor adesão na interface matriz/reforço, tendo assim uma visível melhora das propriedades mecânicas avaliadas.

As figuras 24 (a) e (b) evidenciam pequenas trincas ao longo das fibras, considerados defeitos, estes influenciam nas propriedades analisadas, porém suas presenças são justificadas e aceitáveis, uma vez que foram introduzidas pelo corte para dimensionamento das fibras que se fez necessário para confeccionar os corpos de prova.

Figura 23 (a) e (b) - Micrografia obtida por MEV da superfície de fibras de babaçu mercerizadas com concentração de 2,5% de NaOH. Aumento de 150 e 300x respectivamente.



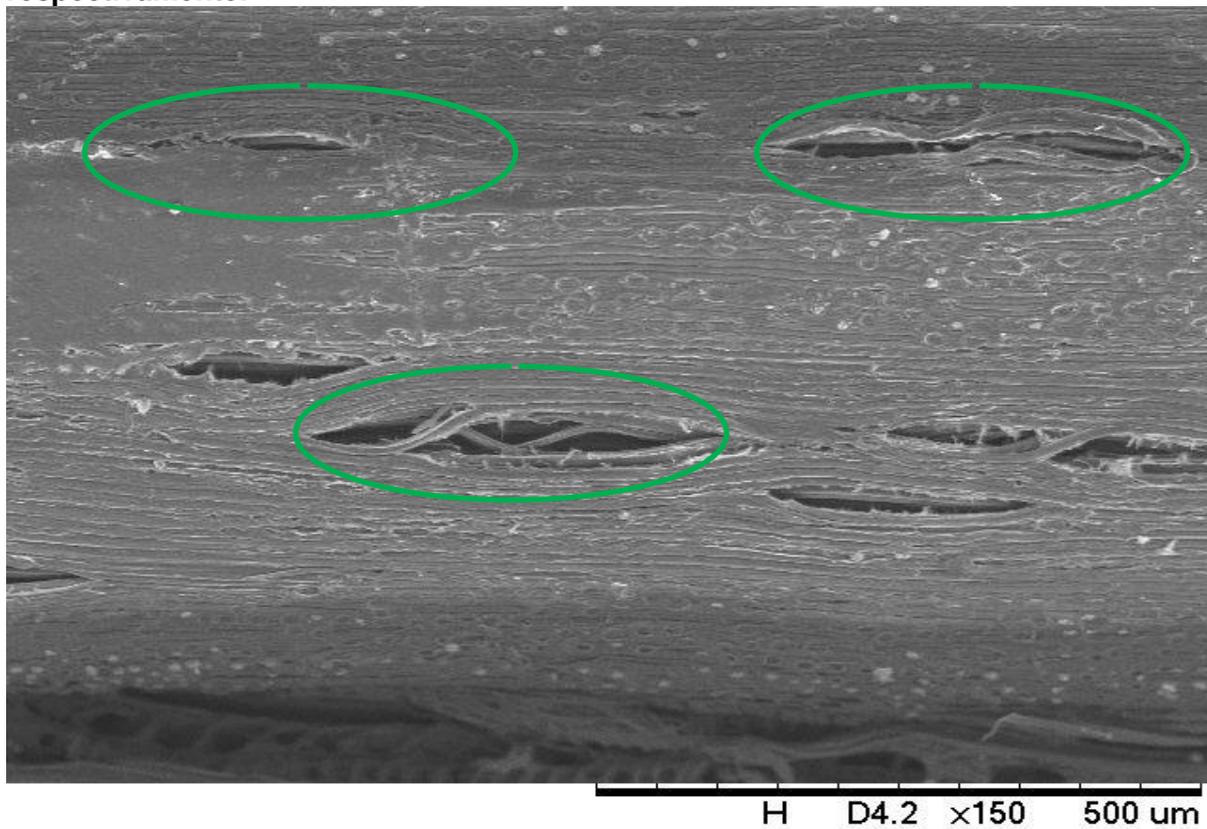
FEMAT-UFPA



FEMAT-UFPA

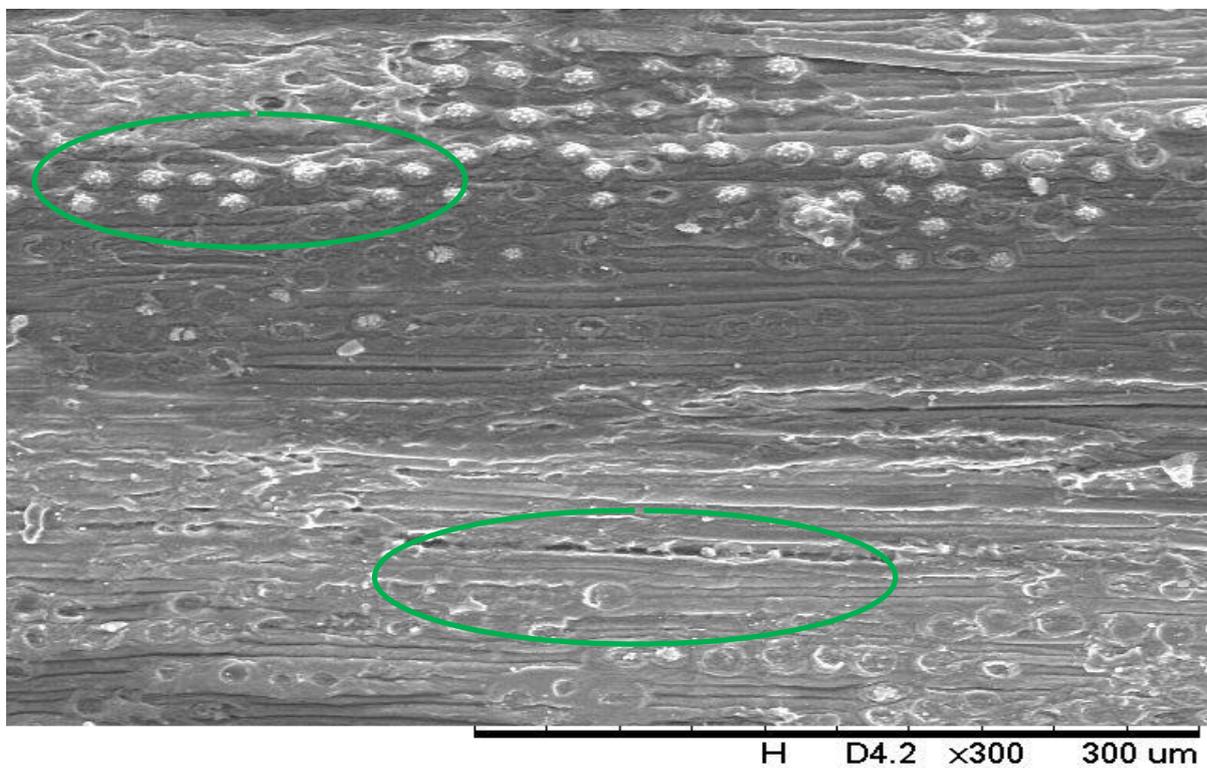
Fonte: GUIMARÃES FILHO, 2011.

Figura 24 (a) e (b) - Micrografia obtida por MEV da superfície de fibras de babaçu mercerizadas com concentração de 5% de NaOH. Aumento de 150 e 300x respectivamente.



(a)

FEMAT-UFPA

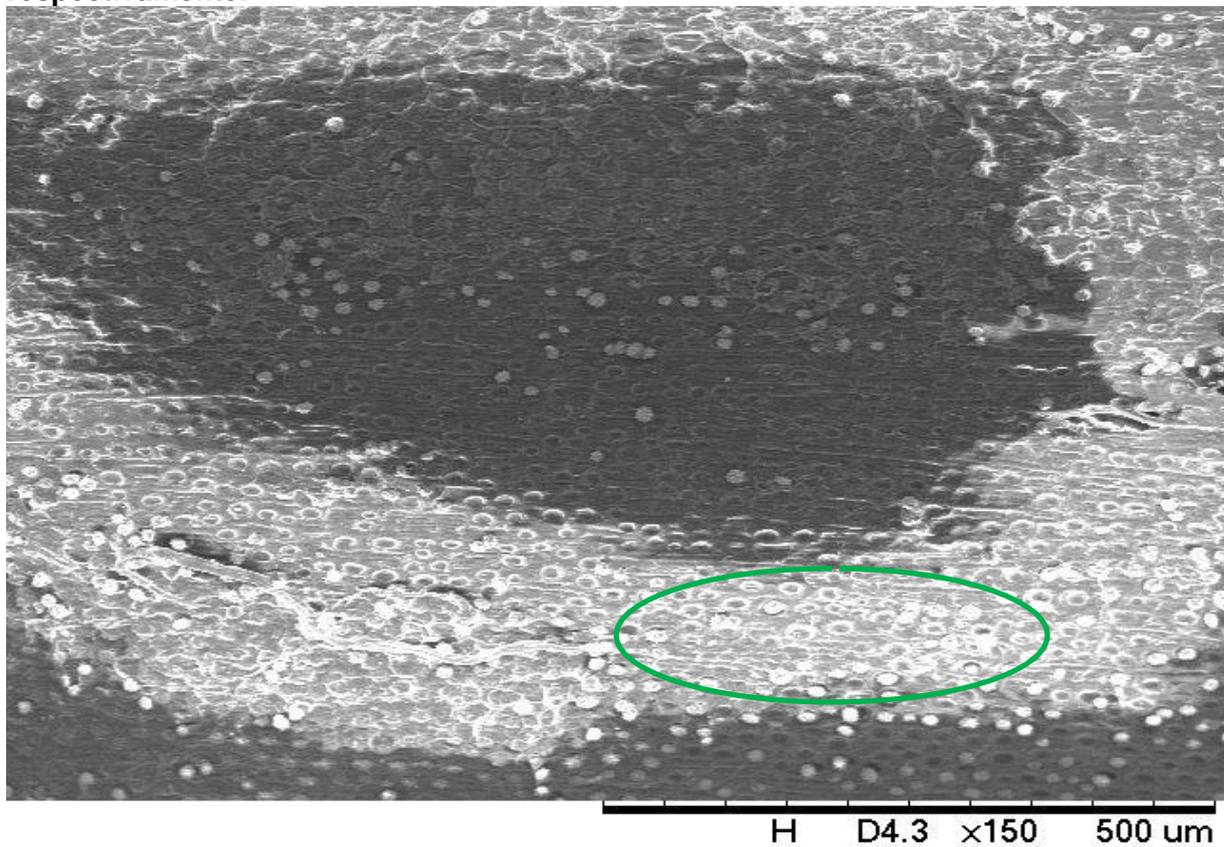


(b)

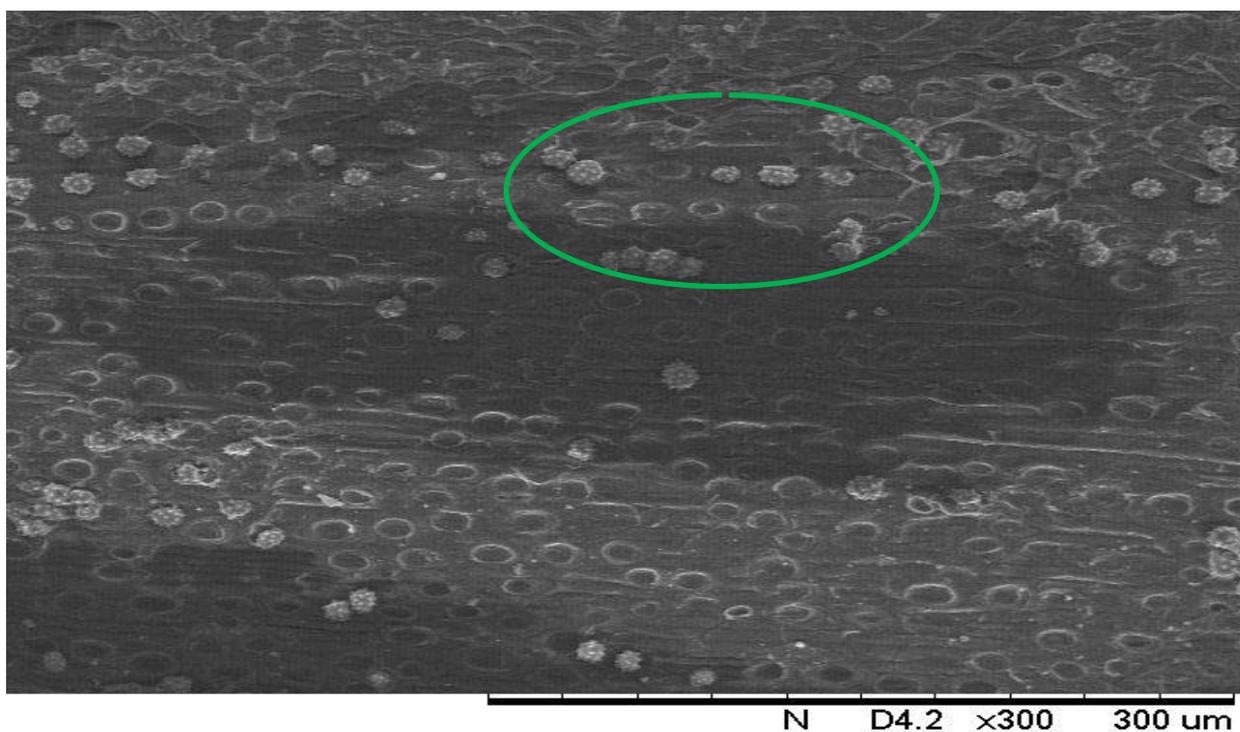
FEMAT-UFPA

Fonte: GUIMARÃES FILHO, 2011.

Figura 25 (a) e (b) - Micrografia obtida por MEV da superfície de fibras de babaçu mercerizadas com concentração de 7,5% de NaOH. Aumento de 150 e 300x respectivamente.



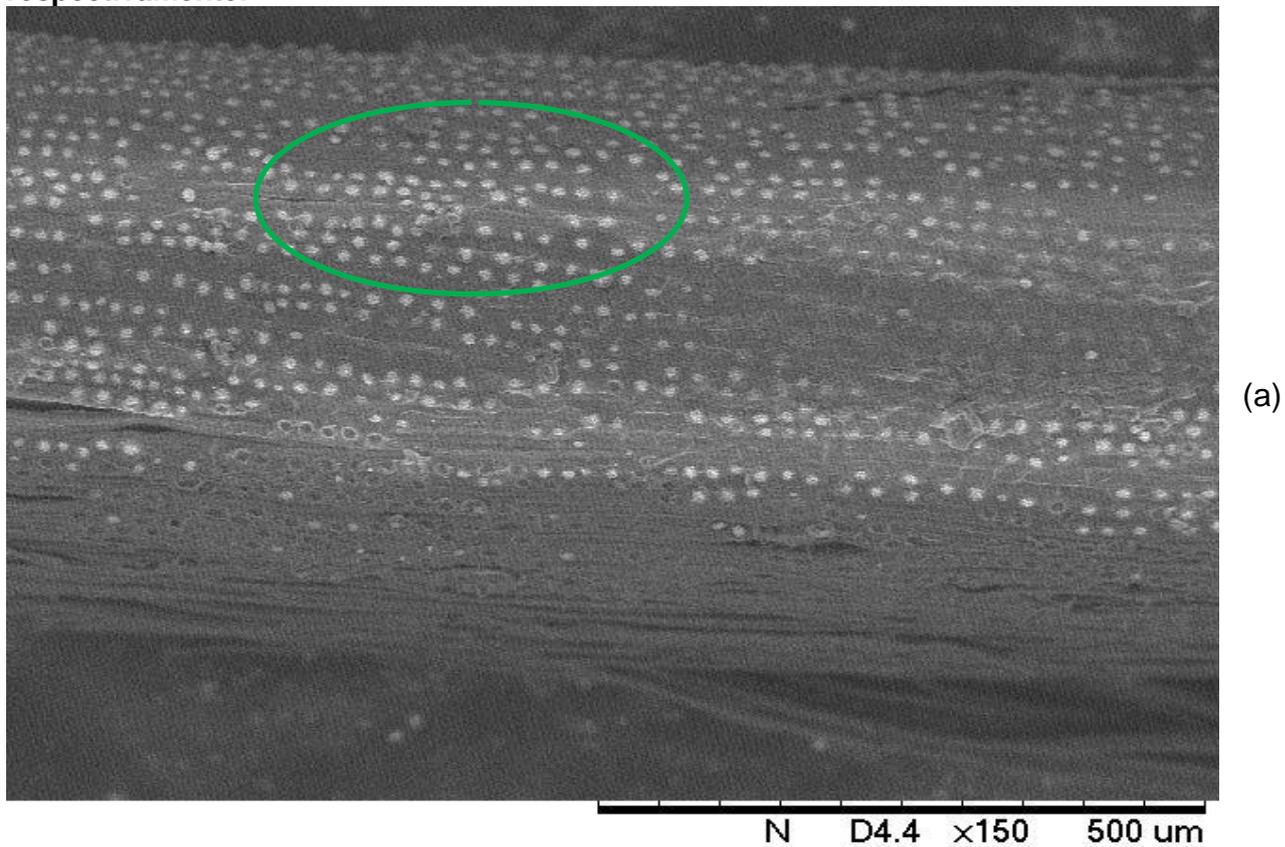
FEMAT-UFPA



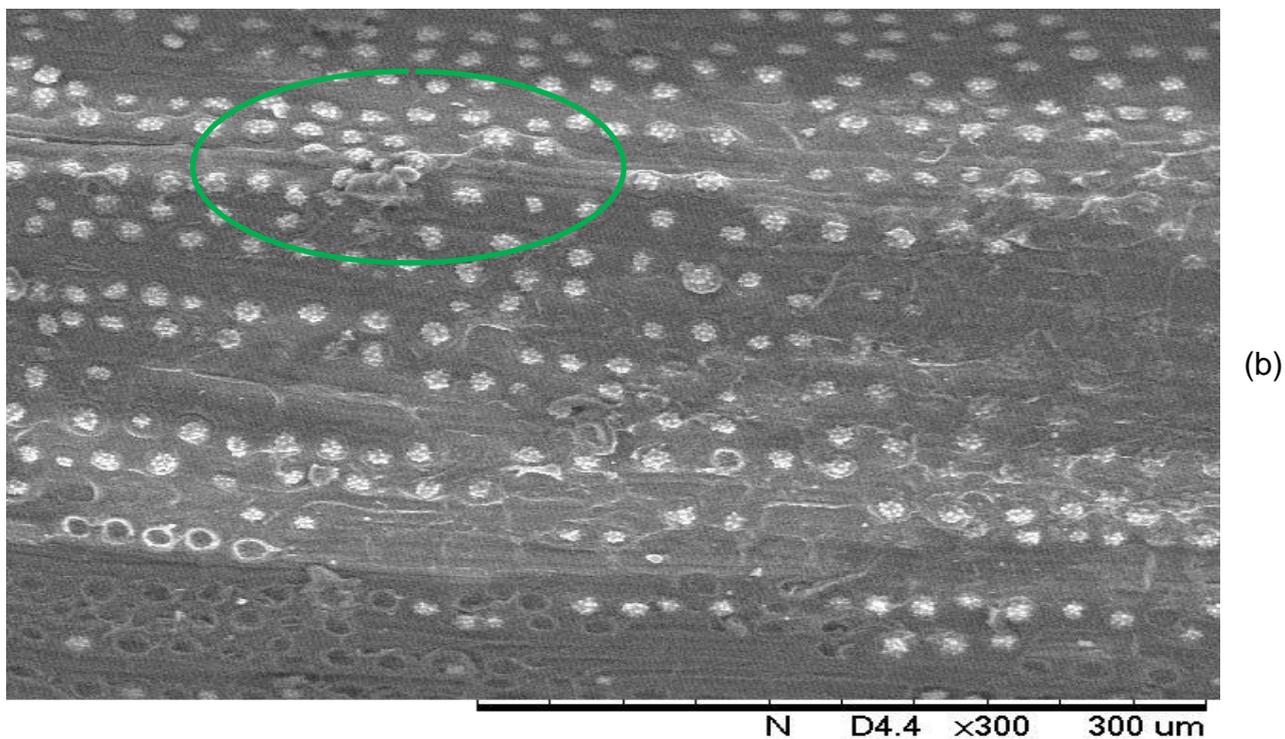
FEMAT-UFPA

Fonte: GUIMARÃES FILHO, 2011.

Figura 26 (a) e (b) - Micrografia obtida por MEV da superfície de fibras de babaçu mercerizadas com concentração de 10,0% de NaOH. Aumento de 150 e 300x respectivamente.



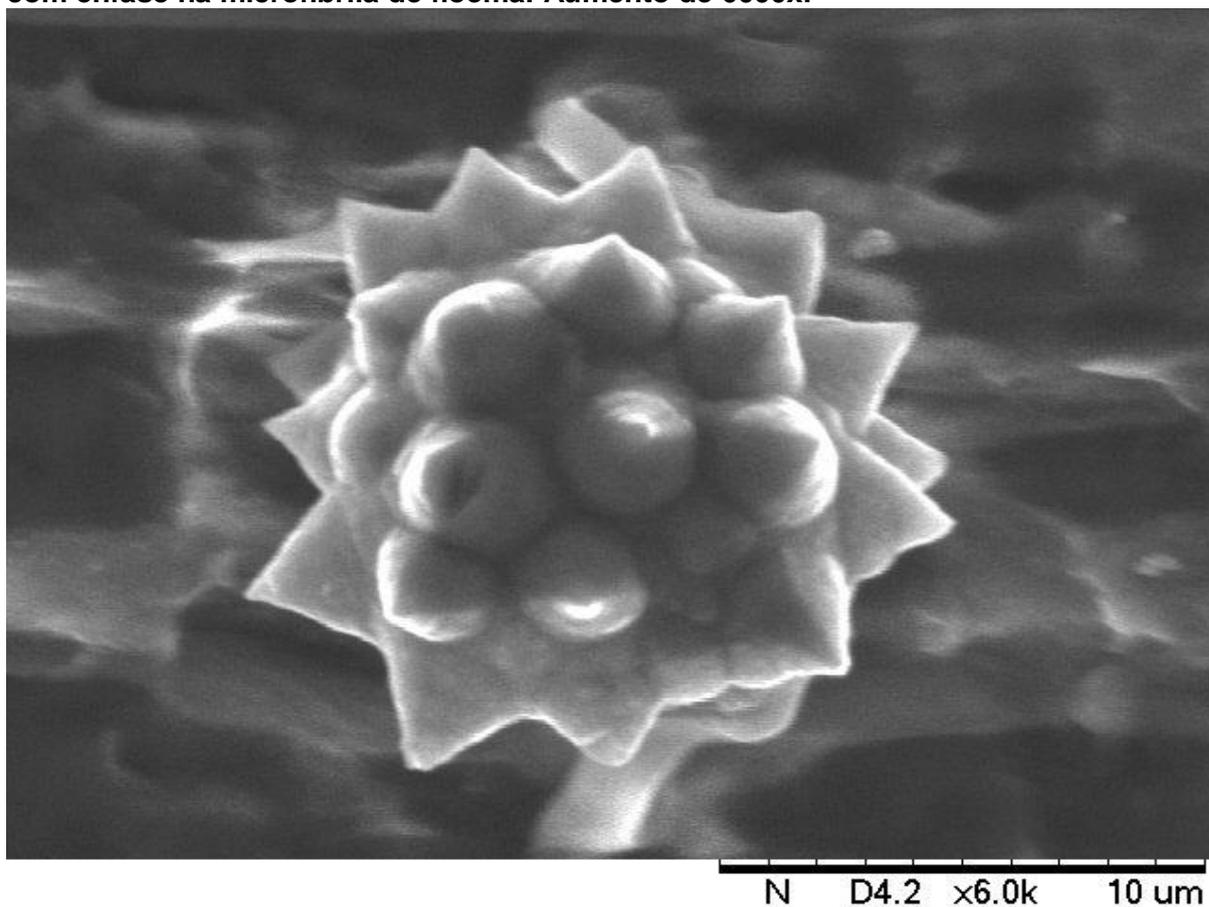
FEMAT-UFPA



FEMAT-UFPA

Fonte: GUIMARÃES FILHO, 2011.

Figura 27 - Micrografia obtida por MEV da superfície de fibras de babaçu mercerizadas com ênfase na microfibrila de floema. Aumento de 6000x.



FEMAT-UFPA

Fonte: GUIMARÃES FILHO, 2011.

6 CONCLUSÕES

Houve aumento na resistência à tração dos compósitos para peso em massa de fibra acima de 10 g sem tratamento até o valor de 50 g, sendo este considerado o volume crítico, uma vez que valores acima deste acabam sofrendo uma diminuição das propriedades avaliadas. O módulo de Young aumentou substancialmente com o aumento do peso de fibras não tratadas, justificado pela maior rigidez do compósito oriundo das fibras que acabam por impedir a movimentação das cadeias poliméricas.

Os valores medidos no alongamento na ruptura mostram que a incorporação das fibras na matriz poliéster é proporcional ao aumento no peso em massa de fibras não tratadas para limites inferior 60 g. Em relação à resistência a flexão os resultados são satisfatórios para peso em massa de fibras superiores a 10 g e inferiores a 60 g, quanto à força a ruptura todos os valores foram superiores a resina pura, exceto o peso de 10 g. O tratamento de mercerização das fibras contribuiu para elevar as propriedades dos compósitos de resina poliéster/fibras orientadas de babaçu quando o valor de concentração é de 10,0 % de hidróxido de sódio.

As propriedades do compósito com fibras tratadas para as concentrações de 2,5; 5 e 7,5 e 10 % de NaOH analisadas foram inferiores em relação aos compósitos com fibras não tratadas, exceto para a resistência a tração na concentração de 10 % de NaOH que teve um ligeiro aumento; 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. Estes resultados preliminares indicam que as fibras longas do invólucro do palmito do Babaçu 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 a tração como principal parâmetro de projeto de engenharia, o compósito obtido neste trabalho pode perfeitamente substituir, alguns polímeros convencionais tais como, acrílico, polietileno de alta e baixa densidade, elastômeros termoplásticos tipo poliéster e copolímero ABS (SHACKELFORD, 2008).

7 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

- Fazer uma análise química das fibras, com o intuito de conhecer sua composição;
- Desenvolver compósitos híbridos, isto é, compósitos reforçados simultaneamente com fibras de Babaçu e outra fibra vegetal ou ainda reforço cerâmico;
- 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;
- Estudar o efeito da sorção de água nas propriedades mecânicas dos compósitos reforçados com fibras tratadas e não tratadas;
- Implementar um teste de hipóteses, a fim de aumentar a confiabilidade dos resultados obtidos.
- Analisar a influência do tempo durante a mercerização.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, E. C.; NÓBREGA, M. M. S. Estudo das Propriedades Mecânicas de Compósitos Poliméricos Reforçados com Fibras de Açai (*Euterpe oleracea*). 65º Congresso Internacional da ABM (Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração). Anais. Rio de Janeiro, RJ: ABM, 2010. 1 CD.
- ASKELAND, D. R.; PHULÉ, P. P. **Ciência e Engenharia de Materiais**. Cengage Learning, 4ª Edição. São Paulo, SP. 2008.
- CALLISTER JR WILLIAM D. **Materials Science and Engineering an Introduction**. 6ª.ed. USA: John Wiley & Sons, Inc, 2007.
- CAVALCANTI, W. S. Compósitos Poliéster/tecidos tramados vegetal-vidro: caracterização mecânica e simulação da sorção de água. 2006. 122f. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) – Universidade Federal de Campina Grande. Paraíba-PB
- DHAKAL, H.N.; ZHANG, Z. Y.; RICHARDSON, M. O. W. Effect of water absorption on the properties of hemp fiber reinforced unsaturated polyester composites. *Composites Science and Technology*, v. 10, n. 2, p. 265-271. 2007.
- FAGURY, R. V. G. Avaliação de Fibras Naturais para a Fabricação de Compósitos: açai, coco, ananás e juta. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica na Área de Materiais e Processos, Universidade Federal do Pará. PA, 2005.
- FERNANDES, R. I. M. Estudo da Modificação Química nas Fibras Provenientes da Coroa do Abacaxi. 10º Congresso Brasileiro de Polímeros. Anais. Foz do Iguaçu, PR: CBPol, 2009. 1 CD.
- FRANCO, P. J. H.; GONZÁLEZ, A. V. Mechanical properties of continuous natural fiber-reinforced polymer composites. *Composites*: v. 35, n. 4, p. 339-345. 2004.
- IOZZI, M. A. Estudo da Influência de Tratamentos Químicos da Fibras de Sisal nas Propriedades de Compósitos com Borracha Nitrílica, *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, vol. 20, nº 1, p. 25-32, 2010.

JOSEPH, S.; SREEKALA, M. S.; OMMEN, Z.; KOSHY, P.; THOMAS, S. A comparison of the mechanical properties of phenol formaldehyde composites reinforced with banana fibers and glass fibers. *Composites Science and Technology*. V. 12, n. 8, p. 62-74. 2002.

LEE, S. H.; WANG, S. Biodegradable polymers/bamboo fiber biocomposite with bio-based coupling agent. *Composites*. V. 3, n. 4, p. 80-91. 2006.

MARINELLI, A. L. Desenvolvimento de Compósitos Poliméricos com Fibras Vegetais Naturais da Biodiversidade: uma contribuição para sustentabilidade amazônica, *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, vol. 18, nº 2, p. 92-99, 2008.

NÓBREGA, M. M. S. Compósitos de Matriz Poliéster com Fibras de Caroá *Neoglaziovia variegata*: caracterização mecânica e sorção de água. Tese de Doutorado em Engenharia de Processos, Universidade Federal de Campina Grande. Paraíba-PB, 2007.

PAIVA, J. M. F.; SABARIZ; ANNUNCIADO. Compósitos de Matriz Termofixa Fenólica Reforçada com Fibras Vegetais. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, vol. 9, nº 4, p. 170-176, 1999.

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: 18ª Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Porto de Galinhas, Recife-PE, 2008.

SHACKELFORD, J. F. **Ciência dos Materiais**. 4ª Edição. São Paulo-SP, 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.

SOBRINHO, L. L. Desenvolvimento de Matriz Polimérica para Material Compósito Visando o Reforço de Dutos de Aços. Dissertação de Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio de Janeiro. (COPPE/UFRJ), 2005.

TARGA, G.; MULLINARI; LEITÃO, E. S. Produção e Caracterização Mecânica de um Compósito de Fibra de Juta e Resina de Poliéster Insaturado. 10º Congresso Brasileiro de Polímeros. Anais... Foz do Iguaçu, PR: CBPol, 2009. 1 CD.

WAMBUA, P.; IVENS, J.; VERPOEST, I. Natural fibers: can they replace glass in fiber reinforced plastics. Composites Science and Technology, 2003.