

## 1 INTRODUÇÃO

Compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais são materiais de baixo custo, que podem apresentar bom desempenho e contribuem para a preservação ambiental já que essas fibras ligno-celulósicas, pouco abrasivas, vêm de fonte renovável e são biodegradáveis.

Fibras naturais tais como a juta, sisal, rami, entre outras são objetos de estudos e pesquisa em todo mundo como materiais alternativos às fibras tradicionais de asbesto e vidro. Neste trabalho compósito de matriz de poliéster e fibras de Luffa-cilíndrica foram estudados para avaliação de sua aplicabilidade no mercado.

A Luffa é o nome genérico de um grupo de espécies conhecidas como esponjas vegetais. Pertencem à Ordem Botânica das Cucurbitales e Família das Cucurbitáceas. Estas plantas são ervas anuais e perenes, rastejantes ou escandentes, com representantes em quase todo o mundo, apesar da sua preferência pelas regiões tropicais.

O gênero Luffa Adans compreende cerca de oito espécies de plantas herbáceas trepadeiras e anuais que habitam as regiões tropicais sendo que as espécies Luffa Cilíndrica M. Roem é bastante explorada como esponja vegetal. A Luffa Cilíndrica M. Roem apresenta alta produção no Brasil e o seu fruto é utilizado em larga escala como buchas para banho, palmilhas para sapatos e outros objetos. O fruto da luffa cilíndrica apresenta um núcleo com estrutura semelhante a um material do tipo colméia circundado por um emaranhado de fibras dispostas em um arranjo multidirecional. Além da manta externa, o núcleo e as fibras soltas podem compor compósitos com propriedades peculiares. Não existe na literatura muita informação a respeito dessa fibra. No entanto, a caracterização das fibras e sua utilização como reforço de polímeros é interessante devido à possibilidade de uso de resíduos de esponjas vegetais, mantas inteiras ou fibras cortadas.

Assim a Luffa-cilíndrica e outras fibras vegetais são suscetíveis ao desenvolvimento de reações de degradação térmica se expostas a altas temperaturas. Se por um lado isto limita seu processamento com matrizes

termoplásticas, por outro, reforça sua importância no reforço de matrizes termorrígidas onde temperaturas amenas podem ser usadas.

Com isso o objetivo desse trabalho foi produzir e caracterizar compósitos de matriz poliéster reforçado com mantas de fibras de esponjas de Luffa Cilíndrica M. Roem. Foram produzidas diferentes percentagens de Luffa em matriz poliéster insaturada com o intuito de analisar as propriedades mecânicas de cada peça e equipará-las com estudos já realizados de compósitos de fibra naturais lignocelulosicas utilizadas e aplicadas no mercado.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 COMPÓSITOS

#### 2.1.1 Características Gerais

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 (Figura 2.1), CALLISTER, JR. 2003 e NÓBREGA, 2007.

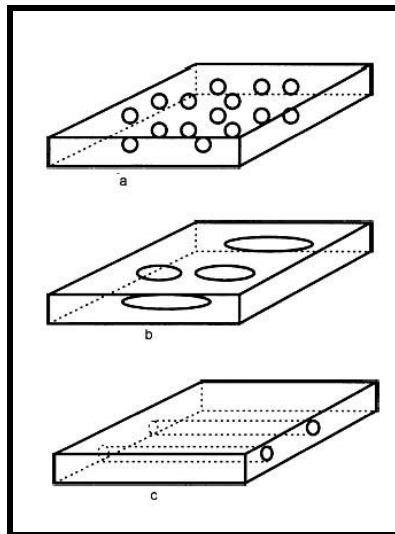


Figura 2.1: Compósitos reforçados. Fonte: NÓBREGA, 2007.

Os compósitos representam um caso de particular importância dentro do grupo das misturas poliméricas imiscíveis. De uma forma bastante abrangente, pode-se dizer que os compósitos consistem uma classe de materiais heterogêneos, multifásicos, podendo ser ou não poliméricos, em que um dos componentes, descontínuo, dá a principal resistência ao esforço (componente estrutural), e o outro, contínuo, é o meio de transferência desse esforço (componente matricial). Esses

componentes não se dissolvem ou se descaracterizam completamente; apesar disso, atuam concertadamente, e as propriedades do conjunto são superiores as de cada componente individual. A interface entre eles tem influência dominante sobre as suas características. São em geral empregados como materiais de engenharia, formados por elementos de reforço em grau variável de ordenação, que se distribuem em uma matriz flexível (MANO, 1991).

O preparo de um compósito consiste em combinar, em uma mesma estrutura, materiais diferentes por sua natureza físico-química com o objetivo de associar suas propriedades. Assim sendo são introduzidos, como exemplo, reforços fibrosos em matrizes de interesse para fins específicos. Como matrizes podem ser utilizados materiais cerâmicos, metálicos ou poliméricos. A matriz tem os objetivos de manter o reforço ligado a uma unidade estrutural, protegendo-o de danos, transferir e distribuir a carga recebida ao reforço e, em muitos casos, contribuir com propriedades como ductilidade, dureza ou isolamento elétrico. Deve ser capaz ainda de estabelecer ligação de natureza física, química e/ou mecânica com o reforço e apresentar compatibilidade para que não ocorram reações indesejáveis na interface entre ambos (SANTOS, 2006).

As propriedades dos compósitos são controladas, principalmente, pelas propriedades de seus materiais constituintes, teor, 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 a tensões muito baixas (CALLISTER, JR. 2003).

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 (NÓBREGA, 2007).

O papel da matriz é manter a orientação das fibras e seu espaçamento, transmitirem as forças de cisalhamento entre as camadas das fibras (para que o compósito resista à dobras e à torções) e protegê-las do ambiente exterior (NÓBREGA, 2007).

O componente estrutural pode ser um material orgânico ou inorgânico (metálico ou cerâmico), de forma regular ou irregular, fibroso (tecido ou não-tecido) ou pulverulento (esférico ou cristalino), com fragmentos achatados (como flocos) ou como fibras muito curtas, de dimensões quase moleculares, de material monocristalino (“whisker”). Os materiais estruturais devem apresentar resistência, rigidez e maleabilidade que, geralmente, se encontram nas fibras. O seu papel é suportar as cargas máximas e impedir que as deformações ultrapassem limites aceitáveis (MANO, 1985).

As principais desvantagens no emprego dessas fibras em compósitos poliméricos são relacionadas à natureza polar e hidrofílica bem como à susceptibilidade destas fibras a ataques de fungos e bactérias. A natureza hidrofílica das fibras vegetais resulta em pobre umectação e adsorção de grande parte dos polímeros em sua superfície, resultando em fraca adesão interfacial polímero-fibra. A qualidade da interface fibra-matriz é significativa para a aplicação de fibras vegetais como reforço para plásticos (NÓBREGA, 2006).

A alta absorção de umidade das fibras vegetais é outro obstáculo considerável. Absorção de umidade pode resultar em inchamento das fibras afetando a matriz por iniciação de trincas ou enfraquecimento das interações da interface fibra-matriz. Em compósitos poliméricos reforçados por fibras vegetais, a absorção de umidade por fibra não tratada, com baixa molhabilidade e adesão insuficiente entre matriz polimérica hidrofóbica e fibra hidrofílica, tanto diminui as propriedades mecânicas do sistema como leva à delaminação com o tempo (NÓBREGA, 2006).

Durante os últimos 20 anos, um substancial desenvolvimento de compósitos para aplicações estruturais foi observado. A principal motivação dessa grande evolução foi à possibilidade de se produzir compósitos com altas propriedades mecânicas e baixas densidades que, potencialmente, poderiam substituir materiais usualmente utilizados como o aço e a madeira. A combinação de polímeros de alto desempenho com fibras cerâmicas ou poliméricas de alto módulo elástico e resistência mecânica, permitiu a produção de novos compósitos com um grupo de propriedades específicas (por unidade de peso) superiores ao aço, alumínio e outros. Esses compósitos apresentam, em geral, altas razões módulo/peso e resistência/peso superiores à de materiais cerâmicos, poliméricos e metálicos. As propriedades mecânicas dos compósitos são afetadas por duas fases: a fase estrutural, geralmente possui módulo alto e elevada resistência mecânica e é representada por um material fibroso; a fase matricial possui módulo baixo e em geral é capaz de grande alongamento sendo tipicamente constituída de um material plástico, não quebradiço. Em relação ao peso, os compósitos revelam propriedades mecânicas que podem exceder consideravelmente às dos metais. A combinação de excelentes propriedades mecânicas e leveza estrutural tornam os compósitos interessantes materiais de aplicação em engenharia (MANO, 1991).

As propriedades mecânicas de compósitos poliméricos reforçados por fibras dependem de muitos fatores como adesão fibra-matriz, fração volumétrica de fibras, razão de aspecto das fibras e orientação (SANTOS, 2006).

As frações volumétricas e mássicas das fibras devem ser devidamente estudadas, visto que há uma faixa mínima e máxima que irá influenciar no reforço. Geralmente, o aumento do reforço promove as propriedades mecânicas, embora um alto carregamento de reforço possa favorecer a aglomeração de fibras e a baixa dispersão da matriz (SANTOS, 2006).

A orientação das fibras também é outro fator significativo nas propriedades mecânicas dos compósitos. Sabe-se que fibras orientadas têm uma resistência à tração ao longo do seu eixo e a transferência de tensão no compósito assim fabricado é favorecida (SANTOS, 2006).

Outro fator importante que envolve os compósitos são os teores de vazios que se formam durante o processamento destes materiais. Os vazios podem ocorrer por duas causas: primeiramente, devido à incompleta molhabilidade de resina sobre as fibras, resultando em formação de bolhas de ar que podem ficar presas devido à alta viscosidade da resina; segundo, devido à presença de compostos voláteis que se formam no processo de cura das resinas termorrígidas (SANTOS, 2006).

O uso de compósitos ocorre desde a pré-história, onde mistura argila com palha de trigo ou de arroz produzia materiais com melhor maleabilidade e com menor desenvolvimento de fraturas. Em 5000 a.C., o homem utilizou uma combinação de junco e piche na construção de botes, onde o piche serviu como adesivo (SANTOS, 2006).

A partir da década de 60, os materiais compósitos de alto desempenho foram introduzidos de maneira definitiva na indústria aeroespacial. O desenvolvimento de fibras de carbono, boro, quartzo ofereceram ao projetista a oportunidade de flexibilizar os projetos estruturais, atendendo as necessidades de desempenho em vôo de aeronaves e veículos de reentrada na atmosfera. O crescente uso de polímeros reforçados com fibras de carbono no setor aeronáutico deve-se, principalmente, ao constante desafio que esta indústria possui na obtenção de componentes que exibam os maiores valores de resistência mecânica e de rigidez específicas entre os materiais disponíveis. A substituição do alumínio por compósitos poliméricos estruturais, por exemplo, permite uma redução de peso de 20 a 30%, além de 25% na redução do custo final de obtenção das peças (SANTOS, 2006).

As aplicações estruturais de compósitos num Boeing 767 rondam os 3% em peso, mas esta pequena percentagem equivale a um ganho em peso de 635 Kg. Cerca de 30% da superfície exterior é em compósito, trazendo benefícios em termos de corrosão e resistência à fadiga (SANTOS, 2006).

O uso de compósitos termoplásticos reforçados com fibras contínuas também

tem sido ampliado no setor aeroespacial, devido, principalmente, à redução drástica da fadiga, maiores valores de resistências ao impacto e ao fogo, baixa absorção de umidade, temperatura de serviço mais elevada e grande versatilidade na produção em série, exibindo propriedades mecânicas iguais ou superiores às apresentadas pelos compósitos termorrígidos. No setor aeronáutico, o uso de compósitos termoplásticos é promissor na construção de fuselagens, permitindo com isto uma redução de peso em torno de 25%, em relação às estruturas metálicas hoje utilizadas (SANTOS, 2006).

A indústria de plásticos move-se ao redor do mundo buscando oportunidades nos mercados emergentes de alto crescimento. O setor é dominado por um grande número de companhias multinacionais que atuam em várias etapas da cadeia produtiva. Embora a indústria de plástico seja global, a base de produção de muitas resinas migrou para países como Arábia Saudita, China e Coréia do Sul. Os produtores dos mercados mais desenvolvidos com os Estados Unidos, a Europa Ocidental e o Japão responderam a essa migração direcionando suas indústrias para produtos de maior valor agregado e racionalizando a capacidade de produção a fim de elevar a rentabilidade. Os mercados-chave para a indústria de plásticos incluem a área econômica da China, Japão, América do Norte e do Sul, Sudeste Asiático e Europa Ocidental. Por causa de seu tamanho e do nível de desenvolvimento econômico, não é de surpreender que o Japão, a América do Norte e a Europa Ocidental sejam os maiores mercados para resinas plásticas, totalizando 90% do consumo mundial de polímeros (UNICAMP, 2002).

O consumo mundial de resinas plásticas (PEAD- Polietileno de Alta Densidade, PEBD- Polietileno de Baixa Densidade, PP- Polipropileno, PS- Poliestireno e PVC- Policloreto de Vinila) foi de aproximadamente 114 milhões de toneladas em 1999. Deste total, Europa Ocidental e os Estados Unidos representam 27% cada. Em seguida aparecem China (12,6%), Japão (8,6%) e Coréia do Sul (3,4%) e o Brasil (ocupando a sexta posição com 3,2 %). No que se refere ao consumo de resinas por setores de uso final em 1999 tem-se: 40% embalagem, 18% na indústria da construção, 8% na indústria automotiva, 7,5% nas indústrias eletro-



eletrônicas, 2,5% na agricultura, 19% em outras aplicações e 5% na indústria em geral (UNICAMP, 2002).

A substituição de materiais tradicionais por polímeros na indústria vem sendo gradualmente executada ao longo das últimas décadas, tendo se intensificado o ritmo de substituição nos últimos 20 anos. Os polímeros têm demonstrado um alto grau de confiabilidade e muitas vantagens sobre os materiais convencionais. Além de maior flexibilidade de projeto e economia na produção, sua baixa densidade é essencial para a redução do consumo de combustíveis. Aproximadamente, para 100 kg de polímeros empregados em um veículo, 200 a 300 kg de outros materiais deixam de ser empregados, refletindo no peso final do carro. Dessa forma, estimando-se a vida útil de um veículo em 150.000 quilômetros, pode-se economizar 750 litros de combustível devido ao uso de plásticos. Além disso, a utilização de polímeros favorece a injeção de peças complexas com alto nível de produção e qualidade sem falar na resistência à corrosão (UNICAMP, 2002).

A média de 30 quilos de polímeros empregada por veículo, na década de 70, passou a representar cerca de 180 kg no final da década de 90 (APC, 1999).

A questão que ora se levanta, a partir do uso de plásticos na indústria automobilística, é sobre a disponibilidade de fornecimento de matérias-primas por parte da indústria de polímeros no Brasil. A seleção de materiais orientados para o futuro é indispensável nos dias de hoje em razão dos aspectos tecnológicos e econômicos decorrentes das diretrizes promulgadas pela legislação da União Européia sobre os carros em fim de vida útil, ocorrida em setembro de 2000. Em decorrência desta lei, foi estabelecida uma cota de reciclagem para veículos sucataados, a qual será de 80% até o ano de 2006, passando a 85% até o ano de 2015, incluindo uma exigência de aproveitamento térmico de 85% até 2006 e 95% até o ano de 2015 (UNICAMP, 2002).

Considerando-se o volume dos materiais, empregam-se mais polímeros na construção de um carro do que metais. A disponibilidade do fornecimento de matérias-primas por parte da indústria de polímeros para o setor automotivo de acordo com suas premissas é a principal problemática (UNICAMP, 2002).

As crises do petróleo de 1973 e 1979, entretanto, trouxeram a consciência para o problema da escassez e da vulnerabilidade do uso de apenas materiais provenientes de fontes não-renováveis. Diante deste contexto, pesquisadores e indústrias buscam o desenvolvimento de novos materiais capazes de conciliar a alta performance dos polímeros de engenharia com a questão ecológica e focada na preservação ambiental que nos cerca nos dias de hoje. As fibras vegetais têm sido investigadas para uso como reforço em compósitos de matrizes poliméricas, pois aliam propriedades que levam em consideração aspectos que vão de encontro a esta nova ordem mundial, de forte apelo ecológico, e características como baixo custo, baixa densidade, fonte renovável, biodegradabilidade, o fato de serem atóxicas e não abrasivas, possuírem boas propriedades térmicas e alto módulo específico o que as tornam fortes candidatas em potencial para estas aplicações (SANTOS, 2006).

A utilização de fibras vegetais em produtos comerciais contribui para gerar riquezas e reduzir o impacto ambiental causado pela produção e descarte de bens de consumo já que são materiais abundantes, de fonte renovável e contribuem para o melhor aproveitamento do potencial agrícola brasileiro. As fibras vegetais podem ser utilizadas como reforços em polímeros termoplásticos, termorrígidos e borrachas.

A indústria automotiva começou a usar compósitos com fibras vegetais por razões técnicas e comerciais. As fibras vegetais aparecem como uma valiosa alternativa aos materiais sintéticos e sua utilização tem crescido drasticamente nos últimos anos. As fibras vegetais apresentam ainda um potencial de redução do peso do veículo em até 40% quando comparado com as fibras de vidro, que estão presentes na maioria dos compósitos da indústria automotiva. A indústria automotiva alemã tem aumentado o seu uso de 4.000 toneladas em 1996 para 15.500 toneladas em 1999 enquanto que o resto da Europa teve seu consumo aumentado de 300 toneladas para 6.900 toneladas no mesmo período. Projeções para 2005 e 2010 sugerem que o consumo de fibras vegetais na indústria automotiva europeia cresça de 50 a 70 mil toneladas em 2005 para mais de 100.000 toneladas em 2010 (SANTOS, 2006).

A BMW investe continuamente no desenvolvimento destes materiais buscando, entre outros aspectos, a preocupação com as questões ecológicas, o preço e a disponibilidade destes materiais na natureza (BMW GROUP 2006). O BMW série 7, por exemplo, emprega 24 kg de materiais renováveis, dentre os quais mais de 13 Kg são fibras vegetais (Figura 2.2). Estes materiais são utilizados nos revestimentos de portas além de outras partes internas do veículo (SANTOS, 2006).



Figura 2.2: BMW série 7 e as fibras vegetais. Fonte: BMW GROUP 2006.

Nos últimos anos, especial atenção vem sendo dada para a minimização ou reaproveitamento de resíduos sólidos gerados nos diferentes processos industriais. Um material deixa de ser resíduo pela sua valorização como matéria-prima, para a produção de novos produtos. Neste caso, o resíduo passa a ser tratado como subproduto do processo produtivo.

Em países tropicais, os resíduos gerados pela agroindústria da fibra natural podem constituir importante fonte de matéria-prima para a produção de componentes, dependendo das quantidades disponíveis e da dispersão geográfica,

haja vista os custos de coleta e transporte. A Tabela 1 apresenta algumas fibras vegetais de interesse bem como seus centros produtores no Brasil (Santos, 2006).

Tabela 1-Fibras Vegetais no Brasil

<b>Fibra</b>	<b>Nome Botânico</b>	<b>Parte da Planta</b>	<b>Centros Produtores</b>
Sisal	Agave Sisalana	Folha	semi-árido da Bahia e Paraíba
Piaçava	Attalea Funifera	Bainha Foliar	Região de Valença-Ba
Coco	Cocos Nucifera	Mesocarpo do Fruto	Região do Recife-Pe Aracaju-Se
Algodão	Gossypium Herbaceum	Semente	Campina Grande-PB
Celulose de Eucalipto	Eucaliptus Grandis	Tronco	Aracruz-Es
Rami	Boemmiria Nivea	Caule	Região de Londrina-Pr
Banana	Musa Cavendishii	Pseudocaule	Vale do Ribeira-SP
Malva	Urena Lobata	Caule	Amazônia

Fonte: Santos, 2006

### 2.1.2 Classificação dos Compósitos

Os compósitos podem ser classificados de acordo com o tipo de matriz polimérica, 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 2.3), podem ser incorporadas a matrizes dúcteis ou frágeis de maneira aleatória ou em laminados orientados, gerando compósitos com diferentes estruturas e propriedades ( CALLISTER, JR. 2003).

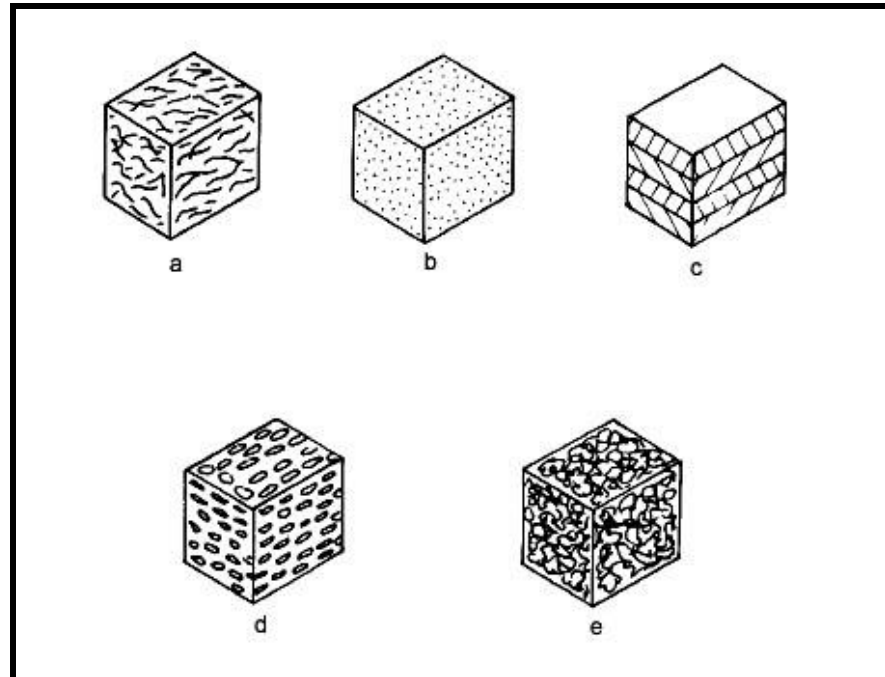


Figura 2.3: Compósitos com diferentes reforços: a) fibras curtas aleatórias; b) partículas; c) laminados; d) partículas lamelares; e) fibras longas desalinhadas. Fonte: NÓBREGA (2007).

Os materiais compósitos também são convencionalmente classificados de acordo com a sua natureza química e física em: cerâmicos, metálicos e poliméricos. Os materiais cerâmicos são inorgânicos e têm como características principais, elevada resistência ao calor e sua extrema fragilidade; os materiais metálicos apresentam como características gerais, ductilidade e excelentes condutividades térmicas e elétricas. A grande limitação do uso de metais em compósitos é a sua elevada densidade e custo do processo de fabricação. Os materiais poliméricos, por sua vez destacam-se pela sua baixa densidade, fácil conformação e elevada resistividade elétrica.

O componente de reforço no compósito pode estar na forma particulada, na forma de laminados ou de fibras. O maior volume de aplicação de reforço envolve fibras, filamentos ou monofilamentos. O aspecto unidirecional da fibra permite a fabricação da estrutura do compósito, através das facilidades têxteis a que as fibras

podem ser submetidas, como: tecidos; não-tecidos (nonwoven); mechas (roving); fios e outros (NÓBREGA, 2007).

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. Então este efeito será mais acentuado quando o material for submetido a elevados gradientes de temperatura (NÓBREGA, 2007)

### 2.3 FIBRAS DE REFORÇO PARA COMPÓSITOS

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

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

Dentre os materiais compósitos, o reforço tipo fibra tem despertado grande interesse em engenheiros da indústria de diversos setores como automotiva, da construção mecânica, metalúrgica, farmacêutica, naval, aeronáutica, aeroespacial

entre outras. Uma vez que a forma fibrosa de um material possui elevada resistência à tração e alto módulo de elasticidade (Tabela 2), este tipo de material é usado atualmente como material de engenharia em combinação com uma matriz que, além de envolver e proteger a fibra deforma sob a ação de uma força e lhe distribui a tensão, impedindo a propagação de falhas (NÓBREGA, 2007).

TABELA 2: Propriedades mecânicas de fibras vegetais e de fibras convencionais usadas como reforço

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

Fonte: Santos, 2006

a – Kraft de madeira leve;

b – Fibra de vidro usada na indústria eletrônica (E).

Um critério decisivo para a escolha do tipo adequado de fibra é o seu módulo de elasticidade. Uma comparação entre os valores de resistência de diversas fibras convencionais e tropicais com os correspondentes às fibras de vidro mostrou que, por exemplo, os valores absolutos característicos das fibras tropicais eram de apenas metade do nível correspondente aos valores característicos da fibra de vidro.

Contudo, devido ao fato de sua densidade ser aproximadamente 45% menor, as fibras naturais apresentam níveis de resistência específica comparáveis aos da fibra de vidro (Santos, 2006).

Quando a gravidade específica da fibra é considerada, as fibras vegetais exibem valores comparavelmente maiores do que as fibras de vidro (Tabela 3). Estas propriedades específicas são a maior vantagem do uso de fibras vegetais em compósitos para aplicações que requerem estas propriedades aliadas à redução de massa. Além disso, o custo das fibras vegetais é menor, são materiais de fonte renovável, biodegradável e não são abrasivas aos equipamentos como as fibras de vidro e carbono. Se for considerada a densidade das fibras vegetais em relação à fibra de vidro, as fibras vegetais apresentam excelentes propriedades específicas.

Tabela 3: Módulo Específico de Fibras Vegetais e Sintéticos

<b>Fibra</b>	<b>Gravidade Especifica</b>	<b>Módulo de Elasticidade (GPa)</b>	<b>Modulo Especifico</b>
Juta	1,3	55	38
Sisal	1,3	28	22
Linho	1,5	27	50
Cânhamo	1,07	35	32
E-Vidro	2,5	72	28
Abacaxi	1,56	62	40
Kevlar-49	1,45	131	125
Pan-II	1,75	390	250

Fonte: Callister, 1997.

## 2.4 AS MATRIZES POLIMÉRICAS

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 características de se tornarem fluidos sob ação da temperatura e depois se solidificarem 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 4 apresenta as principais características de polímeros termoplásticos e termorrígidos.

TABELA 4: Comparação das propriedades entre termoplásticos e termorrígidos.

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

Fonte: Santos, 2007.

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. Esses materiais podem também ser misturados fisicamente com fibras em métodos de processamento bastante simples. As resinas termorrígidas mais usadas e mais baratas são os poliésteres, poliuretanos, vinil-éster e resinas fenólicas; as quais são usadas principalmente para compor compósitos reforçados com fibras de vidro. As resinas epóxi são mais caras e além das aplicações estruturais, também são muito utilizadas em aplicações aeroespaciais por possuírem melhores propriedades mecânicas e melhores resistências à umidade do que os poliésteres, poliuretanos e as resinas vinílicas. Em aplicações de altas temperaturas, são empregadas as resinas poli-imidas, seu limite superior de temperatura para utilização em regime contínuo é de aproximadamente 230°C.

Existem estudos sobre a performance mecânica dos seguintes compósitos

híbridos: poliéster / fibras de vidro e Palf (fibra da folha do abacaxi) e poliéster / fibras de vidro e sisal. A maioria das resinas utilizadas nos compósitos industriais é termorrígida. Por volta de 65% dos compósitos produzidos atualmente para as diversas aplicações utilizam as fibras de vidro e matrizes de poliéster ou éster vinil. As resinas de poliéster insaturado são largamente utilizadas graças ao seu baixo custo, fácil manuseio e bom balanceamento das propriedades mecânicas, elétricas e químicas. No entanto, compósitos termorrígidos são materiais frágeis que podem colapsar sem aviso prévio já que não possuem o mecanismo de escorregamento de cadeia umas sobre as outras antes da fratura. A utilização das resinas termoplásticas tem crescido desde a criação dos novos termoplásticos resistentes a altas temperaturas tais como as poliamidas, polisulfonas (Union Carbide Ltd), poliéter sulfona (ICI), poliéter éter sulfona (ICI), dentre outros materiais (SANTOS, 2006).

As resinas termoplásticas são longas moléculas com comprimento da ordem de 20 a 30 nm) e fluem facilmente sob tensão sem elevadas temperaturas, permitindo assim que sejam fabricadas na forma solicitada e mantendo a forma quando resfriada à temperatura ambiente. Esses polímeros podem ser repetidamente aquecidos, fabricados e resfriados e, conseqüentemente, serem reciclados. A combinação de baixa densidade, resistência química, custo baixo e um balanço entre rigidez e tenacidade permite que termoplásticos ocupem espaço de outros materiais em muitas aplicações importantes (SANTOS, 2006).

As mais atrativas características oferecidas pelos compósitos termoplásticos são o potencial de produção a baixo custo, alta tenacidade à fratura, boa resistência ao impacto, boa resistência à propagação de microtrincas, fácil controle de qualidade e a possibilidade de reciclagem de matéria-prima (SANTOS, 2006).

As resinas termoplásticas também podem ser classificadas da seguinte forma:

- Termoplásticos de uso geral: Este grupo cobre a maioria dos plásticos utilizados atualmente, entre eles estão o polietileno, polipropileno e poliestireno. São materiais de baixo custo. As propriedades modestas deste grupo podem ser melhoradas (por

exemplo, pela adição de cargas), tornando-os mais competitivos com outras classes de termoplásticos;

- Termoplásticos de engenharia: Oferecem uma combinação de propriedades de interesse, como alta resistência e módulo, tenacidade e/ou resistência ao desgaste, ao ataque químico e ao calor. São bastante empregados em substituição a peças metálicas, sendo os mais importantes desta categoria as poliamidas, poliacetais, policarbonatos, poliésteres termoplásticos e poli(óxido de fenileno) modificado;
- Termoplásticos elastômeros: Grupo relativamente novo de materiais que exhibe propriedades combinadas entre as normalmente associadas com elastômeros tradicionais e a facilidade e rapidez de processamento de termoplásticos, podendo, inclusive, ser re-processado. São baseados em polímeros especificamente fabricados (por exemplo, estireno-butadienoestireno – SBS ou poliéter-éster-elastômero – PEEL) ou baseados em blendas de elastômeros e plásticos (e.g. blenda de polipropileno e etilenopropileno);
- Blendas ou misturas: Normalmente utilizadas para gerar materiais incomuns, estendendo o desempenho de plásticos existentes, com mais agilidade, versatilidade e por um custo menor que o associado ao desenvolvimento de novos materiais.

Embora a classificação acima seja utilizada, não é muito fácil distinguir os plásticos e, devido às mudanças químicas em sua estrutura ou à adição de cargas e reforços, um mesmo polímero pode ocupar mais de uma categoria ou competir com polímeros de outras categorias. O PP, por exemplo, pode ser enquadrado como termoplástico de uso geral ou de engenharia dependendo da aplicação final e utilização ou não de reforço segundo (SANTOS, 2006)

O uso de fibras naturais em resinas termoplásticas normalmente é benéfico por causa da sua disponibilidade, capacidade de renovação e grau de eficiência favorável em termos de resistência/peso. Como resultado desses fatores, compósitos plásticos reforçados com fibras naturais tem recebido atenção na modificação de resinas termoplásticas como PP, PEAD e PVC. Esses compósitos são potencialmente aplicáveis em pisos, componentes de mobília, batentes de portas, assoalhos para sistemas de construção usando estruturas leves e paletes para armazenamento. Outra aplicação potencial é a manufatura de painéis interiores de automóveis, devido ao aumento de rigidez da resina termoplástica proporcionada

por estas fibras e à elevação de temperatura de amolecimento (SANTOS, 2006).

A tecnologia de fabricação de estruturas híbridas compósitas constituídas de termoplásticos abre possibilidades construtivas totalmente novas e econômicas para componentes estruturais submetidos a altas solicitações, com alto grau de integração de funções e baixo peso. Atualmente, o consumo de compósitos termoplásticos está aumentando em relação aos compósitos termorrígidos devido à questão ecológica. Esta tendência é devido ao desenvolvimento de polímeros de alta performance, tais como poli(éteréter- cetona) (PEEK), poli(sulfeto de fenileno) (PPS) ou policarbonato (PC) chamados plásticos de engenharia, que oferecem excelentes propriedades mecânicas. Entretanto, o polipropileno que foi primeiramente polimerizado em 1955 por Natta, tem também sido reconhecido como um bom material polimérico. A razão disto é a sua versatilidade de projeto em nível molecular a um custo atrativo (SANTOS, 2006).

#### **2.4.1 Resina Poliéster**

As resinas poliésteres possuem grupos éster 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) (NÓBREGA, 2007).

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 (NÓBREGA, 2007).

Os poliésteres insaturados são obtidos a partir de diácidos insaturados, um diácido saturado e um diol, resultando num produto termofixo, cuja cadeia molecular é composta por ligações simples e duplas entre os átomos de carbono. É diluído num monômero vinílico inibido para facilitar sua estocagem e posterior utilização.

Inicialmente encontra-se no estado líquido e após a adição de um agente de cura, solidifica formando uma estrutura termofixa irreversível (NÓBREGA, 2007).

#### **2.4.2 Estrutura do Poliéster Insaturado**

Um poliéster insaturado apresenta uma estrutura composta geralmente de três componentes básicos: ácidos saturados, ácidos insaturados e glicóis. No caso de um poliéster de uso geral, estes componentes consistem de ácido ou anidrido ftálico, ácido fumárico ou anidrido maléico, propileno glicol e um monômero vinílico, comumente o estireno (Figura 2.4). Cada um desses componentes tem uma função básica na obtenção da resina poliéster. O ácido insaturado fornece os pontos reativos para as ligações cruzadas; o ácido saturado determina o grau de espaçamento ou concentração das moléculas do ácido insaturado ao longo da cadeia do poliéster, e o glicol, naturalmente, proporciona os meios para a esterificação e a ponte entre os ácidos para formar o polímero. O monômero vinílico dissolve o polímero formado durante a reação de esterificação e serve de ponte de ligação (reticulação) entre os pontos de insaturação presentes na cadeia do poliéster (NÓBREGA, 2007).

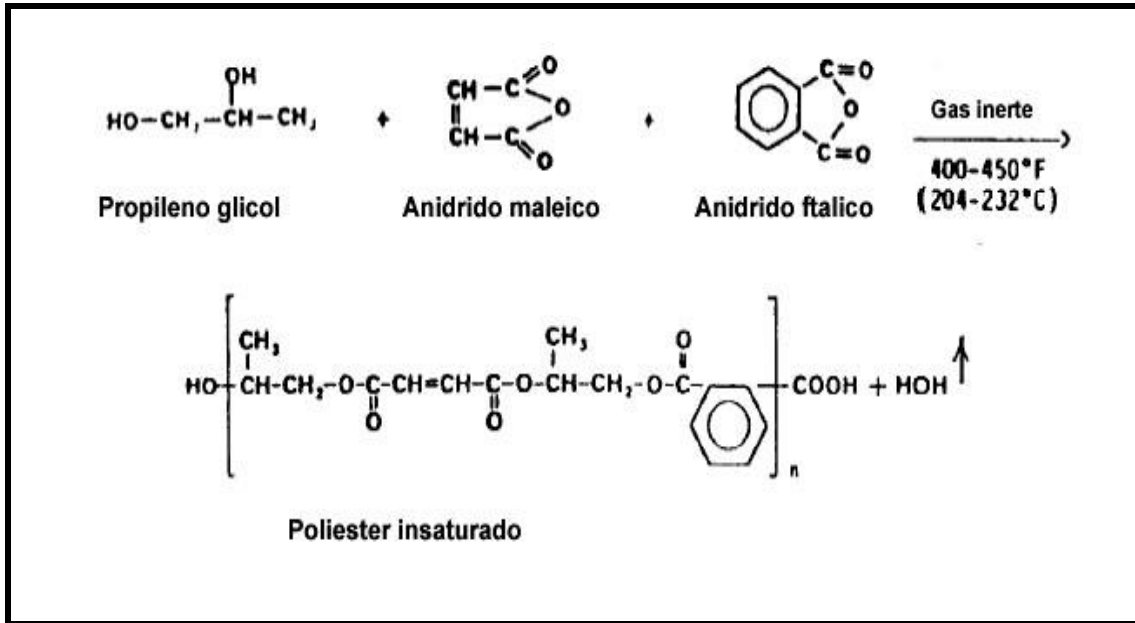


Figura 2.4: Representação da reação de obtenção do poliéster insaturado. Fonte: NÓBREGA, 2007.

### 2.4.3 Poliéster ortoftálico

Os poliésteres denominados ortoftálicos são considerados, do ponto de vista de aplicação, como de uso geral, e são assim chamados, por terem como ácido, o ácido ortoftálico (Figura 2.5).

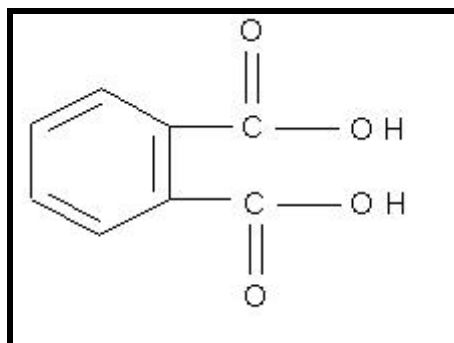


Figura 2.5: Estrutura química do ácido ortoftálico. Fonte: NÓBREGA 2007

A resistência química de um poliéster está ligada principalmente ao seu índice de acidez, quantidade de grupos ésteres formados e densidade das ligações cruzadas. Quando se produz uma resina poliéster insaturada partindo-se do ácido ortoftálico (Figura 6), os dois radicais ácidos interferem entre si na cadeia do polímero em formação, fazendo com que essa cadeia seja mais curta. Essa interferência ocorre com o ácido ortoftálico em razão da proximidade desses radicais ácidos na molécula do material. Além disso, uma resina com presença de ácido é muito difícil de ser produzida com baixo índice de acidez, sem usar o artifício de adicionar um excesso de glicol no momento da reação. Esta adição de glicol em excesso, prejudica a resistência química do polímero final em razão da afinidade que este tem pela água.

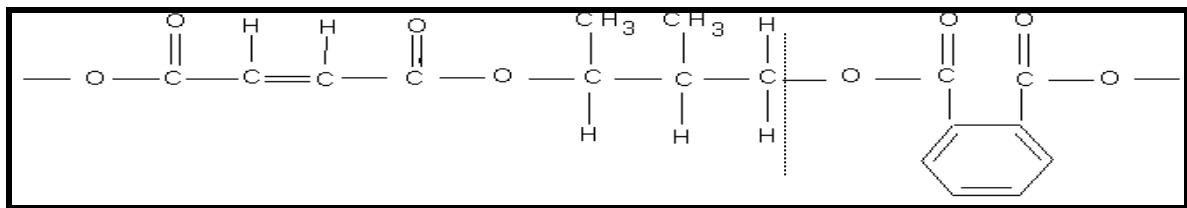


Figura 2.6: Estrutura química da resina poliéster ortoftálico. Fonte: NÓBREGA 2007

## 2.5 INTERFACE MATRIZ-FIBRA

Um dos parâmetros mais importantes em materiais compósitos, com uma ou mais fases contínuas, é a interface entre o reforço e a matriz. A interface é a região onde ocorre o contato entre os componentes do compósito. A região interfacial é a principal responsável pela transferência da sollicitação mecânica da matriz para o reforço. A adesão inadequada entre as fases envolvidas na interface poderá provocar o início das falhas, comprometendo o desempenho dos compósitos (SANTOS, 2006)

É bem conhecido que o comportamento de diversos sistemas multicomponentes tais como materiais compósitos, blendas poliméricas e camadas pigmentadas, dependem não somente da composição, morfologia e das

propriedades dos constituintes, mas também da natureza da região interfacial (NÓBREGA, 2007).

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.

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 (NÓBREGA, 2007).

A maior dificuldade no processo de compatibilização entre os componentes do compósito é combinar as diferentes características químicas destes. Em razão das diferentes naturezas das ligações químicas envolvidas e da diferença entre os coeficientes de expansão térmica, a adesividade na interface torna-se um parâmetro bastante complexo no desenvolvimento de compósitos (SANTOS, 2006).



## 2.6 FIBRA DE LUFFA CILÍNDRICA

Luffa é o nome genérico de um grupo de espécies conhecidas como esponjas vegetais, são ervas anuais e perenes, rastejantes ou escandentes por meio de gravinhas, com representantes em quase todo o mundo, apesar da sua preferência pelas regiões tropicais, conhecida como bucha vegetal ou buchinha. A bucha é um produto vegetal de largo emprego doméstico e cosmético. De Nome científico *Luffa cylindrica* (L.) Roem (Figura 2.7). Originário da Ásia tem frutos alongados, com 0,5 a 1,6 metros de comprimento, dotados de fibras finas, resistentes, elásticas e macias é uma planta da família Cucurbitácea e, assim como as abóboras, melão, pepino, entre outras (GONZATTO, TANOBE, SYDENSTRICKER, 2002).



Figura 2.7 Luffa cilíndrica (bucha vegetal).Fonte:Sebrae, 2008.

As fibras de esponjas de Luffa Cilíndrica M. Roem (Figura 2.8), possui características intrínsecas desejadas para sua utilização como reforço em materiais compósitos.

Sua estrutura natural quando seccionada exibe uma manta com orientação de fibras longitudinais (manta interna) e também um emaranhado de fibras (figura 2.9) menos organizadas (manta externa) que pode ser explorada para a confecção de compósitos poliméricos de forma rápida e eficiente (GONZATTO, TANOBE, SYDENSTRICKER, 2002).



Figura 2.8: Luffa cilíndrica

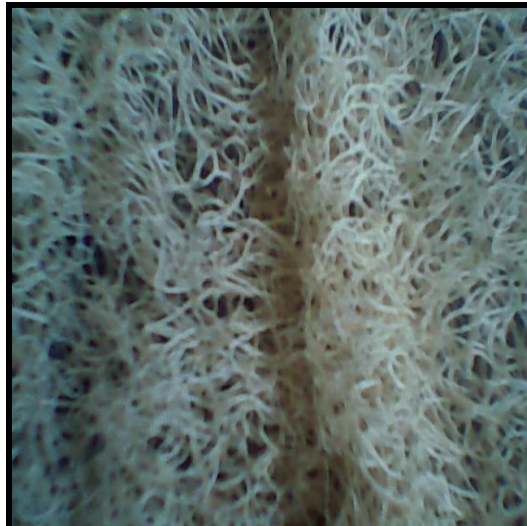


Figura 2.9: Manta da luffa ( estrutura emaranhado da fibra)

### 2.6.1 Composição Química da Luffa

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- $\beta$ -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. A figura 2.10 mostra a estrutura da celulose.

As hemiceluloses também são polissacarídeos, porém diferem da celulose por serem constituídas de vários tipos de unidades de açúcares, além de serem polímeros ramificados e de cadeias mais curtas.

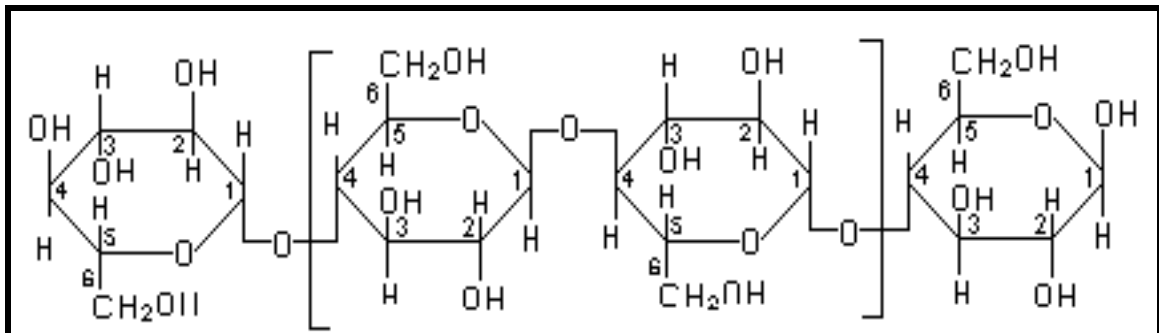


Figura 2.10: Estrutura da celulose. Fonte: NÓBREGA, 2007.

A lignina é um polímero amorfo, de composição química complexa e de estrutura ainda não totalmente caracterizada; confere firmeza e solidez ao conjunto de fibras de celulose; difere dos polissacarídeos pela sua resistência à hidrólise ácida e pela sua alta reatividade com agentes oxidantes.

Os materiais estranhos incluem compostos orgânicos de diversas funções químicas e, compostos inorgânicos, em menor quantidade. Estes, solúveis em solventes orgânicos, em água, ou ainda em ambos, são normalmente denominados extrativos (NÓBREGA, 2007).

A tabela 5 demonstra os constituintes presentes na Luffa Cilíndrica, onde se percebe um elevado teor de hemi-celulose quando comparados com outras fibras vegetais.

Tabela 5- Caracterização dos constituintes presentes na microestrutura das fibras do vegetais.

<b>Fibras</b>	<b>Celulose</b>	<b>Hemi-celulose</b>	<b>Lignina</b>	<b>Água</b>
Sisal	65,8	12,0	9,9	10,0
Juta	64,4	12,0	11,8	10,0
Algodão	82,7	5,7	-	10,0
Caroá	35,5	17,9	30,1	-
Luffa Cilíndrica	62	20	11,2	9,10

Fonte: Nobrega (2004), E. J. Siqueira; K. M. Novack; R. F. Bianchi; V. R. Botaro (2003).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 MATRIZ POLIMÉRICA

Para a confecção dos compósitos, foi usada como matrix 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.

##### 3.1.2 Fibras de Luffa

As fibras de luffa (Figura 3.1) foram adquiridas no comércio local da cidade de Marabá- PA foram obtidas pelo método tradicional de extração de fibras na região, utilizando o processo manual. As melhores e sem defeitos foram cortadas no comprimento de 17 cm para a confecção de mantas (Figura 3.2) pelo método de compressão em molde de aço de dimensões internas de 140x170x3mm. As fibras foram secas em estufa a 50 °C por 48 horas.



Figura 3.1 Fibra de luffa cilíndrica



Figura 3.2 Manta de Luffa

### 3.1.3 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 15, 36 e 46 g de fibras de Luffa previamente secas, depois pesou-se a placa do compósito produzido. Com os pesos obtidos determinou-se o teor de fibras (em massa) da seguinte forma:

$$TF (\%) = (PT/PL) \times 100$$

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 3.3(a) foi untado com cera de polimento automobilístico para auxiliar a desmoldagem. O catalisador MEK-P foi acrescentado à resina e parte desta mistura vertida no molde. As fibras de Luffa previamente pesadas e secas foram colocadas no molde de maneira aleatória e pressionadas com auxílio de uma espátula para garantir a sua total impregnação.

Por fim, verteu-se um excesso de resina, quando a resina estava próxima do ponto de gelificação o molde foi fechado e colocado em uma prensa hidráulica Figura 3.3 (b) com 8 toneladas de força de fechamento por 8 horas, a temperatura ambiente.

As placas mostradas na Figura 3.4 obtidas foram submetidas a pós-cura por 48 horas a 50 °C, para posterior usinagem dos corpos de prova.



(a) (b)  
**Figura 3.3.** Molde metálico utilizado para confecção dos compósitos com diferentes teores de fibras de Luffa cilíndrica com auxílio da prensa hidráulica.



Figura 3.4: Placas da fibra de luffa



### 3.1.2 Confeção dos Corpos de Prova e Experimento

#### 3.1.2.1 Ensaios Mecânicos

Os corpos de prova foram serrados manualmente a partir das placas produzidas por compressão para a avaliação da influência do teor de fibra nas propriedades mecânicas foram realizados ensaios mecânico de tração. O ensaio de tração foi conduzido em uma máquina universal LOYD.LR 10 KN, em temperatura ambiente com uma velocidade de 1mm/min tendo como base a norma ASTM D-3039, conforme mostrado na figura 3.5 (a) e (b).



(a)



(b)

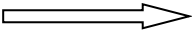
Figura 3.5: a) máquina de ensaios mecânicos EMIC DL 10KN; b) amostras dos corpos de prova.



#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram utilizados os seguintes corpos de prova para o ensaio, conforme a tabela 6:

TABELA 6: Corpos de prova utilizados

Teor de fibra	Corpos de prova
0	6
17,72	6
47,87	6
74,87	6
Total 	24 corpos de prova

Depois 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 resultados obtidos nos ensaios de tração estão mostrados na Tabela 7 e ilustrados na (Figura 4.2).

TABELA 7: resultados obtidos nos ensaios de tração

<b>Teor de Fibra de Luffa (%)</b>	<b>Resistência a Tração (MPa)</b>	<b>Módulo de Young (GPa)</b>	<b>Alongamento da Ruptura (%)</b>
0	17,0 ± 2,57	2,13 ± 0,08	1,27 ± 0,33
17,72	6,99± 0,93	0,70± 0,6	3,30 ± 1,7
47,87	9,06± 0,61	1,88± 0,10	4,96 ± 2,40
74,87	11,23±0,35	0,35± 0,14	5,50 ± 1,90

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, 1997).

É observado na (figura 4.1) que as resistências à tração dos compósitos reforçados com fibra de Luffa apresentam resistências inferiores à da matriz para qualquer teor de fibra estudado. Este fato se dá devido à fraca interação fibra-matriz. A performance das fibras de luffa como reforço em compósitos é insatisfatória mesmo quando comparada com outras fibras vegetais. Este fato pode ser atribuído a fatores como o baixo teor de celulose, altos teores de lignina e hemicelulose.

Comparando os resultados obtidos por Nóbrega, 2007, com compósitos reforçados por fibras de caroá, podemos perceber que os compósitos reforçados com fibras de luffa apresentaram comportamento inferior nas propriedades mecânicas. Sendo que o compósito de caroá com teor de 32% de fibra apresentou resistência a tração de 55 MPa.

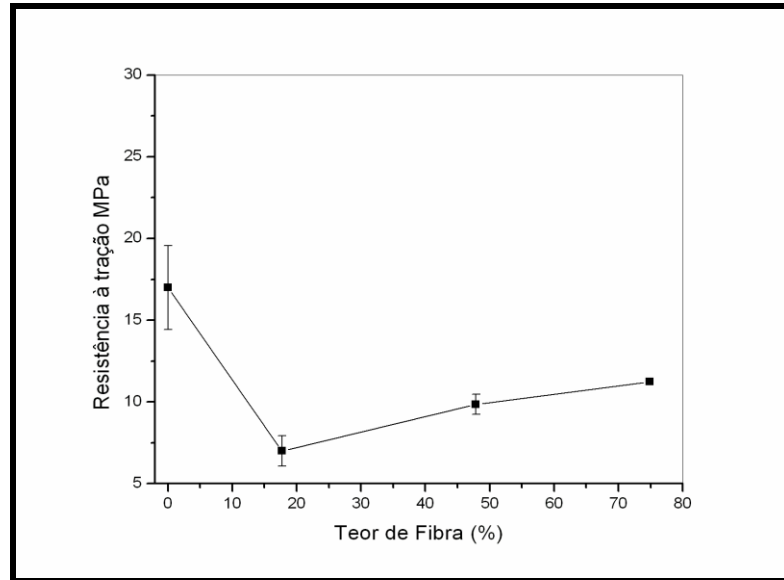


Figura 4.1: Resistência à tração dos compostos em função do teor de fibras de Luffa.

A figura 4.2 mostra o comportamento do módulo de Young (módulo de elasticidade) dos compostos em função do teor de fibras. Fica evidenciado que não houve um aumento em relação aos valores da resina pura para todos os teores de fibra estudados. Este fato pode ser explicado pela fraca adesão da fibra com a matriz polimérica.

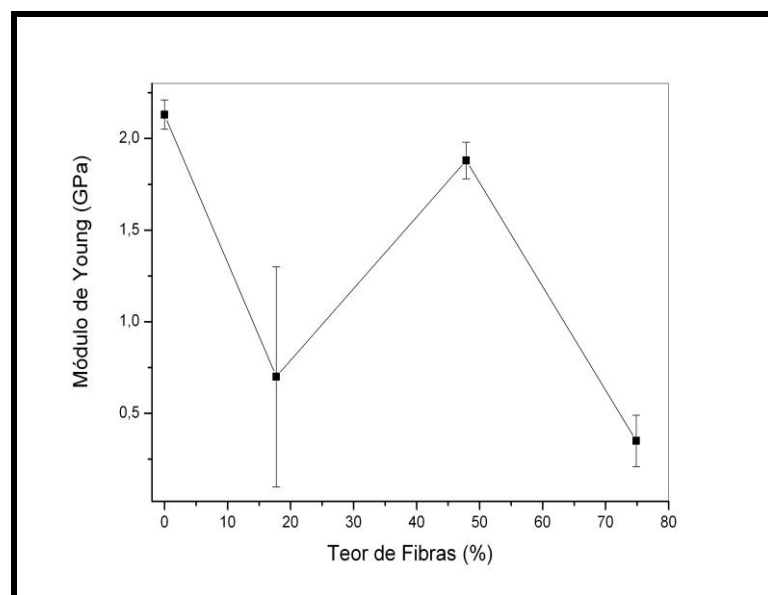


Figura 4.2 :Módulo de elasticidade do composto em função do teor de fibras de Luffa

Na Figura 4.3 podemos perceber que mesmo não havendo a interação das fibras na matriz poliéster houve um aumento no alongamento do compósito, que se mostrou maior que a da matriz pura para todos os teores de fibras estudados. Isto é atribuído à característica intrínseca de cada fibra que apresenta um maior alongamento que a matriz.

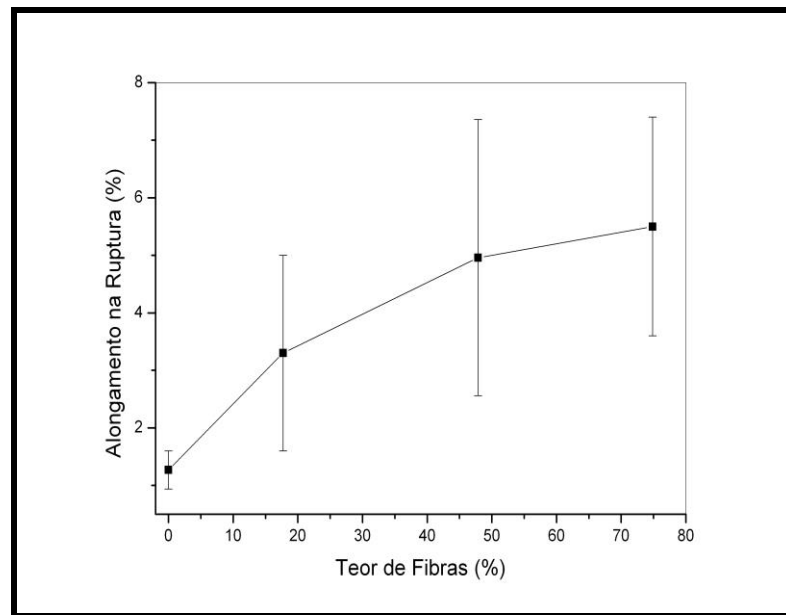


Figura 4.3: Alongamento na ruptura dos compósitos em função do teor de fibras de Luffa.

## 6 CONCLUSÃO

Concluimos que não houve um aumento nas propriedades de resistência a tração e nem no módulo de Young dos compósitos estudados, devido à fraca adesão fibra-matriz e, portanto não funcionando como reforço.

O comportamento mecânico do compósito conforme estudados nas literaturas (SANTOS, 2007; TANOBE, 2002), pode ter sido influenciado pelo alto teor de hemicelulose e lignina presentes na Luffa que afeta diretamente a adesão fibra-matriz.

Podemos então concluir que as fibras de luffa não são adequadas, na forma in natura, para compósitos, com matriz polimérica.

## 7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

As fibras de Luffa, material abundante na natureza e com consumo crescente, são uma fonte bastante interessante de estudos principalmente pela sua característica de preservação do meio ambiente. Os resultados dos compósitos de poliéster insaturado e fibras de Luffa deste trabalho ficaram abaixo das expectativas e devem ser mais detalhadamente explorados em outras abordagens.

Para se obter melhores propriedades mecânicas é necessário que as fibras sejam submetidas a tratamentos químicos como:

- Lavagem: básica (NaOH) ou sabão (detergente);
- Uso de acetilação (é um tratamento químico, ou seja, de acetilação de grupos, sobre a estrutura e a morfologia superficial de fibras de bucha (*Luffa cylindrica*)).

## 8 BIBLIOGRAFIA

APC (American Plastic Council). Plastic vehicles: **making inroads in the automotive world**, April 1999. Disponível em: <[www.americanplasticscouncil.org](http://www.americanplasticscouncil.org)>. Acesso em 22 Maio. 2009

BMW GROUP, **Renewable raw materials in car production**. Disponível em <<http://www.nnfcc.co.uk/nnfcclibrary/productreport/download.cfm?id=78#search=%22mw%20renewable%20raw%20materials%22%22>>. Acesso em 9 Dezembro. 2004

CANEVAROLO, S.V. **Técnicas de caracterização de polímeros**. São Paulo: Artliber Editora Ltda, 2005

E. J. SIQUEIRA; K. M. NOVACK; R. F. BIANCHI; V. R. BOTARO). **Avaliação da resistência à tração e absorção de água de compósitos de resina estervinílica reforçados com fibras da luffa cylindrica mercerizadas e esterificadas com os dianidridos btda e pmda**. Universidade Federal de Ouro Preto / ICEB Universidade Federal de São Carlos / Campus Sorocaba. Minas Gerais-BH.2004.

Elaine C. Andrade, Múcio M. S. Nóbrega. **Compósitos De Matriz Poliéster Reforçados Com Fibras De Babaçu *Orrbignya Speciosa*** : Caracterização Mecânica. Universidade Federal do Pará – FEMAT. 10 ° Congresso de Anual da CBPOL. Foz do Iguaçu- PR. 2009.

GARCIA AMAURI. **Ensaio de Materiais**. Unicamp. São Paulo: Editora JC, 2000.

MANO, E.B. Marco, **Introdução a Polímeros**. Rio de Janeiro: Editora Edgard Blucher Ltda 1985.

MANO, Eloisa Biasotto. **Polímeros como materiais de engenharia**. São Paulo: Editora Blucher, 1991, p. 124 a 125.

NÓBREGA, M. M. S. **Propriedades mecânicas de compósitos de matriz poliéster reforçados por tecidos híbridos juta/vidro**. 68f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, Paraíba, 2006.

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. PB, 117f, 2007.

SANTOS, M. A; **Estudo de compósitos híbridos polipropileno / fibras de vidro e coco para aplicações em engenharia**. Curitiba. Dissertação de Mestre em Engenharia, Programa de Pós- Graduação em Engenharia Mecânica, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, 2006.

William D. Callister, JR. Janeiro de 1999, **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. Quinta Edição.

SEBRAE (**Serviço Brasileiro de Empreendimentos**). Disponível em: [WWW.Sebrae.com.br](http://WWW.Sebrae.com.br). Acesso em 15 de junho. 2009.

T. R., SYDENSTRICKER, T H. D., AMICO, S. C. **Fibras Vegetais Utilizadas Como Sorventes No Setor Do Petróleo**. Curitiba, PR. 2004. Congresso anual CEBECIMAT.

TANOBE, V.O.A, TORQUATO, L.P., AMICO, S.C., SYDENSTRICKER, T.H.D, 2002, **Caracterização De Compósitos De Matriz Poliéster Reforçados Por Fibras De Luffa Cilíndrica**. Universidade Federal do Paraná Centro Politécnico Depto. de Engenharia Mecânica *Aceito no CEBECIMAT, 2002*.

UNICAMP. Instituto de Economia. Estudo da competitividade das cadeias integradas no Brasil: **Impactos das Zonas de Livre Comércio**. Cadeia: Plásticos. Campinas, 2002.