

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

**" PROPRIEDADES MECÂNICAS DE COMPÓSITOS DE
MATRIZ POLIÉSTER REFORÇADOS POR TECIDOS
HÍBRIDOS JUTA / VIDRO "**

MÚCIO MARCOS SILVA NÓBREGA

CAMPINA GRANDE - PARAÍBA

MARÇO - 2000

MÚCIO MARCOS SILVA NÓBREGA

**" PROPRIEDADES MECÂNICAS DE COMPÓSITOS DE
MATRIZ POLIÉSTER REFORÇADOS POR TECIDOS
HÍBRIDOS JUTA / VIDRO "**

**Dissertação Apresentada ao Curso de
Mestrado em Engenharia Química da
Universidade Federal da Paraíba, em
Cumprimento às Exigências para
Obtenção do Grau de Mestre.**

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO : Tecnologia
de Materiais Não-Metálicos**

**Orientador : Profª. Drª. Laura Hecker de
Carvalho
UFPB/CCT/DEMa**

Campina Grande - Paraíba

Março - 2000



678.02:66.095.26

N754p

Nóbrega, Múcio Marcos Silva

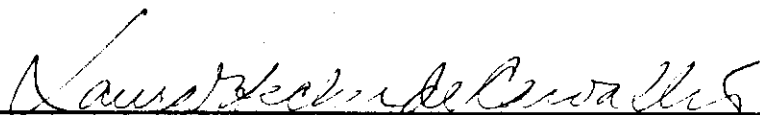
Propriedades mecânicas de compósitos de matriz poliéster reforçado por tecidos híbridos juta-vidro/ Múcio Marcos Silva Nóbrega. – Campina Grande : UFPB, 2000.

p.56: il.


Dissertação de mestrado

1. Polímeros compostos
2. Compósito polimérico
3. Tecidos híbridos
4. Matriz termofixa

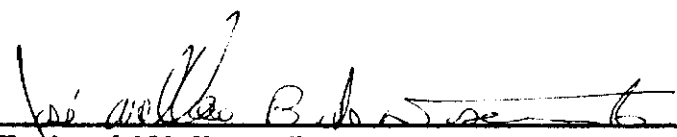
Dissertação defendida e aprovada em 31 de março de 2000, pela banca Examinadora constituída dos seguintes professores :



Profª. Laura Hecker de Carvalho, Ph.D
Orientadora



Profº. Marcelo Silveira Rabello, PhD
Examinador



Profº. José Wallace Barbosa do Nascimento, PhD
Examinador

Campina Grande - Paraíba
Março - 2000

DEDICATÓRIA

À meu filho Vinicius, que
este trabalho seja fonte
de estímulo para seu futuro.

AGRADECIMENTOS

- À Professora Laura Hecker de Carvalho, pela paciência, orientação, revisão, sugestão e discussão durante todo decorrer deste trabalho;
- Aos meus pais, Francisco Virgolino e Maria Alice
- À Coordenação de Pós-Graduação em Engenharia Química;
- Aos colegas de mestrado, pelo companheirismo durante todo o curso ;
- À RESANA S/A e Ind. TÊXTIL CASTANHAL, pelo material fornecido neste trabalho;
- Ao Lar do Garoto, especialmente ao Sr. Moisés e Leandro, pela confecção do tecido híbrido;
- À CAPES pelo financiamento deste trabalho;
- A todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA GERAL	3
2.1 COMPÓSITOS.....	3
2.1.1 DEFINIÇÃO.....	3
2.2 MATRIZ POLIMÉRICA.....	5
2.3 REFORÇOS.....	6
2.4 COMPÓSITOS REFORÇADOS POR FIBRAS.....	8
2.5 COMPÓSITOS REFORÇADOS POR FIBRAS VEGETAIS.....	9
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA ESPECÍFICA.....	13
3.1 MATRIZ POLIÉSTER.....	13
3.2 FIBRA DE JUTA.....	14
3.3 FIBRA DE VIDRO.....	16
3.4 COMPÓSITOS REFORÇADOS COM FIBRAS DE JUTA.....	17
3.5 COMPÓSITOS HÍBRIDOS.....	20
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	23
4.1 MATERIAIS.....	23
4.1.1 MATRIZ POLIMÉRICA.....	23
4.1.2 REFORÇO.....	23
4.2 MÉTODO.....	25
4.2.1 PREPARAÇÃO DOS COMPÓSITOS.....	25
4.2.2 ENSAIOS MECÂNICOS.....	26

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
5.1 INTRODUÇÃO.....	27
5.2 EFEITO DO TEOR DE TECIDO HÍBRIDO NA RESISTÊNCIA A TRAÇÃO..	28
5.3 EFEITO DO TEOR DE TECIDO HÍBRIDO NO MÓDULO DE YOUNG.....	36
6. CONCLUSÕES.....	44
7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS POSTERIORES.....	46
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47
9. ANEXO	54

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1 - Tecido híbrido tramado, fibras de juta/vidro.....24
- FIGURA 2 - Corpos de prova para ensaio de tração.....25
- FIGURA 3 - Efeito do teor de tecido híbrido na resistência dos compósitos ensaiados na direção da juta.....29
- FIGURA 4 - Efeito do teor de fibras e do tipo de tecido na resistência a tração na ruptura de compósitos poliéster/tecido algodão/juta e juta/vidro, testados na direção das fibras de juta.....31
- FIGURA 5 - Arranjo das fibras de juta dispostas no urdume do tecido híbrido....32
- FIGURA 6 - Efeito do teor de fibras na resistência à tração na ruptura de compósitos reforçados por tecido híbrido juta/vidro, ensaiado na direção das fibras de vidro.....33
- FIGURA 7 - Resistência a tração na ruptura x teor de tecido com direção mista.....34
- FIGURA 8 - Efeito do teor de fibras na resistência a tração na ruptura de compósitos poliéster/tecido de vidro.....35
- FIGURA 9 - Efeito do teor e da orientação das fibras no ensaio na resistência à tração dos compósitos estudados.....36
- FIGURA 10 - Efeito do teor de fibras no módulo de compósitos poliéster/tecido juta-vidro, testados na direção das fibras de juta.....37
- FIGURA 11 - Efeito do teor de fibras no módulo de compósitos poliéster/tecido juta-vidro, testados na direção das fibras de vidro.....38
- FIGURA 12 - Efeito do teor de fibras no módulo de compósitos poliéster/tecido juta-vidro, testados com orientação mista.....40
- FIGURA 13 - Efeito do teor de fibras no módulo de compósitos reforçado por tecido de fibras de vidro.....41
- FIGURA 14 - Efeito do tipo, do teor, da orientação do ensaio no módulo de Young, dos compósitos estudados.....41
- FIGURA 15 - Efeito do teor e da orientação dos reforços no alongamento na ruptura dos compósitos estudados.....42

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. Propriedades da resina poliéster RESAPOL 10-225.....	14
TABELA 2. Características e propriedades da fibra de juta.....	16
TABELA 3. Características da fibra de vidro.....	17
TABELA 4. Ensaio realizado, com tecido híbrido, na direção das fibras de juta.....	ANEXO I
TABELA 5. Ensaio realizado, com tecido híbrido, na direção das fibras de Vidro.....	ANEXO I
TABELA 6. Ensaio realizado, com tecido de fibras de vidro.....	ANEXO I
TABELA 7. Ensaio realizado, com tecido híbrido, com direções 0/90° em relação as fibras de juta (Misto).....	ANEXO I

PROPRIEDADES MECÂNICAS DE COMPÓSITOS DE MATRIZ POLIÉSTER REFORÇADOS POR TECIDO HÍBRIDO JUTA / VIDRO

Autor : Múcio Marcos Silva Nóbrega

Oriendadora : Prof. Laura Hecker de carvalho

RESUMO

Neste trabalho estudou-se o comportamento mecânico de compósitos de matriz poliéster, reforçado por um tecido híbrido tramado juta/vidro em função do teor de fibras e orientação do tecido. O tecido híbrido era composto por 44% em peso de fibras de juta no urdume e 56% em peso de fibras de vidro na trama.

Produziu-se compósitos com 1 a 6 camadas de reforço híbrido e determinou-se suas propriedades mecânicas em função do teor de fibras e da direção de solicitação do ensaio. Os compósitos foram testados longitudinalmente à trama (fibras de vidro) e ao urdume (fibras de juta). Desenvolveu-se e determinou-se as propriedades tênséis de compósitos com 2, 4 e 6 camadas de reforço híbrido disposto em sequências de empilhamento de 0/90°. As propriedades de compósitos reforçados por um tecido tramado de fibras de vidro contendo 1 a 6 camadas de reforço também foram determinadas.

Os resultados indicam que, como esperado, houve um aumento nas propriedades mecânicas de todos os compósitos com o aumento do teor de reforço. Os compósitos reforçados por tecidos híbridos, quando testado na direção das fibras de vidro apresentaram propriedades mais elevadas do que quando testados na direção das fibras de juta, o que foi atribuído às propriedades dos componentes individuais do tecido e ao fato das fibras de juta estarem dispostas no urdume. Os compósitos reforçados por tecidos híbridos com seqüência de empilhamento 0/90°, apresentaram propriedades intermediárias às obtidas quando comparadas às de compósitos equivalentes testados no sentido longitudinalmente às fibras de vidro ou às fibras de juta. As propriedades mais elevadas foram obtidas para os compósitos reforçados com tecido tramado de fibras de vidro.

MECHANICAL PROPERTIES POLYESTER COMPOSITES REINFORCED BY HYBRID JUTE/GLASS CLOTHS

Author : Múcio Marcos Silva Nóbrega

Adviser : Prof. Laura Hecker de Carvalho

ABSTRACT

In this work the mechanical properties of unsaturated polyester composites reinforced by a hybrid jute/glass woven cloth were determined as a function of fiber content and cloth orientation. The hybrid cloth had jute fibers (44 wt%) on the warp and glass fibers (56 wt%) on the weft directions.

Composites reinforced by up to 6 layers of hybrid cloth were produced and their mechanical properties determined as a function of fiber content and orientation. The composites were tested along the warp (jute) and the weft (glass) directions. Composites having 2, 4 and 6 layers of hybrid cloth disposed in 0/90° stacking sequences were also produced and their tensile properties were determined as a function of fiber content. The mechanical properties of unsaturated polyester composites reinforced by up to 6 layers of glass cloths were also determined.

As expected, the results showed that the mechanical properties of every composite under investigation increased with the overall fiber content. Composites reinforced by hybrid cloths, when tested along the glass direction, showed higher mechanical properties than when tested along the jute fiber direction which was attributed to the properties of the individual components of the cloth and also to the fact that the jute fibers were on the warp direction. The composites reinforced by hybrid cloths disposed in 0/90° stacking sequences exhibited intermediate properties when compared with equivalent composites tested along the glass or the jute fiber directions. Higher overall mechanical properties were obtained for the composites reinforced by the glass fiber cloths.

SIMBOLOGIA

- MEK - P . Peróxido de metil etil cetona.
- (L/D). Razão de aspecto, comprimento em função do espessura.
- NaOH. Hidróxido de sódio.
- ASTM. American Standards for Testing and Materials

Desde o início dos tempos, vem o homem executando trabalhos de engenharia progressivamente mais complexos, com a finalidade de suprir abrigo e propiciar conforto para si e seus dependentes, protegendo-se dos perigos e das intempéries (Mano, 1991).

O primeiro elemento estrutural, isto é, o primeiro material de engenharia usado pelo homem, foi a madeira, seguindo-se a pedra, depois os metais, a cerâmica, o vidro e finalmente os polímeros, (Mano, 1991).

Os materiais compósitos ou conjugados para aplicações mais sofisticadas só apareceram em larga escala na primeira metade do século XX, com o advento da produção comercial de algumas resinas plásticas. Inicialmente estas resinas foram reforçadas com fibras naturais como asbesto, com madeira, com tecidos, com serragem etc. A partir de 1940, após o desenvolvimento da fabricação de fibra-de-vidro, o uso de materiais compósitos polímeros/fibra-de-vidro teve um impulso muito grande e deu origem a atual era dos materiais compósitos avançados. O período pós-Segunda Guerra Mundial proporcionou um acentuado avanço do uso dos compósitos, principalmente, nas indústrias aeroespacial, aeronáutica, automobilística, naval e elétrica-eletrônica, (Hage, 1989).

Nos dias atuais a conjugação de propriedades através dos materiais compósitos atingiu tamanha importância que o futuro da aplicação de materiais está baseado no desenvolvimento dos compósitos, (Hage, 1989).

Os compósitos mais utilizados são os que envolvem matriz polimérica e fibras sintéticas, principalmente fibras de vidro. A forte consciência ecológica – as fibras de vidro não são biodegradáveis e nem estes compósitos são recicláveis – e o fator cancerígeno associado a algumas das fibras sintéticas, fizeram com que

2.1 COMPÓSITOS

2.1.1 DEFINIÇÃO

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 constituem 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), (Mano, 1991).

Compósitos são materiais constituídos de dois ou mais materiais unidos por combinação física, sendo um a fase contínua, chamado matriz, e outra, a fase dispersa, chamada de reforço. Estes reforços podem ser da forma de fibras, partículas ou plaquetas. Nos compósitos, os reforços são imersos na matriz e cada constituinte permanece com suas características individuais (Flinn, 1981).

Os materiais compósitos podem ser classificados quanto ao tipo de reforço em:

a) Compósitos fibrosos

São caracterizados por apresentarem reforços com elevada razão de aspecto. As fibras podem ser usadas de forma unidirecional, bidirecional ou aleatória, produzindo compósitos com diferentes propriedades.

b) Compósitos particulados

Consistem de compósitos reforçados por partículas de razão de aspecto próximo de 1, dispersas na matriz. Estas partículas podem ou não serem metálicas.

c) Compósitos laminados

Apresentam reforços de materiais distintos dispostos em camadas e unidos em um único bloco.

d) Compósitos híbridos

São caracterizados por apresentarem reforços de diferentes materiais. Podem ser em forma de lâminas ou em caso de reforços fibrosos, tramados.

O exemplo mais significativo e representativo de materiais compósitos são os pneumáticos (pneus automobilísticos) onde temos vários tipos de materiais distintos (Rohatgi e Weaver, 1990).

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 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 (Hage, 1989).

A interface domina as propriedades de tenacidade na fratura de compósitos e a sua resposta aos ambientes corrosivos e aquosos. Compósitos com interface fraca têm relativamente baixa resistência e baixa rigidez, mas alta resistência à fratura, enquanto compósitos com forte interface têm alta resistência e alta rigidez, mas são frágeis, (Batista,1995).

2.2 MATRIZ POLIMÉRICA

Várias resinas termoplásticas e termofixas têm sido utilizadas como matrizes em compósitos, devido ao fato de exibirem excelentes propriedades mecânicas, tais como: resistência a solventes, bem como temperaturas elevadas. Estima-se que mais de três quartos de todas as matrizes de compósitos poliméricos sejam constituídas por polímeros termofixos (Paiva, 1999).

Os materiais poliméricos destacam-se pela sua baixa densidade e fácil conformação, além da elevada resistividade elétrica. Sua estrutura é constituída de macromoléculas formadas a partir de ligações covalentes e coesas entre si por fracas interações intermoleculares. Na maioria das aplicações em forma de compósitos os polímeros atuam como matriz aglomerante do reforço (Nielsen, 1974; Hage,1989).

A matriz une as fibras em uma unidade estrutural e as protege de agentes externos, transfere e distribui as cargas aplicadas para as fibras, e em muitos casos contribui com propriedades como ductilidade, dureza ou isolamento elétrico dos compósitos (Gibson, 1994).

A principal função da matriz polimérica é dispersar ou aglomerar a fase reforçante, e quando submetida a uma tensão deve deformar o necessário a fim de distribuir e transferir as tensões para o componente de reforço. A escolha de uma matriz para uma aplicação estrutural deve ser limitada, inicialmente, ao nível de deformação que ela sofre em relação ao reforço, quando submetida a uma solicitação. A deformação da matriz deve ser compatível com a deformação máxima do reforço (Hage, 1989; Nielsen, 1974).

As matrizes poliméricas podem ser constituídas de polímeros termofixos, termoplásticos ou elastômeros. Para compósitos de alto desempenho, a maior parte das matrizes poliméricas são a base de resinas termofixas, destacando-se as resinas epoxi, poliéster, fenólicas e, recentemente, poliamidas. O uso de termoplásticos convencionais e de engenharia como matrizes poliméricas tem se restringido a compósitos de médio desempenho. A limitada estabilidade térmica dos termoplásticos à elevadas temperaturas tem tornado seu uso restrito. Entretanto, a incorporação de reforços em matrizes termoplásticas tem crescido bastante para aplicações até 150 °C (Hage, 1989).

2.3 REFORÇOS

São denominados reforços aqueles constituintes que, de uma maneira ou de outra, modificam propriedades da matriz polimérica. Desde simples cargas minerais que são incorporadas aos polímeros, muitas vezes com o intuito de diluir custos, até fibras de ultra alta resistência podem ser considerados reforços. As cargas minerais proporcionam aumentos na rigidez, dureza e, algumas vezes, na temperatura de

distorção térmica. Os elastômeros promovem o aumento da resistência ao impacto de matrizes poliméricas frágeis. As fibras, pela sua característica unidirecional incrementam acentuadamente a maior parte das propriedades mecânicas em determinadas direções (Holliday, 1986; Schwartz, 1984; Nielsen, 1974; Hage, 1989).

As características do reforço que têm maior influência sobre as propriedades de compósitos são: a sua 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, divididos entre as duas fases (Batista, 1995; Schwartz, 1984; Nielsen, 1974).

Os reforços podem ser classificados de acordo com sua natureza e suas características geométricas, como segue:

- Quanto a natureza :

- . extremamente duros
- . resistentes a ruptura
- . rígidos
- . extremamente flexíveis
- . extremamente resistentes termicamente

- Quanto as características geométricas :

- . particulados
- . fibrosos
- . laminados

Os reforços particulados apresentam uma razão de aspecto (l/d), ou seja, a dimensão comprimento (l) em relação à espessura (d) próximo ou inferior à unidade. Os reforços fibrosos têm uma razão de aspecto muito característica, ou seja, l/d é muito superior a 1, geralmente acima de 100. As fibras podem ser contínuas ($l/d = \infty$) ou curtas ($l/d > 100$) (Hage, 1989; Holliday, 1986).

A ação dos reforços particulados é isotrópico, enquanto os reforços fibrosos e laminados favorecem um desempenho anisotrópico (Hage, 1989).

Nos últimos anos tem se observado um crescente interesse na utilização de fibras naturais como reforço de matrizes poliméricas para produção de materiais de baixo custo. As fibras naturais são reforços com grande potencialidade e seu uso tem se dado de forma mais tradicional do que científica. Elas têm se prestado a inúmeras aplicações ao longo de tempo, mas a aplicação da tecnologia dos materiais visando a sua utilização como reforço de matrizes poliméricas é relativamente recente (Joseph et al., 1999).

2.4 COMPÓSITOS REFORÇADOS POR FIBRAS

As fibras podem ser classificadas quanto a sua natureza em: naturais, artificiais e sintéticas. Dentre as fibras naturais, destacam-se: as fibras de juta, fibras de asbesto, fibras de sisal etc. As fibras sintéticas por sua vez são as mais utilizadas para reforçar de matrizes poliméricas. Destacam-se: as fibras de vidro, muito utilizadas como reforços e que hoje são usadas em maior volume; as fibras de grafita ou carbono, que apresentam excelentes propriedades mecânicas aliada ao

baixo peso; as fibras de boro; as fibras poliméricas obtidas a partir de poliamidas aromáticas na forma de cristal líquido (kevlar, nomex, etc); e, as fibras curtas obtidas através de whiskers de carbetto de silício (Mallick, 1993; Ashbee, 1993; Hage, 1989).

As fibras de vidro são responsáveis pelo reforço de quase 90% das resinas termofixas. As fibras longas e/ou contínuas, proporcionam os maiores valores de resistência mecânica (Mallick, 1990; Hage, 1989).

Em termoplásticos reforçados com fibras curtas, o escoamento do sistema matriz termoplástica / fibras, durante o processamento, altera significativamente a orientação dessas fibras. Como resultado, em compósitos de fibras curtas, moldados por injeção uma grande ênfase tem sido, então, colocada em correlacionar quantitativamente orientação/propriedades (Cintra, 1997).

Especialmente relacionado com fibras naturais curtas, deve ser acrescentado que o comportamento mecânico dos compósitos é fundamentalmente influenciado pelos seguintes fatores: composição química da fibra; natureza química de sua superfície; geometria, tamanho e orientação das fibras; condições de processamento (Mattoso, 1997).

2.5 COMPÓSITOS REFORÇADOS POR FIBRAS VEGETAIS

As fibras naturais foram utilizadas como reforço para materiais compostos desde o início de nossa civilização, quando foram usados capim e palha para reforçar tijolos de barro cru, também conhecidos como adobe. Os séculos passaram, e as fibras continuaram como parte importante de nosso progresso tecnológico. No passado a principal utilização das fibras naturais eram na produção de cordas,

cordões, roupas, tapetes e outros produtos de decoração (Carvalho, 1997; Mohanty e Misra, 1995).

As vantagens do uso de fibras vegetais como reforço em compósitos de matriz polimérica estão associadas ao seu bom conjunto de propriedades mecânicas, a provirem de fontes renováveis de matéria-prima, serem de baixo custo e pouco abrasivas aos equipamentos de processamento. As suas desvantagens para este tipo de aplicação estão associadas à sua biodegradabilidade, elevada higroscopicidade e baixa molhabilidade pelas resinas poliméricas (Roe & Ansell, 1985; Mohanty & Misra, 1995; Carvalho, 1997).

O desempenho mecânico destes compósitos é, entretanto, inferior ao dos compósitos reforçados por fibras sintéticas, como por exemplo, com fibras de vidro. Esta baixa performance mecânica tem sido atribuída a diversos fatores. Primeiramente, pode-se citar a variabilidade de propriedades intrínseca a um material natural, onde fatores tão distintos quanto a fertilidade do solo ou a duração de estação de chuvas podem alterar as propriedades mecânicas das fibras. Entretanto, o principal fator que diminui a competitividade dos compósitos reforçados por fibras naturais, em termos de propriedades mecânicas, é o desenvolvimento de interfaces fracas entre as fibras naturais e os polímeros normalmente empregados como matrizes, tal como as resinas poliéster e epoxi (Boynard et al. 1997).

Recentemente as fibras vegetais tem despertado grandes interesses, essas fibras tem produzido compósitos com melhores propriedades mecânicas, quando comparados com materiais sem reforço fibroso. Os estudos indicam que as fibras vegetais apresentam um bom potencial para uso como reforço em materiais termoplásticos e termorígidos. As fibras naturais apresentam muitas vantagens com

relação às fibras sintéticas, tais como: biodegradabilidade, baixo conteúdo energético, baixo custo, baixa densidade, alto módulo e resistência específica, não apresentam problemas para a saúde, uso reduzido de instrumentos para seu tratamento ou processamento, pode-se realizar modificações superficiais e viabiliza a preservação do meio ambiente. As fibras vegetais são muito baratas, em relação as fibras sintéticas e podem substituí-las em muitas aplicações que requeiram baixos esforços (Joseph, 1996; Paiva, 1999).

Joseph et al (1999a) estudaram a influência do comprimento e teor de fibras de sisal nas propriedades mecânicas do compósito de matriz poliéster insaturado. As propriedades destes compósitos foram comparadas a de outros semelhantes reforçados por fibras de sisal longas e alinhadas unidirecionalmente. Os resultados indicaram que as propriedades aumentaram com o comprimento das fibras e que o comprimento crítico situa-se na faixa de 35-45mm. A resistência dos compósitos aumenta com teores de fibra entre 20 e 50%. A teores menores do que 20%, o carregamento é ineficiente e, acima de 50% em peso há excessiva interação entre as fibras e as propriedades dos compósitos diminuem. Demonstrou-se que compósitos de matriz poliéster reforçados por fibras de sisal apresentam bom conjunto de propriedades mecânicas, adequados a várias aplicações.

Mattoso et al (1997) investigaram as propriedades mecânicas do compósito polipropileno-sisal, bem como a influência das condições de processamento no desempenho destes compósitos. Os resultados indicaram que as fibras de sisal podem ser utilizadas de maneira satisfatória para reforço de polipropileno visto que não ocorreu prejuízo significativo da resistência à tração e houve grande aumento da

rigidez e da resistência ao impacto. Além disso, o método de processamento influi decisivamente nas propriedades dos compósitos.

Chawla et al (1978) estudaram as características microestruturais, a resistência à tração e o módulo de elasticidade das fibras de carbono, Kevlar-29, sisal e vidro, e de seus conjugados, em diferentes frações volumétricas com resina poliéster como matriz. O objetivo principal era estudar a promessa de fibras de sisal como elemento de reforço, devido seu baixo preço e fartamente produzido no Nordeste do Brasil, para resina poliéster e comparar seu desempenho com outras fibras, tais como vidro, carbono e Kevlar-29. Concluíram que a fibra de sisal pode ser comparável à fibra de vidro quando se consideram as propriedades específicas.

3.1 MATRIZ POLIÉSTER

A resina poliéster insaturada pertence aos sintéticos termoestáveis, é geralmente fornecido na forma de líquido de alta viscosidade. São curados por meio de reação de polimerização, onde se obtém ligações moleculares tridimensionais (Arruda, 1994).

As resinas poliéster insaturadas derivam da reação de esterificação entre os ácidos saturados e não-saturados e os álcoois bifuncionais com liberação de água. As resinas poliéster rígidas insaturadas assim obtidas possuem consistência semi-sólida, termoplástica e são normalmente diluídas em solvente contendo grupos reativos. O diluente mais empregado é o monômero estireno, devido a razões técnicas e econômicas. A insaturação presente no grupo vinílico do estireno forma a ligação entre duas cadeias adjacentes de poliéster (Batista 1995).

A cura do poliéster é a transformação da resina termoplástica linear que se encontra no estado líquido para o estado sólido de estrutura molecular tridimensional (Filho, 1989).

A reação de cura ocorre através da interligação dos pontos de insaturação das cadeias moleculares, que é aberta por aplicação de radiação, pela elevação da temperatura ou com a adição de um sistema de cura químico, usando acelerador/iniciador.

Alguns peróxidos orgânicos podem decompor-se à temperatura ambiente, estes produzem radicais livres, pela dissociação da ligação oxigênio-oxigênio, que atacam as insaturações, abrindo duplas ligações das macromoléculas e dos

monômeros dando início à uma reação em cadeia que produz a total reticulação da resina (Filho, 1989.; Batista 1995).

TABELA 1. Propriedades da resina Poliéster RESAPOL 10-225.

Características	Propriedades
Tipo / Reatividade	Orto / Baixa
Pré - Acelerada	Sim
Viscosidade Brookfield à 25°C (CP)	250 - 350
Índice tixotrópico	Sim
Sólidos (%)	57 - 59
Índice de acidez (mgKOH/g)	30 máx.
Catálise	MEK-P (Metil Etil Cetona Peróxido) a 25°C
Tempo de gel	24 a 30 minutos
Temperatura de pico exotérmico (°C)	140 máx

3.2 FIBRA DE JUTA

As fibras naturais podem ser divididas, de acordo com sua natureza, em três grupos :

- a) Fibras vegetais - ex. : sisal, juta, algodão.
- b) Fibras animais - ex. : lã, seda.
- c) Fibras minerais - ex. : asbesto

De acordo com Carvalho (1997); Young (1997); Morassi (1994) e Raymond (1996) as fibras vegetais são as que mais tem despertado interesse. Estas são constituídas basicamente de celulose, e dependendo da parte da planta que for

obtida, podem ser classificadas como:

- a) Fibras de caule - ex.: juta, linho, kenaf, rami
- b) Fibras de folhas - ex.: bananeira, sisal, piaçava
- c) Fibras de fruto - ex.: côco, algodão
- d) Fibras de raiz - ex.: zacatão
- e) Fibras de capim - ex.: bambu, bagaço de cana-de-açúcar, junco.
- f) Fibras de madeira - ex.: eucalipto, pinho

A juta é uma fibra vegetal conhecida e usada há bastante tempo, é a Segunda fibra mais consumida no mundo, sendo tradicionalmente empregada na fabricação de cordas, sacaria, esteiras e produtos afins. Ela é obtida da haste da planta "*Corchorus capsularis*", cultivadas em áreas de inundações ou "*Corchorus olitorius*", cultivadas em áreas altas, seu comprimento varia entre 250 a 1500 mm, e apresenta uma razão de aspecto (L/D) igual a 125 (D' Almeida, 1987; Morrassi, 1994; Youg 1997).

As fibras de juta são consideradas fibras celulósicas duras por apresentarem alto módulo tênsil e baixa elongação na ruptura, assim como o linho e rami (Karmaker e Hinrichsen, 1991; Idriss et al, 1994).

A juta é composta por: lignina (12 - 14%), celulose (82 - 85%) e outros constituintes de menor proporção, como cêras (0,4 - 0,8%), substâncias minerais (3 - 4%), proteínas (0,8 - 1,5%) etc (Carvalho, 1997; Semsarzadeh e Amiri, 1985 ; Mohanty e Misra, 1995).

TABELA 2. Características e propriedades da fibra de juta.

Características	Propriedades
Comprimento da fibra	Fibra técnica 0,25 à 3,0 m
Diâmetro da fibra	Aproximadamente 25 μm
Densidade	1,5 g/cm^3
Higroscopicidade	Muito alta até 35% do peso seco. Em clima normal, absorve 12,5 a 14% de umidade. Tolerância combinada de umidade 17%
Comportamento com ácido e lixívia	Muito sensível a ácidos. Lixívia não prejudicam
Cor	Em geral cinza para marrom-avermelhado
Superfície da fibra	Lisa
Teste de combustão	Arde como outras fibras vegetais.

3.3 FIBRA DE VIDRO

As fibras de vidro são responsáveis por quase 90% do reforço utilizado em resinas termofixas, devido proporcionarem elevada resistência mecânica aos compósitos produzidos.

As fibras utilizadas com maior frequência como reforço em polímeros, apresentam uma formulação básica constituída por SiO_2 como componente principal, B_2O_3 como agente fluidizante e alguns óxidos modificadores tais como: Al_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O etc., cujas proporções definem os diversos tipos de vidro, (Mendes, 1992).

As fibras de vidro podem ser encontradas sob diversas formas para as mais diversas aplicações, tais como: roving, yarns, woven roving, chopped strand etc. As

fibras encontradas comercialmente para reforço em polímeros, são tratadas com a finalidade de aglutinar os filamentos e promover a adesão com as resinas poliméricas, através de agentes silanos organo-funcionais.

Tabela 3. Características da fibra de vidro.

	Densidade (g/cm ³)	Resistência a Tração (MPa)	Módulo de Young (GPa)	Alongamento na ruptura (%)
Fibra de vidro	2,6	1750 - 2000	70	2,1

Fonte: Schuh e Gayer (1997).

3.4 COMPÓSITOS REFORÇADOS COM FIBRAS DE JUTA

Estudos foram realizados visando o emprego de fibra de juta como reforço em compósitos de baixo custo, utilizando matrizes poliméricas de poliéster insaturado, epoxi e fenólica. Os resultados mostraram que as fibras de juta podem substituir as fibras de vidro em muitas aplicações, onde as propriedades mecânicas e resistência às intempéries não sejam muito rigorosas, sendo necessários estudos no sentido de melhorar a adesão fibra-matriz (Pal, 1994).

Dentre as fibras naturais, a fibra de juta é uma das mais produzidas em países do Terceiro Mundo, como Índia, China etc. Nas aplicações tradicionais em tapetes, cordas, sacos, etc, as fibras de Juta tem sido substituídas por fibras sintéticas, pois essas apresentam algumas vantagens quando comparadas às fibras vegetais. Neste sentido é importante o desenvolvimento de novas aplicações para as fibras de juta, em favor da economia destes países produtores (Karmaker & Hinrichsen, 1991).

Estudos tem sido realizados na preparação de compósitos poliméricos reforçados por fibras vegetais, mas seu uso limita-se à aplicações que necessitem de baixas propriedades mecânicas. Por exemplo, fibras de juta podem ser usadas em produtos como telhas, silos para armazenamento de grãos, paredes divisórias, caixas para instalações elétricas etc (Mohanty & Misra, 1995).

Gowda et al (1999) estudaram o comportamento de um compósito de matriz poliéster, reforçado com um tecido de fibras de juta e concluíram que, apesar deste compósito não possuir resistência a tração e módulo de elasticidade tão elevados quanto os compósitos reforçados por fibras sintéticas, apresentam resistência superior aos compósitos reforçados por madeira e alguns plásticos.

O fato das fibras vegetais serem relativamente higroscópicas e suas superfícies serem incompatíveis com a maioria das resinas poliméricas, conduz à formação de vazios ou porosidade, fraca adesão com a matriz polimérica e, conseqüentemente, propriedades mecânicas pobres.

Boynard et al (1997) avaliaram o comportamento mecânico de uma mistura isocianato/poliol em uma matriz poliéster, com a finalidade de se produzir compósitos de baixo custo. Os resultados indicaram uma plastificação da matriz, o que pode contribuir para uma melhor distribuição de tensão e, deste modo, reduzir os valores de tensão cisalhante gerados nas interfaces.

Santos et al (1999) e Costa et al (1999), estudaram o efeito do tratamento superficial do reforço e da modificação da matriz nas propriedades mecânicas do compósito poliéster/juta. Foram fabricados compósitos em que tanto o reforço quanto a matriz foram tratados com pré-polímero derivados do óleo de mamona com grupos funcionais isocianatos, uretano e poliol. Concluíram que a resistência à

tração e o módulo de elasticidade, em geral aumentam nos compósitos com reforço tratado com pré-polímero com grupamentos uretanos e isocianatos. Já o tratamento da matriz poliéster dos compósitos poliéster-juta não teve um efeito significativo na resistência à tração do compósito.

Medeiros e Carvalho (1999), estudaram as propriedades mecânicas em tração de compósitos unidirecionais poliéster/fibra de juta (30% em peso), produzidos por pultrusão, em função do tempo de envelhecimento. Os resultados indicaram que as condições de envelhecimento térmico empregados não foram suficientes para provocar a degradação acentuada do compósito poliéster/juta pultrusado. A tendência à redução na resistência à tração do compósito com o tempo de envelhecimento é atribuída à deterioração da ligação fibra/matriz acentuada pela higroscopicidade das fibras de juta.

A secagem prévia das fibras vegetais é de grande importância para obtenção de compósitos de qualidade, pois a água associada a estas fibras, prejudica a interação fibra/matriz, Batista et al (1997a), estudaram o efeito da secagem e do alinhamento das fibras nas propriedades mecânicas de compósitos poliéster/juta. Os resultados obtidos mostraram que a secagem prévia das fibras é fundamental, assim como o alinhamento das fibras, para que as propriedades mecânicas do compósito sejam otimizadas.

Batista e Carvalho (1996) investigaram as propriedades mecânicas de compósitos poliéster/tecido de juta em função do teor de fibras nos compósitos e de dois tipos de pré-lavagem das fibras; com detergente e hidróxido de sódio, visando melhorar a capacidade de molhamento destas pelo poliéster. Os resultados indicaram um aumento na resistência à tração e nos módulos elásticos em tração e

em flexão, para os compósitos onde as fibras de juta foram lavadas com o detergente e um decréscimo nas propriedades mecânicas do compósito que tiveram as fibras lavadas com NaOH.

Batista et al (1997b) estudaram o efeito de dois tipos de matrizes poliéster nas propriedades mecânicas de compósitos poliéster/juta sujeitas a tratamentos com NaOH. Os resultados mostram que a resina poliéster de alto poder de molhamento gerou compósitos com propriedades mecânicas superiores e que o tratamento alcalino das fibras não é interessante pois levou a compósitos com propriedades mecânicas inferiores às dos compósitos com fibras brutas.

3.5 COMPÓSITOS HÍBRIDOS

Uma das formas encontradas para melhorar as propriedades de compósitos reforçados por fibras vegetais é a conjugação de fibras de juta e de fibras de vidro, ou seja, o desenvolvimento de materiais híbridos. Em geral, as pesquisas sobre o desempenho de compósitos híbridos é realizada em arranjos onde uma camada interna de fibra de juta é colocada entre duas camadas externas de fibra de vidro. Desta forma, a adesão fibra-matriz é melhorada e a absorção de água, minimizada e, por conseguinte, um compósito com melhores propriedades mecânicas é obtido. Embora as propriedades mecânicas melhorem, estes compósitos apresentam problemas de delaminação (Chawia et al. (1980), Shah & Lakkad (1981), Varma et al. (1989) e Gowda et al. (1999)).

Clark & Ansell (1996) produziram por hand lay-up, laminados híbridos com juta e fibra de vidro empregando o poliéster como matriz. Estes laminados consistiam de camadas intercaladas de fibras de juta e de vidro. Foram

desenvolvidos laminados com diversas formas de construção e suas propriedades mecânicas, resistência às intempéries e o custo do produto foram avaliados. Concluiu-se então que os laminados híbridos possuem boa resistência ao impacto e a resistência à fratura máxima foi alcançada com a juta entre duas camadas de fibra de vidro.

Sridhar et al. (1984) estudaram as propriedades mecânicas de compósitos uni e bidirecionais reforçado com juta e híbrido juta/vidro. Os autores concluíram que a resistência dos compósitos uni e bidirecionais foram 3 e 1,5 vezes maiores, respectivamente, a da matriz. Já os compósitos reforçados com o híbrido juta/vidro apresentaram propriedades superiores e custo $2/3$ inferior ao compósito reforçado com fibras de vidro.

Joseph e Carvalho (1999b) estudaram o comportamento mecânico do compósito de matriz poliéster reforçado com um tecido híbrido, tendo fibras de algodão no urdume e fibras de juta na trama, em função do teor e orientação das fibras. Pois, até então, a literatura reportava apenas estudos com compósitos híbridos laminados. Os resultados mostraram que as propriedades dos compósitos na direção das fibras de juta aumenta com o teor de fibras no compósito até um carregamento de 50% (em peso) de fibras, tendendo a decrescer a teores mais elevados. Os autores concluíram, que os compósitos estudados podem ser utilizados em aplicações estruturais e os tecidos híbridos utilizados de forma mais rápida e fácil, quando comparadas as mantas de fibra curtas ou unidirecionais.

Carvalho et al (1999) confeccionaram tecidos híbridos juta/algodão e sisal/algodão, tendo no urdume fios de algodão e na trama cordões de juta e sisal, também tecidos híbrido juta/vidro, tendo no urdume cordões de juta e na trama fibra

de vidro. A composição empregada foi a) algodão-juta: 28% de algodão e 72% de juta, b) algodão-sisal: 22% de algodão e 78% de sisal e c) juta-vidro: 44% de juta e 56% de vidro. Estes tecidos foram utilizados como reforço em compósitos de matriz poliéster e suas propriedades mecânicas em tração analisadas, em função do teor total e relativo de fibras no compósito e da orientação das mesmas. Os resultados mostraram que, em todos os casos independente do tipo de tecido empregado como reforço, as propriedades dos compósitos aumentaram com o teor de fibras na trama, isto é, com o teor de juta sisal e vidro e que a resistência dos compósitos testados na direção do urdume foi sempre inferior à da trama. No caso dos tecidos tendo fios de algodão no urdume, a resistência praticamente não foi afetada pelo teor de fibras, enquanto que para os compósitos híbridos com vidro, tendo no urdume cordões de juta, a resistência aumentou com o teor de fibras. Concluíram, então, que tecidos híbridos tramados a base de fibras vegetais podem ser utilizados como reforço em compósitos de matriz poliéster, pois apresentaram resultados até cinco vezes maiores para resistência a tração e propriedades relativamente mais isotrópicas.

4.1 MATERIAIS

4.1.1. MATRIZ POLIMÉRICA

Foi utilizado como matriz polimérica uma resina Poliéster insaturada, do tipo ortoftálica pré-acelerada, de cor clara, rígida, totalmente polimerizável, baixa viscosidade e reatividade, tixotrópica, fabricada e fornecida pela RESANA S/A e de código RESAPOL 10-225, Tabela 1. Esta resina foi reticulada por Estireno, utilizando iniciador Peróxido de Metil Etil Cetona (MEK-P), em concentração de 1% em peso.

As principais características da resina RESAPOL 10-225, usada neste trabalho são :

- cura rápida à temperatura ambiente ;
- boa penetração nos tecidos utilizados como reforço ;
- proporciona compósitos de cor clara, o que facilita a visualização de bolhas ou falhas, durante o processo de fabricação ;
- pequena contração durante a polimerização ;
- boa resistência aos agentes atmosféricos ;
- boas propriedades mecânicas .

4.1.2 REFORÇO

Foi utilizado como reforço na matriz polimérica, um tecido híbrido tramado, de fibra de juta e fibra de vidro, especialmente confeccionado no Lar do Garoto, reformatório juvenil sediado no município de Lagoa Seca, PB. O tecido foi fabricado em tear manual, contendo cordões de juta (10/2) no urdume e rovings de fibra de

vidro na trama. Devido a espessura reduzida dos rovings, foram lançados 2 fios em cada passada. Utilizou-se um pente 18 e 1 fio por pua e 1 batida aberta e uma fechada. O tecido assim tramado (plain weave), apresentava 40 fios/10cm no urdume e 35-38 fios/10cm na trama. As fibras de Juta foram dispostas no urdume e as fibras de vidro (na forma de roving) foram utilizadas na trama, conforme Figura 1. A composição do tecido utilizado, foi de 44% de juta e 56% de vidro em peso para o tecido tramado.

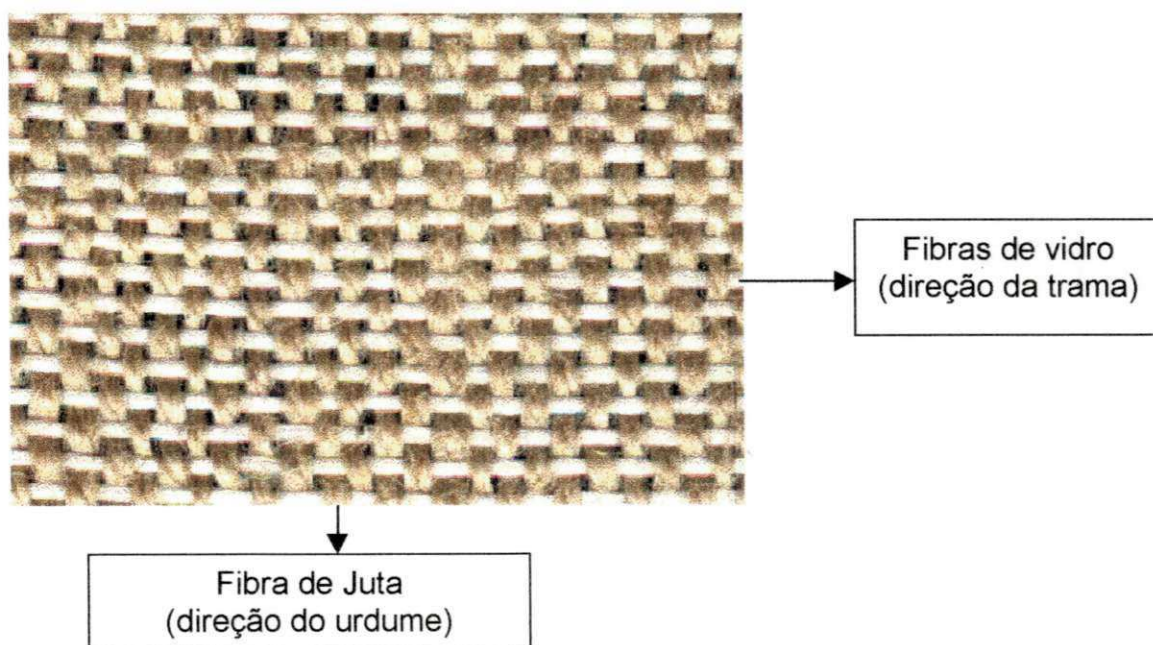


FIGURA 1. Tecido Híbrido tramado fibras de juta-vidro

A fibra de Juta utilizada foi fornecida pela Companhia Têxtil Castanhal S/A, em forma de cordão, com referencia 10/2, acondicionada em bobinas cilíndricas. A fibra de vidro foi fornecida pela OWENS-CORNING FIBERGLAS A.S. LTDA, referencia 111A 408 com tex(g/Km) igual à 408, em forma de rovings composto de uma única mecha contínua, enrolada em bobina cilíndrica. As fibras de vidro

fornecidas, eram previamente tratadas superficialmente para rápida molhagem e facilidade de processamento.

4.2 MÉTODO

4.2.1 PREPARAÇÃO DOS COMPÓSITOS

Inicialmente foram confeccionadas placas (15cm x 20cm x 2mm) reforçadas com tecido híbrido, com variações do teor de reforço de 1 à 6 camadas de tecido, para os teste na direção das fibras de juta e de vidro; os compósitos com reforço misto, foram preparados utilizando-se 2, 4 e 6 camadas, empilhadas com ângulo de 0/90° em relação a juta; foram confeccionados também, compósitos reforçados com um tecido tramado de fibras de vidro puro, com teores de 1 a 6 camadas. Todos os compósito foram moldados por compressão, em molde fechado, sob 78,5 N de força de fechamento, com 8 horas de tempo de cura. Em seguida os corpos de prova foram cortados e esmerilhados de acordo com as normas ASTM D-3039, para os ensaios mecânicos.



FIGURA 2 : Corpos de prova para ensaio de tração: (a) ensaio na direção das fibras de juta; (b) ensaio na direção das fibras de vidro.

4.2.2 ENSAIOS MECÂNICOS

Os ensaios de tração foram realizados em equipamento LLOYD INSTRUMENT 10KN e INSTRON SERIE IX , com velocidade de 1 mm/min, de acordo com a norma ASTM D-3039.

5.1 INTRODUÇÃO

Neste trabalho estudou-se as propriedades mecânicas de compósitos de matriz poliéster reforçado por um tecido híbrido tramado, com fibras de juta no urdume e fibras de vidro na trama. Os resultados foram comparados aos de compósitos reforçados por um tecido tramado contendo unicamente de fibras de vidro. Os efeitos do teor de fibras e da orientação do reforço nas propriedades tênséis dos compósitos foi avaliado.

A composição do tecido híbrido tramado depende do calibre dos fios utilizados na trama e no urdume, e do seu distanciamento. Logo, dependendo do diâmetro dos fios empregados, do pente e da tensão de batimento utilizados, obtém-se tecidos com diferentes empacotamentos ou densidades (Carvalho et al, 1999). No presente trabalho utilizou-se um tecido tramado simples (plain weave) com 44% em peso de juta e 56% em peso de vidro.

Os resultados obtidos para a resistência à tração na ruptura, módulo de Young e alongamento na ruptura, estão apresentados nas Tabelas 4, 5, 6 e 7 (Anexo I), e para facilitar sua comparação, ilustrados nas Figuras 3 - 15.

Foram confeccionados compósitos com 1 a 6 camadas de reforço dispostas tão alinhadas quanto possível e os testes foram realizados paralelo ao urdume (fibras de juta) e à trama (fibras de vidro). Confeccionou-se também compósitos com seqüências de empilhamento 0/90° em relação a juta e reforçados por 2, 4 e 6 camadas de tecido.

5.2 EFEITO DO TEOR DE TECIDO HÍBRIDO NA RESISTÊNCIA A TRAÇÃO

A resistência à tração de materiais compósitos reforçados por fibras depende, principalmente, da resistência e módulo das fibras; estabilidade química e resistência da matriz e da interface fibra/matriz (Nielsen, 1974; Mallick, 1990; Ashbee, 1993).

Em tecidos tramados e urdidos, o grau de entrelaçamento das fibras no tecido é determinado pelo padrão de tecedura, e as fibras deformam ou dobram de maneira previsível e reversível (Carvalho, 1999; Joseph, 1999b). No caso em questão, o reforço utilizado foi construído com fibras diferentes na trama (vidro) e no urdume (juta). Estas fibras diferem fortemente nas suas propriedades (módulo de Young e resistência a tração), o que equivale a dizer que, as propriedades dos compósitos reforçados por este tecido híbrido, não serão unicamente função do teor de reforço ou do padrão de tecedura, mas dependerão também da direção de aplicação do esforço.

A Tabela 4 (Anexo I) apresenta os resultados obtidos para o efeito do teor de fibras nas propriedades mecânicas, para ensaios realizados na direção das fibras de juta, de compósitos poliéster/tecido juta-vidro em função do teor total de fibras. Os dados obtidos indicam que a resistência a tração na ruptura dos compósitos reforçados pelo tecido híbrido e testados na direção da juta, a baixos teores de fibra, foram inferiores à da matriz, aumentando com o teor de fibras e superando a resistência da matriz a teores de fibra superiores em torno de 32% de reforço, o que representa 14% de fibras de juta. Estas observações estão ilustradas na Figura 3.

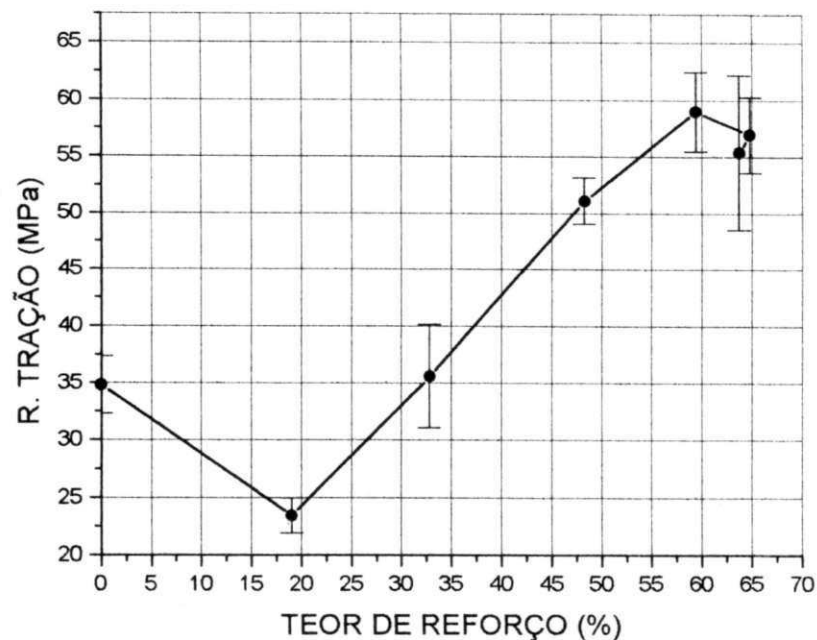


FIGURA 3 - Efeito do teor de tecido híbrido na resistência dos compósitos, ensaiados na direção da juta.

Comportamento semelhante foi reportado por Batista (1995), Cavalcante (1999) e Joseph (1999b).

Batista (1995) investigou as propriedades de compósitos de matriz poliéster, moldados por hand lay-up, reforçados por tecidos de juta. Ficou evidenciado, que apesar de haver aumento nas propriedades mecânicas do compósito com o aumento do teor de fibras (0 -16%) estas propriedades se mantiveram inferiores às da matriz.

Cavalcante (1999) estudou as propriedades de compósitos de matriz poliéster, moldados por compressão e reforçados com tecidos de juta. Seus resultados mostram que, inicialmente, a resistência à tração dos compósitos era inferior à da matriz, aumentando com o teor de fibras e, finalmente, sobrepunhando a da matriz.

Joseph (1999) investigou as propriedades de compósitos de matriz poliéster, moldados por compressão e reforçados por tecido híbrido algodão/juta. O comportamento destes compósitos seguiu a mesma tendência reportada por Cavalcante (1999) e observada no presente estudo, ou seja, baixos teores de fibras, a resistência à tração de compósitos de matriz poliéster reforçados por tecidos a base de juta foram inferiores às da matriz, aumentando com o teor de fibras e, em alguns casos (Joseph, 1999b e Cavalcante, 1999), chegando a ultrapassar a resistência da matriz.

O motivo para este tipo de comportamento, que se manifesta mais claramente quando tecidos tramados são utilizados como reforço, é que, a baixos teores de reforço, o efeito das fibras dispostas transversalmente ao esforço aplicado, que atuam como defeitos ou inclusões, é relativamente grande, fazendo com que as propriedades dos compósitos sejam inferiores às da matriz. Para teores mais elevados (em geral acima de 20%), o somatório das forças é favorável e nota-se um aumento nas propriedades mecânicas do compósito com o aumento do teor de fibras. Os resultados obtidos mostram que, em torno de 60% de reforço, para os compósitos ensaiados na direção das fibras de juta, um valor crítico foi alcançado, acima do qual a resistência à tração dos compósitos tendeu a decrescer. Isto porque, a elevados teores de fibras, o molhamento das fibras pela matriz é dificultado e uma excessiva interação entre as fibras passa a ocorrer (Joseph, 1999b).

A Figura 4 ilustra de maneira comparativa, os resultados do trabalho reportado por Joseph (1999b), que trata do comportamento mecânico de compósitos

de matriz poliéster reforçados por tecidos híbridos algodão/juta, com os obtidos no presente estudo para de um sistema híbrido juta/vidro, ambos testados na direção das fibras de juta.

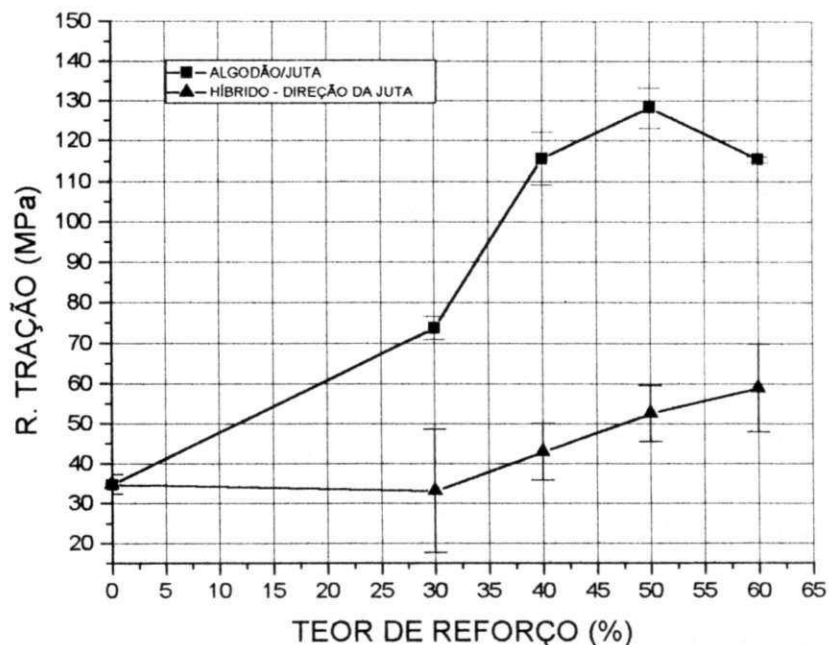


FIGURA 4. Efeito do teor de fibras e do tipo de tecido na resistência a tração na ruptura de compósitos poliéster/tecido algodão-juta ou juta/vidro testados na direção das fibras de juta.

Fica evidenciado que, os compósitos reforçados pelo tecido algodão/juta apresentaram valores mais elevados do que os obtidos utilizando o tecido juta/vidro como reforço. Este comportamento, a primeira vista surpreendente, pode ser explicado tanto pelo maior teor de fibras de juta (72%) no sistema algodão/juta, como também, pelo fato de, naquele sistema, as fibras de juta estarem perfeitamente dispostas na trama, sendo a sua orientação mantida por fios de algodão bastante finos, ou seja, neste caso, as fibras de juta estariam perfeitamente

alinhadas, não apresentando o movimento ondulatório característico das fibras dispostas no urdume. As fibras de juta no urdume do tecido juta/vidro, por sua vez, executam movimento ondulatório (Figura 5) considerável, pois o calibre das fibras de vidro dispostas na trama é comparável ou ligeiramente superior aos das fibras de juta. Os resultados obtidos por Joseph (1999b) para a resistência dos compósitos ensaiados na direção das fibras do urdume (algodão) são bastante inferiores aos obtidos no presente trabalho, permanecendo em valores cerca de 50% inferiores aos obtidos para a resistência da matriz.



FIGURA 5. Arranjo das fibras de juta dispostas no urdume do tecido híbrido.

A Tabela 5 (Anexo I) mostra os resultados obtidos para os compósitos reforçados com tecido híbrido juta/vidro, quando ensaiados na direção das fibras de vidro.

Neste caso observa-se que, comparado aos resultados obtidos para sistemas equivalentes testados na direção das fibras de juta (Figura 3), houve um aumento considerável na resistência à ruptura dos compósitos. Este tipo de resultado era o esperado pois, além da resistência mecânica das fibras de vidro serem muito superiores à das fibras de juta, no tecido em questão, as fibras de vidro estão dispostas na trama, ou seja, estão perfeitamente alinhadas e não descrevem movimento ondulatório. Se comparados aos resultados reportados por Joseph

(1999b) para a resistência dos compósitos na direção das fibras de juta (que naquele caso estavam na trama), os resultados obtidos para os compósitos em questão, testados na direção das fibras de vidro (fibras da trama), como esperado, também são bastante superiores.

A Figura 6 ilustra o comportamento da resistência à tração na ruptura dos compósitos reforçados pelo tecido híbrido juta/vidro, testados na direção das fibras de vidro.

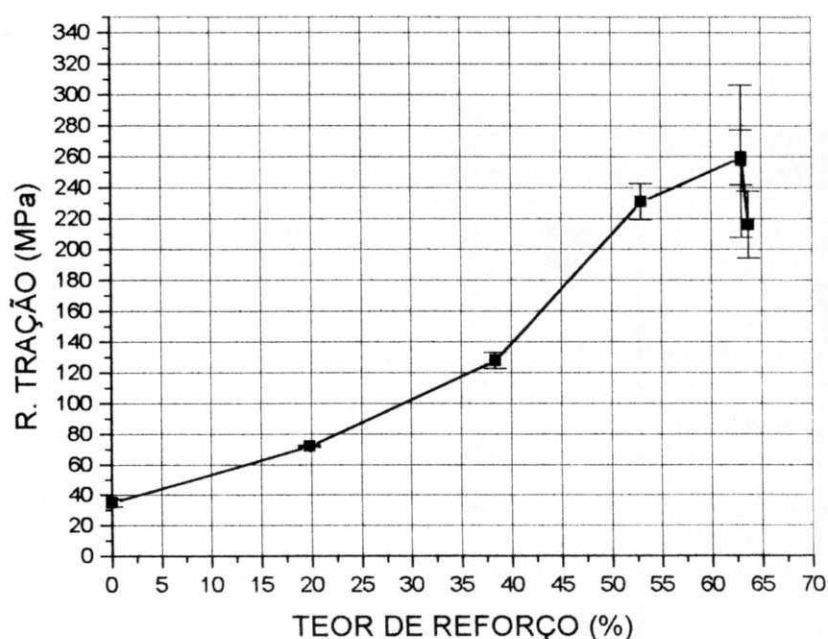


FIGURA 6 – Efeito do teor de fibras na resistência à tração na ruptura de compósitos reforçados por tecido híbrido juta/vidro, ensaiado na direção das fibras de vidro.

A Tabela 7 (Anexo I) evidencia o efeito da orientação do reforço nas propriedades mecânicas de compósitos de matriz poliéster/tecidos híbridos juta/vidro. Esta Tabela reporta os dados obtidos para testes em que o reforço foi

disposto em seqüência de empilhamento 0/90°, ou seja, com orientação mista para as fibras de juta e de vidro.

Os resultados indicam que a resistência à tração destes compósitos apresentou valores intermediários aos obtidos em compósitos cujos tecidos eram alinhados e que foram testados na direção das fibras de juta e na direção das fibras de vidro. Este comportamento era o esperado, pois como as proporções de tecido com orientações distintas eram iguais, os valores das propriedades mecânicas dos compósitos resultantes deveriam ser intermediários aos dos compósitos vistos anteriormente. Os dados obtidos para a resistência à tração dos compósitos reforçados por tecidos dispostos em seqüências de empilhamento 0/90° estão ilustrados na Figura 7.

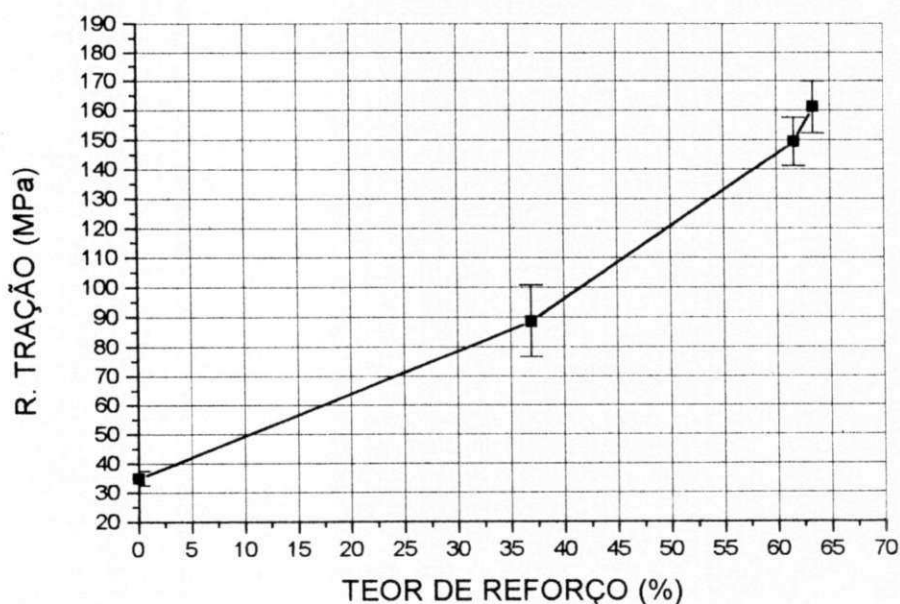


FIGURA 7. Resistência a tração na ruptura x teor de tecido com direção mista.

A Tabela 6 (Anexo I), mostra os resultados obtidos para as propriedades mecânicas de compósitos de matriz poliéster reforçados por um tecido tramado de fibras de vidro.

Os resultados confirmam o previsto na literatura, ou seja, as resistências destes compósitos foram superiores às obtidas para os sistemas anteriores. Isto é atribuído a dois fatores principais: a) a resistência a tração apresentada pelas fibras de vidro (120 MPa) é muito superior às das fibras de juta (2MPa); b) as fibras de vidro são superficialmente tratadas de modo a garantirem uma boa aderência à matriz polimérica, o que proporciona uma interface forte e, portanto, elevadas propriedades mecânicas. O efeito do teor de reforço nas propriedades mecânicas de compósitos poliéster/tecido de vidro está ilustrado na Figura 8.

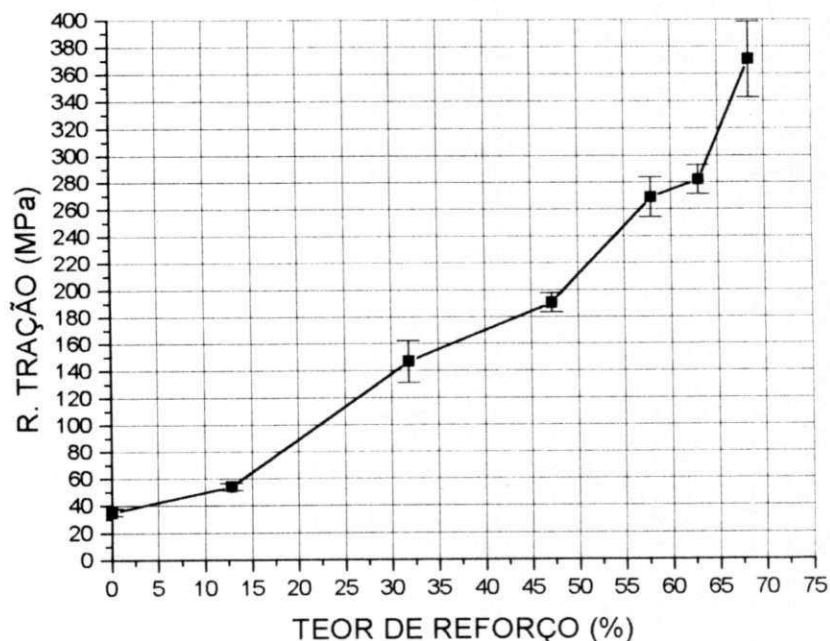


FIGURA 8 . Efeito do teor de fibras na resistência a tração na ruptura de compósitos poliéster/tecido de vidro.

A Figura 9 ilustra, de maneira comparativa, o efeito do teor e da disposição das fibras nas propriedades dos compósitos investigados quando testados na direção das fibras de juta; das fibras de vidro, do reforço híbrido disposto em seqüências de empilhamento 0/90° (misto) e para o sistema reforçado tecido de fibras de vidro. As discussões sobre as interpretações dos dados acima ilustrados foram realizadas individualmente, ao longo dos parágrafos anteriores.

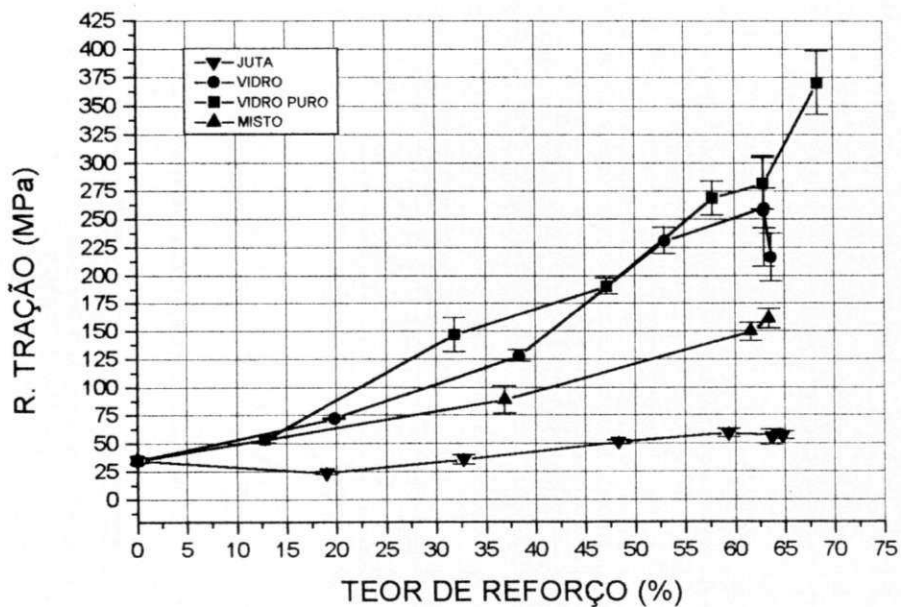


FIGURA 9. Efeito do teor e da orientação das fibras no ensaio de resistência a tração dos compósitos estudados.

5.3 EFEITO DO TEOR DE TECIDO HÍBRIDO NO MÓDULO DE YOUNG.

A Figura 10 ilustra o comportamento do módulo de Young dos compósitos poliéster/tecido híbrido juta-vidro investigados quando testados na direção das fibras de juta (urdume). Fica evidenciado que o módulo dos compósitos aumentou com o teor de fibras.

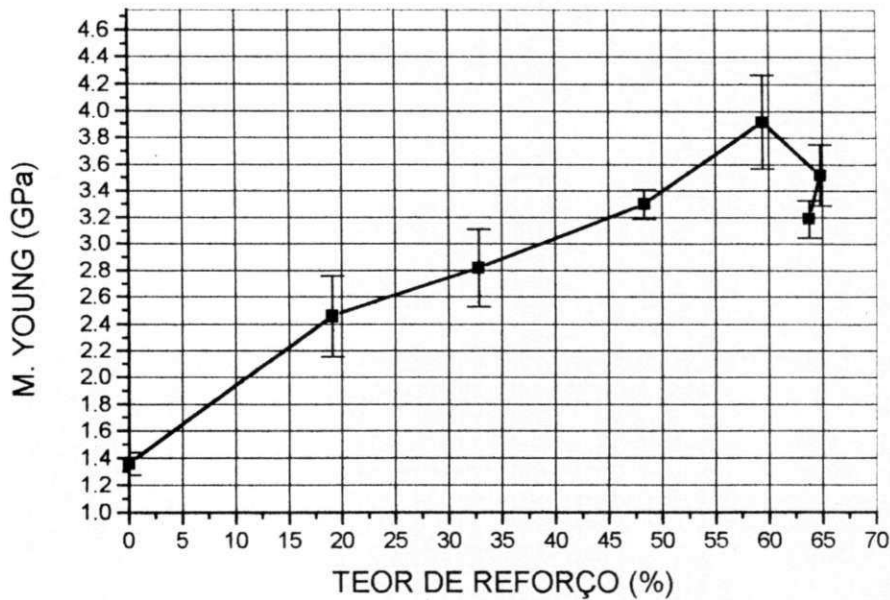


FIGURA 10. Efeito do teor de fibras no módulo de compósitos poliéster/tecido juta-vidro, testados na direção das fibras de juta.

Resultados semelhantes foram reportados por Cavalcanti (1999) e Joseph (1999b), para compósitos de matriz poliéster reforçados por tecidos de juta, moldados por compressão (Cavalcante, 1999), ou reforçados por tecidos híbridos algodão/juta, moldados por compressão (Joseph, 1999b). Este comportamento já era esperado pois, tanto as fibras de juta quanto as de vidro, possuem módulos de Young mais elevados do que o da matriz (6,9 GPa para as fibras de juta; 62 GPa para as fibras de vidro e 1,4 GPa para a matriz poliéster utilizada, D'Almeida (1987) e Costa, (1997). Portanto, a adição destas fibras à matriz polimérica leva ao seu enrijecimento. Além disto, as fibras restringem o movimento livre das cadeias poliméricas e o resultado é um aumento no módulo de Young do compósito com o teor de fibras.

A Figura 11 ilustra o comportamento do módulo de Young dos compósitos reforçados pelo tecido híbrido juta/vidro, quando testado na direção das fibras de vidro (trama).

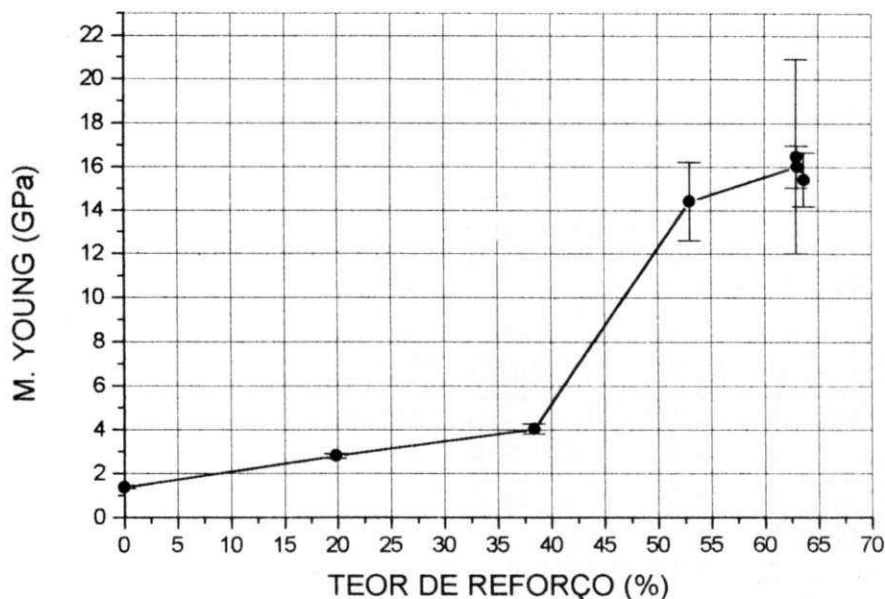


FIGURA 11. Efeito do teor de fibras no módulo de compósitos poliéster/tecido juta-vidro, testados na direção das fibras de vidro.

O mesmo comportamento anteriormente descrito foi observado, isto é, o módulo de Young dos compósitos reforçados pelo tecido híbrido juta-vidro, quando testados na direção das fibras de vidro, aumentou com o teor e fibras. Resultados correlatos foram reportados por Cavalcante (1999) e Carvalho et. al. (1999).

Cavalcante (1999) reportou, para o sistema poliéster/tecido de juta moldado por compressão, uma elevação inicial do módulo do compósito com o teores de fibra de até 30%. A partir deste teor, o módulo passou a ser praticamente independente do teor de reforço.

Carvalho et. al. (1999), analisaram o comportamento compósitos de matriz poliéster reforçados por tecidos híbridos algodão/juta; algodão/sisal e juta/vidro e reportou que o módulo destes compósitos tendeu a aumentar com o teor de fibras, apresentando um comportamento semelhante ao observado para a resistência à tração.

Como esperado, os valores obtidos para o módulo dos compósitos reforçados por tecidos híbridos juta-vidro, testados na direção das fibras de vidro, foi bastante superior ao apresentado por compósitos equivalentes testados na direção das fibras de juta. Isto porque, além do módulo de Young das fibras de vidro serem muito superiores à das fibras de juta (D'Almeida, 1987), as fibras de vidro estão dispostas na trama, ou seja estão alinhadas ao longo do força de tração.

A Figura 12 ilustra o comportamento do módulo de Young dos compósitos reforçados pelo tecido híbrido juta/vidro, disposto em seqüência de empilhamento 0/90°, ou seja com orientação mista para as fibras de vidro e juta.

Os resultados evidenciam que o módulo de Young aumentou fortemente em relação ao da matriz, porém manteve-se relativamente constante para todos os compósitos investigados, isto é, com teores de fibra variando de 36 a 68% em peso.

A Figura 13 ilustra o comportamento do módulo de Young dos compósitos reforçados pelo tecido de fibras de vidro. Os resultados confirmam o previsto na literatura, ou seja, os módulos de Young destes compósitos foram elevados e superiores aos obtidos para os sistemas anteriores. Este elevado desempenho mecânico é atribuído ao elevado módulo das fibras de reforço e também à boa

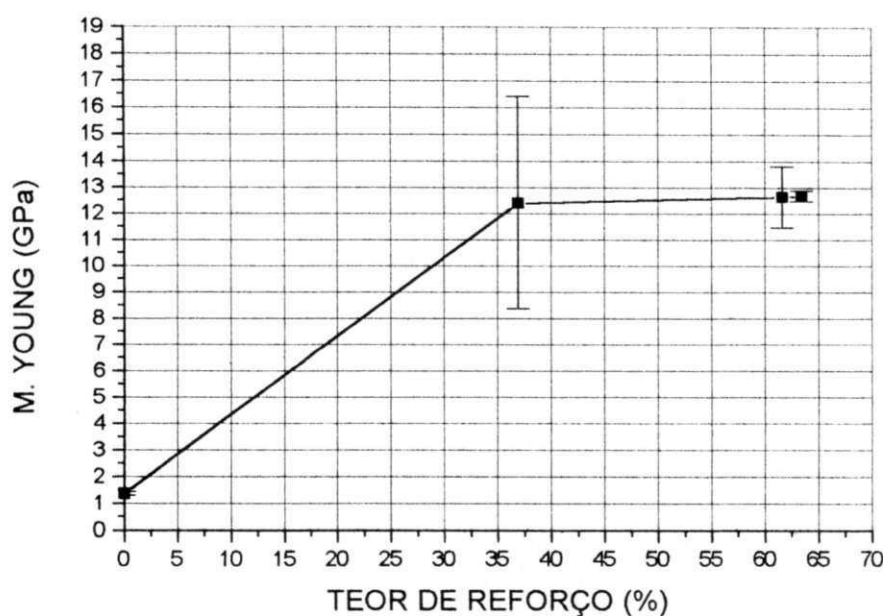


FIGURA 12. Efeito do teor de fibras no módulo de compósitos poliéster/tecido juta-vidro, testados com orientação mista.

aderência das fibras de vidro com a matriz poliéster, haja visto que a superfície destas fibras são especialmente tratadas para garantir sua forte adesão com a matriz polimérica, o que proporciona uma interface forte, aumentando a rigidez do compósito.

A Figura 14 ilustra de maneira comparativa, o efeito do teor e da disposição das fibras no módulo de Young, compósitos investigados anteriormente. Pode-se visualizar mais facilmente o comportamento exibido pelo módulo de Young dos compósitos em função do teor e disposição das fibras e orientação do teste. A explicação para este comportamento foi dada nos parágrafos acima através da análise individual de cada conjunto.

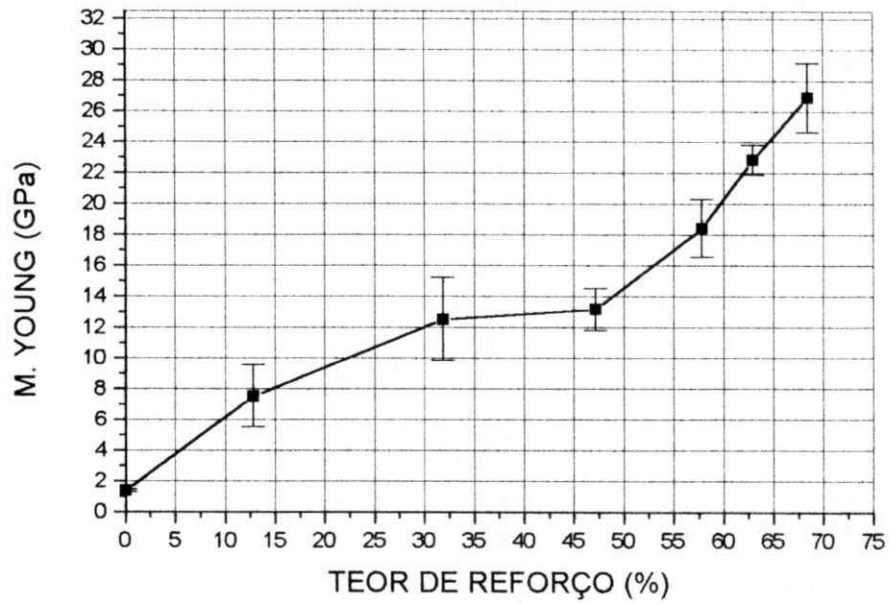


FIGURA 13. Efeito do teor de fibras no módulo de compósitos reforçados por tecido de fibras de vidro.

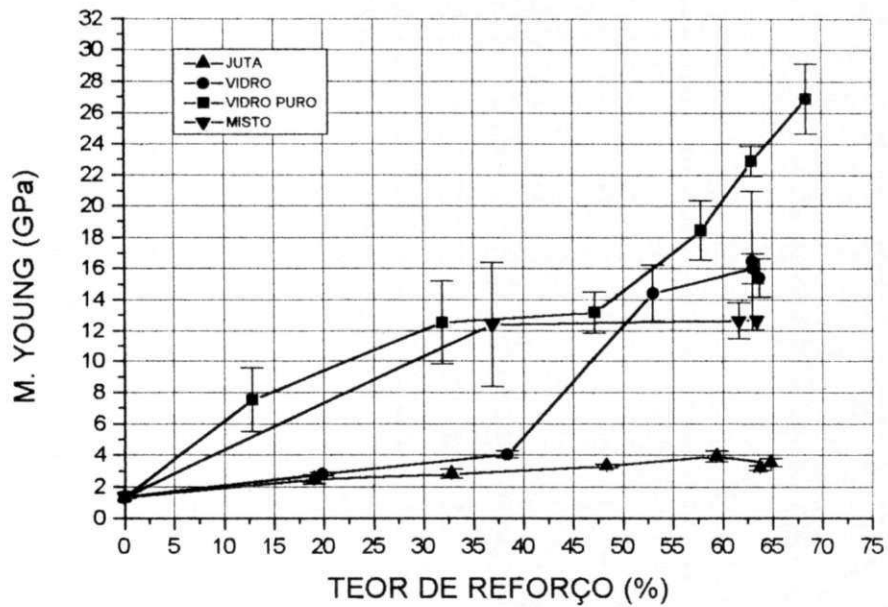


FIGURA 14. Efeito do tipo, do teor, da orientação do ensaio no módulo de Young, dos compósitos estudados.

Considerando que, quando testados na direção das fibras de vidro, os compósitos apresentaram maior alongamento, módulo de Young e resistência mecânica, nota-se que a incorporação destas fibras leva a uma tenacificação dos compósitos. Este tipo de efeito foi reportado por Carvalho et. al. (1999) para compósitos de matriz poliéster reforçados por tecidos híbridos de algodão/sisal, algodão/juta e juta/vidro.

Com relação ao alongamento na ruptura dos compósitos, houve aumento desta propriedade com o aumento do teor de fibras. O alongamento dos compósitos reforçados por tecidos híbridos e testados na direção das fibras de juta, de maneira geral, foram inferiores aos exibidos pelos outros compósitos investigados, isto é,

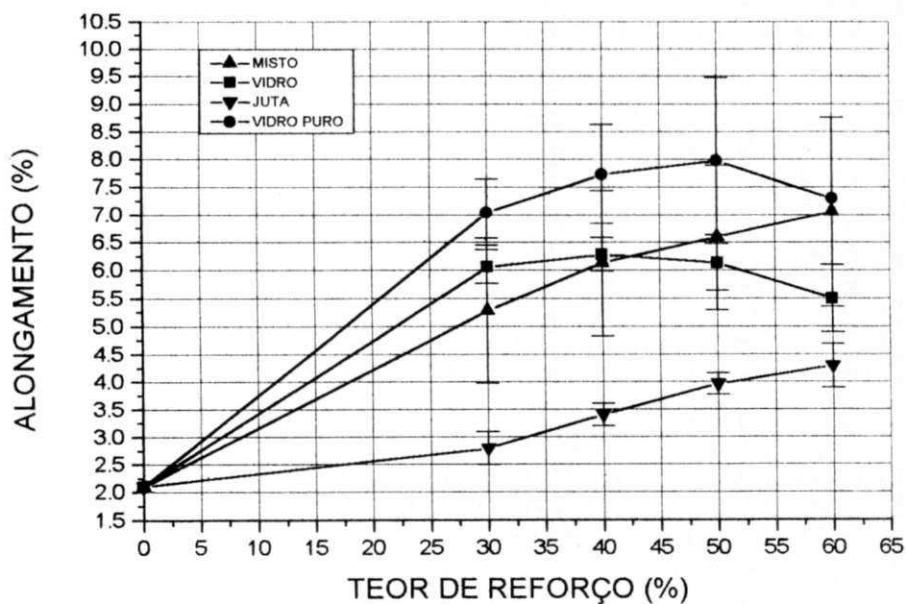


FIGURA 15. Efeito do teor e da orientação dos reforços no alongamento na ruptura dos compósitos estudados.

aqueles reforçados por tecidos híbridos e testados na direção das fibras de vidro , com disposição mista ou para os compósitos reforçados por tecidos de vidro. Este comportamento é de certa forma surpreendente, pois era esperado uma diminuição no alongamento, devido ao fato das fibras apresentarem baixo alongamento, estes resultado podem ser atribuídos ao fato, de que ocorrem microfissuras na matriz, necessitando de estudos complementares, ver Figura 15.

Tecidos híbridos tramados, tendo fibras de juta no urdume e fibras de vidro na trama, mostraram-se promissores, quando utilizados como reforço em compósito de matriz poliéster. Pode-se concluir neste trabalho que :

- a) ocorre um aumento nas propriedades mecânicas dos compósitos, quando testado na direção das fibras de juta, com aumento do teor de reforço, até um limite de aproximadamente 60% de reforço em peso;
- b) Compósitos híbridos testados na direção das fibras de vidro, apresentaram resultados mais elevados, que os compósitos testados na direção das fibras de juta. Este comportamento é explicado pela maior resistência à tração das fibras de vidro e o fato destas estarem dispostas na trama;
- c) os compósitos reforçados com tecido híbrido distribuído em seqüências de empilhamento 0/90° (misto), apresentou comportamento mecânico intermediário entre os compósitos testados nas direções das fibras de juta e vidro;
- d) os módulo de Young dos sistemas estudados, tiveram comportamento semelhante ao comportamento das resistências a tração. Logo, pode-se concluir que o aumento do teor de reforço híbrido provoca uma maior rigidez no compósito;
- e) os compósitos reforçados com tecido híbrido, quando testados na direção das fibras de juta, apresentaram resistência à tração na ruptura até 1,7 vezes superior a da matriz, com um teor de aproximadamente 60% de reforço;
- f) os compósitos reforçados com tecido híbrido, quando testados na direção das fibras de vidro, apresentaram resistência à tração na ruptura até 7,5 vezes superior a da matriz, com um teor de aproximadamente 60% de reforço;

- g) como esperado, os compósitos reforçados com tecido híbrido disposto em seqüência de empilhamento 0/90°, ou seja orientação mista, apresentaram resultados intermediários aos testes efetuados na direção das fibras de juta ou de vidro. O que era esperado, pois as proporções de tecido com orientações distintas eram iguais;
- h) os compósitos reforçados com tecido tramado de fibras de vidro, mostraram resultados superiores aos sistemas anteriormente citados. Os resultados confirmam o previsto na literatura em termos de propriedades mecânicas;
- i) o alongamento na ruptura de todos os sistemas investigados tendeu a aumentar com o teor de fibras. Considerando que a resistência e o módulo também tenderam a aumentar desta mesma forma, conclui-se que a incorporação dos tecidos levou a uma tenacificação dos compósitos;
- j) Os tecidos híbridos juta-vidro tramados se prestam para aplicações de reforço em compósitos de matriz poliéster, podendo ser utilizados em aplicações que requeiram esforços mecânicos intermediários e superiores aos que podem ser aplicados em compósitos reforçados unicamente por tecidos de juta.

- a) Realizar ensaios de flexão e impacto;
- b) Estudar com auxílio de Microscópio Eletrônico de Varredura, a interface do compósito, para se conhecer melhor o mecanismo de adesão;
- c) Estudar o comportamento de compósitos reforçados com tecido híbrido, utilizando-se outras matrizes, tais como epoxi e resinas fenólicas;
- d) Estudar o comportamento de compósitos com tecidos híbridos tramados com outras fibras vegetais, tais como sistemas algodão/vidro, sisal/vidro;
- e) Analisar o efeito da absorção d'água nos compósitos reforçados com tecidos híbridos;
- f) Realizar ensaios de delaminação;
- g) Estudar os efeitos de diferentes tratamentos químicos nos tecidos híbridos e nas matrizes;
- h) Estudar os efeitos de diferentes condições de secagem para os tecidos híbridos.

- ASTM – Annual Book of ASTM Standards. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1988.
- ASHBEE, K.H.G. Fundamental principle of fiber reinforced composites. Lancaster, Technomic Publishing Co., Inc., 1993.
- D' ALMEIDA, J. R. M., Propriedades mecânicas de fibras de juta (*Corchorus capsularis*) Ciência e Cultura v.39, p.1023-1025, 1987.
- BATISTA, W.W., Propriedades Mecânicas de Compósitos Poliéster/juta : Efeitos de Tratamento Superficiais. Campina Grande, 1995, Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal da Paraíba.
- BATISTA, W. W.; CARVALHO, L. H. Propriedades mecânicas de compósitos poliéster/juta. III - Efeito da pré-lavagem do tecido de juta com NaOH e detergente. In: 12º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, Águas de Lindóia, 1996, p. 1469 - 1472.
- BATISTA, W.W.; CARVALHO, L.H.; ALSINA, O.L.S.; ROCHA, A.P.T. Efeito das Condições de pré-secagem nas propriedades mecânicas de compósitos Poliéster / juta. In: 4º CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS, Salvador, 1997. Anais. São Paulo, ABPol, 1997a. p.161 - 162.
- BATISTA, W.W.; CARVALHO, L.H.; ALSINA, O.L.S.; ROCHA, A.P.T. Influência do tipo de poliéster e de modificação alcalina nas propriedades tênses de compósitos poliéster / juta. In: 4º CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS, Salvador, 1997. Anais. São Paulo, ABPol, 1997b. p. 163-164.

- BOYNARD, C.A.; D'ALMEIDA, J.R.M.; CARVALHO, L.H. Avaliação da adição da Mistura isocianato / polioliol sobre as propriedades mecânicas de uma resina poliéster. In: 4º CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS, Salvador, 1997. Anais. São Paulo, ABPol, 1997. p. 219-220 .
- CARVALHO, L.H., Chemical Modification of Fiber for Plastic Reinforcement in Composites. In: LEÃO, A.L.; CARVALHO, F.X.; FROLLINI, E., Lignocellulosic – Plastic Composites, USP - UNESP (1997).
- CARVALHO, L.H.; JOSEPH, K.; NÓBREGA, M. M. S. Reforços híbridos em compósitos Poliéster / Fibras vegetais. In: IV SIMPOSIO ARGENTINO DE POLIMEROS, Cordoba, 1999. Anais. Cordoba - Argentina, 1999. p. 67-71.
- CAVALCANTE, W.S. Propriedades mecânicas e térmicas de compósitos poliéster / juta - Efeito de tratamentos superficiais. SEMINÁRIO EM ENGENHARIA QUÍMICA, Pós-Graduação em Eng. Química - UFPB, 1999.
- CINTRA Fº, J.S., Distribuição de Orientação de fibras curtas e Propriedades Mecânicas em Flexão de Compósitos Moldados por Injeção. In: 4º CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS, Salvador, 1997. Anais. São Paulo, ABPol, 1997. p. 41-42 .
- CLARK, R.A. & ANSELL, M.P., Jute and Glass Fibre Hybrid Laminates, Journal of Materials Science, 1996, v.21, p.269-75.
- CHAWLA, K.K.; AVILLES, R.R.; RODRIGUES, R.R.; SÁ, A.C.M.; SERRA, R.G.; CAVADAS, L.G.P.L. Comportamento mecânico dos conjugados de resina Poliéster e fibras de Carbono, Kevlar-29, sisal e vidro. Revista Brasileira de Tecnologia, 1978; v.9, p.79.

- CHAWLA, K.K.; ARAGÃO, E.E.A.; MONTEIRO, R.R.C.; FERNANDES, F.G.; MORAES, M.M. Proc. 3rd Int. Conf. Comp. Mater., 1980, v.1, p.414.
- COSTA, R.; SANTOS, M.A.; CARVALHO, L.H., Propriedades mecânicas de compósitos unidirecionais poliéster/cordões de juta. In. 5º CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS. Águas de Lindoia, 1999. Anais. São Paulo, ABPol, 1999, p. 847-852.
- FILHO, A.C.; CARVALHO, F. J. X.; CORAZZA, I.R.; NUNES, L.C.; GALLI, W.; MOREIRA, W.S.; HONDA, W. Plástico Reforçado, A alternativa inteligente para a indústria moderna. Guia do Plástico Reforçado. São Paulo, 1989, p.10-46.
- FLINN, R. ; TROJAN, P., Engineering Materials and their Applications, Houghton Mifflin Company, Boston, 19981.
- GIBSON, R.F., Principles of Composite Material Mechanics, McGRAW-HILL International Editions., Singapore, 1994.
- GOWDA, T.M.; NAIDU A.C.B.; R. CHHAYA R. – Composites, 1999, v.30, p.277
- HAGE Jr., E.; Compósitos e Blendas Poliméricas, Campinas, Instituto Latino Americano e IBM, 1989.
- HOLLIDAY, L., " Composite materials" , Elsivier, New York, 1986.
- IDRIS ALI, K.M.; UDDIN, M.K.; BHUIYAN, M.I.U.; KHAN, M.A. Improvement of jute Fiber through ultraviolet-cured films of urethane acrylate, Journal of Applied Polymer Science, 1994, v.54, p. 303-308.

- JOSEPH, K.; VARGHESE, S.; KALAPRASAD, G.; THOMAS, S.; PRASANNAKUMARI, L.; KOSHY, P.; PAVITHRAN, C., Influence of Interfacial Adhesion on the Mechanical Properties and Fracture Behaviour of Short Sisal Fiber Reinforced Polymer Composites, Eur.Polym. J. 1996, v.32, n.10, p.1243-1250.
- JOSEPH, K.; FILHO, R.D.T.; JAMES, B.; THOMAS, S.; CARVALHO, L.H. A review on sisal fibre reinforced polymer composites. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, PB, 1999 set./dez. , v.3, n.3, p.367-379.
- JOSEPH, K.; MEDEIROS, E. S.; CARVALHO, L. H. Compósitos de matriz Poliéster reforçado por fibra de sisal. In. 5º CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS. Águas de Lindóia, 1999. Anais. São Paulo, ABPol, 1999a, p. 693-698.
- JOSEPH, K.; CARVALHO, L. H. Propriedades de compósitos de poliéster insaturado/tecido híbrido de juta-algodão. In. 5º CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS. Águas de Lindóia, 1999. Anais. São Paulo, ABPol, 1999b, p. 834-839.
- MALLICK, P.K. Composites materials technology - Processes and properties. New York, Hanser Publishers, 1990.
- MALLICK, P.K. Fiber reinforced composites - Materials, manufacturing and desing. 2ed. New York, Marcel Dekker Inc., 1993.
- MANO, E.B., Polímeros como Materiais de Engenharia, Editora Edgad Blucher Ltda., São Paulo, 1991.

- MORASSI, O.J. Fibras naturais - Aspectos gerais e aplicação na indústria Automobilística, 11º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 1994, p.1259-1262.
- MATOSSO, L. H. C. ; PEREIRA, N.C. ; SOUZA, M.L.; AGNELLI, J. A. M. Caracterização Mecânica de Compósito Polipropileno - Fibras Curtas de Sisal. Anais 4º CBPol, Salvador, 1997, p.167-168.
- MEDEIROS, E.S.; CARVALHO, L.H. Efeito de envelhecimento térmico nas propriedades tênses de compósitos poliéster / juta pultrusados. In. 5º CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS. Águas de Lindoia, 1999. Anais. São Paulo, ABPol, 1999, p. 724-725.
- MENDES, T.M.F.; Propriedades de resistência à tração e ao impacto de compósitos poliéster / sisal - Um estudo comparativo. Natal, 1992. Dissertação (Mestrado) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- MOHANTY, A.K. & MISRA, M., Studies on Jute Composite – A Literature Review, Polym.-Plast. Technol. Eng., ,(1995), v.34, p.729 - 792.
- NIELSEN, L.E., Mechanical of Properties of Polymer and Composites. Marcel Deker, New York, 1974.
- OLIVEIRA S.L. Tratado de Metodologia Científica : Projetos de pesquisas, TGI, TCC, monografias, dissertações e teses. 1.ed. São Paulo, Editora Pioneira 1997.
- PAL, P.K. Jute reinforced plastics : A low cost composite material, Plastics and rubber processing and applications, 1984, v.4, p.215-219.

- PAIVA, J.M.F e FROLLINI, E. Matriz termofixa fenólica em compósitos reforçados com fibras de bagaço de cana-de açúcar. *Polímeros : Ciência e Tecnologia*, abr./jun. 1999. n.2, p.78-87.
- QUIRINO, A.P., Cordões de Sisal como Reforço em Compósitos de Matriz Poliéster. Campina Grande. 1997. Dissertação (Mestrado) - Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba.
- RAYMOND, A.Y., Utilisation of natural Fibers: Characterization, Modification and Applications, Department of Florestry - University fo Wisconsin Madison, USA, 1996.
- RESANA S/A. Divisão de Resinas para Compostos Reforçados. Especificações Técnico. São Paulo, 1999.
- ROBERT, M.H. – Materiais Compósitos, Monografia. FEM Unicamp, 1990.
- ROE, P.J.; ANSELL, M.P. Jute - reinforced polyester composites. *Journal of material science*, (1985), v.20, p. 4015-4020.
- ROHATGI, P. ; WEAVER, S.C. *Advances in materials techology : Monitor*. United Nations Industrial Development Organization, Vienna, 1990, v.17.
- SANTOS, M.A.; COSTA, R.; CARVALHO, L.H. Compósito poliéster-juta : o efeito do tratamento superficial do reforço e de modificação da matriz nas propriedades mecânicas. In : IV CONGRESSO IBEROAMERICANO DE INGENIERÍA MECÁNICA, Anais. Santiago - Chile, 1999. v.1.
- SCHWARTZ, M.M., "Composite Materials Handbook", McGraw-Hill, New York, 1984.

- SCHUH, T. ; GAYER, U. Automotive applications of natural fiber composite. In : LEÃO, A.L.; CARVALHO, F.X.; FROLLINI, E., Lignocellulosic – Plastic Composites, USP - UNESP , 1997.
- SEMSARZADEH, M.A.; AMIRI, D. Binder for jute-reinforced unsaturated polyester resin. POLYMER ENGINEERING AND SCIENCE, 1985, v.25, p. 618-619.
- SHAH A.N., LAKKAD S.C. – Fibre Sci. Technol., 1981, v.15, p.14.
- SRIDHAR N.K., BASAVARAPPA G., KASTURI S.C., BALASUBRAMANIAN N. – Ind. J. Tech., 1984, v.22, p.213.
- VARMA I.K., ANANTHAKRISHNAN S.R., KRISHNAMOORTHY S. – Composites, 1989 , v.20, p.383.
- YOUNG, R.A. Utilization of natural fibers ; Characterization, modification and applications. In : LEÃO, A.L.; CARVALHO, F.X.; FROLLINI, E., Lignocellulosic – Plastic Composites, USP - UNESP, 1997.
- KARMAKER, A.C. & HINRICHSEN, G., Processing and Characterization of Jute Fiber Reinforced Thermoplastic Polymers , Polym.-Plast. Technol. Eng., 1991, v.30, p. 609-629.

ANEXO

**PROPRIEDADES MECÂNICAS DE COMPÓSITOS DE
MATRIZ POLIÉSTER REFORÇADOS COM TECIDOS
HÍBRIDO JUTA-VIDRO**

TABELA 4 - Ensaio realizados, com tecido híbrido, na direção das fibras de JUTA.

CAMADAS	FIBRAS (%)	R. TRAÇÃO (MPa)	M. YOUNG (GPa)	Al. RUPTURA (%)
-	0	34,80 ± 2,51	1,36 ± 0,08	2,1 ± 0,1
1	19,04	23,41 ± 1,52	2,46 ± 0,30	2,0 ± 0,2
2	32,80	35,56 ± 4,52	2,82 ± 0,29	3,0 ± 0,3
3	48,31	51,08 ± 2,08	3,30 ± 0,11	3,9 ± 0,2
4	59,38	58,99 ± 3,51	3,92 ± 0,35	4,3 ± 0,4
5	64,79	56,94 ± 3,34	3,52 ± 0,23	4,3 ± 0,6
6	63,74	55,35 ± 6,85	3,19 ± 0,14	4,6 ± 0,9

TABELA 5 - Ensaio realizados, com tecido híbrido, na direção das fibras de VIDRO.

CAMADAS	FIBRAS (%)	R. TRAÇÃO (MPa)	M. YOUNG (GPa)	Al. RUPTURA (%)
-	0	34,80 ± 2,51	1,36 ± 0,08	2,1 ± 0,1
1	19,81	71,95 ± 0,70	2,79 ± 0,10	5,8 ± 0,1
2	38,37	127,67 ± 5,19	4,03 ± 0,24	6,3 ± 0,3
3	52,99	230,90 ± 11,80	14,41 ± 1,80	6,1 ± 0,5
4	63,04	259,63 ± 17,68	16,00 ± 0,97	5,2 ± 0,6
5	63,70	215,91 ± 21,53	15,40 ± 1,24	5,2 ± 0,7
6	62,99	256,97 ± 49,24	16,47 ± 4,46	5,1 ± 0,9

TABELA 6. Ensaios realizados com tecido de fibras de vidro

CAMADAS	FIBRAS (%)	R. TRAÇÃO (MPa)	M. YOUNG (GPa)	AI. RUPTURA (%)
-	0	34,80 ± 2,51	1,36 ± 0,08	2,1 ± 0,1
1	12,83	53,46 ± 2,76	7,52 ± 2,03	6,5 ± 1,5
2	31,86	146,44 ± 15,48	12,51 ± 2,69	7,1 ± 0,6
3	47,20	190,25 ± 7,06	13,16 ± 1,35	8,3 ± 0,9
4	57,84	268,56 ± 15,08	18,43 ± 1,89	7,0 ± 1,5
5	62,94	281,71 ± 10,97	22,87 ± 0,96	7,7 ± 0,4
6	68,40	370,20 ± 27,76	26,88 ± 2,23	8,6 ± 0,8

TABELA 7. Ensaios realizados com tecido híbrido, com direção 0/90° em relação as fibras de juta (Misto)

CAMADAS	FIBRAS (%)	R. TRAÇÃO (MPa)	M. YOUNG (GPa)	AI. RUPTURA (%)
-	0	34,80 ± 2,51	1,36 ± 0,08	2,1 ± 0,1
2	36,91	88,56 ± 12,13	12,38 ± 4,02	6,0 ± 1,3
4	61,62	149,33 ± 8,18	12,63 ± 1,17	7,1 ± 1,7
6	63,45	161,10 ± 8,81	12,66 ± 0,21	7,6 ± 1,2