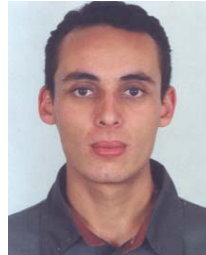


## ANÁLISE E CARACTERIZAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DE COMPÓSITOS REFORÇADOS COM FIBRA DE JUTA E FIBRA DE VIDRO EM AMBIENTE CONTROLADO

Luis Reis, Nuno Lopes, Cristiano Alves e Manuel Freitas

Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior Técnico  
Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa, Portugal  
[luís.g.reis@ist.utl.pt](mailto:luís.g.reis@ist.utl.pt)



### RESUMO

*Dadas as actuais preocupações ambientais e numa perspectiva de desenvolvimento sustentável, foi estudado neste trabalho a viabilidade da aplicação de fibras naturais no reforço de materiais compósitos como alternativa às fibras sintéticas. A fibra natural em causa foi a juta devido à sua abundância na natureza, boas propriedades enquanto reforço de material compósito e quando em fim de vida é biodegradável. A fibra sintética utilizada como referência foi a de vidro do tipo E, por ser a mais usual nas aplicações industriais correntes. Os provetes para estudo foram produzidos por RTM (Moldagem por transferência de resina), com matriz de polyester insaturado e os reforços orientados bi-axialmente e em modo aleatório. Foram realizados dois tipos de simulação ambiental: Teste de absorção de água de acordo com a norma ASTM D570 e teste de envelhecimento acelerado, IEC 60068-2-38. Após estas simulações, foram efectuados ensaios de tracção, flexão em três pontos e de impacto de acordo com as normas experimentais ASTM D3039, D790 e D256. Os resultados obtidos dos ensaios mecânicos permitem concluir que devido à pouca afinidade com a água, o que limita a sua absorção sendo esta inferior a 1%, o material reforçado com fibra de vidro é o que apresenta melhores resultados degradando apenas 15%. Em relação à fibra natural, verificou-se que esta degrada as suas propriedades em cerca de 25% em relação às condições iniciais, pois devido à sua hidrofília absorve mais água. Contudo, se esta for tratada (seca ou lavada com acetona e seca), a degradação pode aumentar até 60%.*

### 1- INTRODUÇÃO

No contexto actual, a preservação e respeito pelo meio ambiente são factores cada vez mais importantes na sociedade. Assim, a utilização de fontes renováveis para o fabrico de produtos e/ou componentes industriais, tornou-se primordial para o desenvolvimento sustentável e manutenção do sistema

produtivo em vigor. O conceito de desenvolvimento sustentável, além da preocupação com a preservação do ambiente, considera também outros requisitos dos produtos e dos consumidores, tais como: funcionalidade, qualidade, segurança, custo, produção, ergonomia e estética. Neste contexto surge o eco-design, que considera os aspectos ambientais em todas as etapas do processo

de desenvolvimento do produto, com a pretensão de que este tenha o menor impacto ambiental possível durante o seu ciclo de vida, [1]. Com o propósito de apresentar materiais de menor impacto ambiental, aliando a utilização de recursos naturais renováveis e inofensivos para a natureza quando em fim de vida, são comparadas neste trabalho as propriedades de materiais compósitos reforçados com fibras sintéticas e naturais quando expostos aos efeitos ambientais que levam à sua degradação.

Na gama de materiais que respeitam os princípios do eco-design, desde a fase de projecto até à aplicação, os compósitos são os que têm sofrido maior evolução no campo das aplicações industriais, com especial relevo para os compósitos reforçados com fibras naturais, dado o seu preço mais acessível quando comparado com as fibras sintéticas, o facto de o reforço ser de um material biodegradável e de fontes renováveis, e as suas características permitirem-lhe competir directamente com os materiais convencionais, como aços e alumínio, numa vasta área de aplicações, [2].

Entre todos os reforços de fibras naturais, o mais promissor parece ser a juta, por ser relativamente barata, quando comparada à fibra de vidro, e comercialmente disponível na forma necessária. Tem maior força e módulo que o plástico, [3] e é uma boa substituta para as fibras convencionais em muitas situações. As fibras de juta têm secções transversais muito irregulares e uma estrutura micro celular composta por micro fibrilhas. Foi descoberto que as propriedades mecânicas e físicas são altamente inconsistentes e dependem da origem geográfica, das condições climáticas de crescimento e das técnicas de produção, [4].

No entanto, estes compósitos encontram mudanças dimensionais durante o uso industrial e do consumidor, especialmente em ambientes quentes e húmidos, pois esta fibra é de natureza

altamente hidrófila e pouco compatível com matrizes orgânicas hidrofóbicas como o polyester. Os compósitos envelhecem rapidamente a condições de temperatura moderadamente alta, o que acontece particularmente na maior parte das regiões tropicais e equatoriais, [5].

Devido à presença de grupos de hidroxilos e outros grupos polares em vários constituintes da fibra de juta, a absorção de humidade é alta, [6] que leva à fraca molhabilidade com a resina e às fracas ligações interfaciais entre o reforço hidrófilo e a matriz hidrofóbica que são responsáveis pelo baixo desempenho ambiental dos compósitos de juta, [7-10].

De maneira a ultrapassar a pobre adesão entre a matriz de resina e as fibras de juta, uma resina multi-funcional como o *polyester-amide polyol* tem sido constantemente usada como agente interfacial, [11].

A dilatação das fibras ocorre devido à absorção de humidade, continuando isto até a parede celular estar saturada de água. Após o ponto de saturação, a humidade existe como água livre na estrutura vazia, levando ao surgimento de defeitos nos compósitos como a delaminação e formação de espaços vazios. Propriedades importantes dos compósitos de juta como a resistência mecânica e estabilidade dimensional são assim afectadas pelos factores ambientais. Para desenvolver compósitos de juta com maior desempenho ambiental sob diferentes condições térmicas, é necessário reduzir a afinidade das fibras com a água, fornecendo-lhes propriedades hidrofóbicas, através de modificações químicas tais como a mercerização, branqueamento ou enxertia com vários materiais orgânicos poliméricos e revestimento superficial com vários agentes interfaciais. Estas modificações químicas da juta não só são esperadas que reduzam a absorção de água, mas também que aumentem a capacidade de molha da fibra quando agregada à resina, o que melhora a força de interface na ligação, sendo ambos factores

importantes para a melhoria do desempenho mecânico, térmico e resistência ao envelhecimento destes compósitos, [12-14]. Branqueamento da juta com cloreto de sódio tem sido efectuado para reduzir a sua hidrofília, [15, 16]. Também o enxerto de monómeros de vinil, poliacrilonitrila (PAN) ou polimetilmetacrilato (PMMA) em fibras de juta tem sido estudado por vários investigadores, [17-21]. Também já houve observações de tratamentos à fibra de juta com acetona, como é feito neste trabalho, que lhe conferem hidrofobia e também melhora a estabilidade dimensional, [22].

Assim, foi feito neste trabalho o estudo do comportamento de um compósito de polyester reforçado com fibras de juta não tratadas e fibras de juta com dois tipos de tratamento: um de secagem, e outro de lavagem com acetona com posterior secagem, quando expostas ao envelhecimento acelerado e a capacidade de absorção de água e consequente recuperação, através da análise da degradação na resistência à flexão, tracção e impacto, e ainda à estabilidade dimensional apresentada pelo compósito.

## **2- MÉTODOS EXPERIMENTAL**

### **2.1 - Materiais**

Fibras de juta dispostas bi-axialmente e de modo aleatório, com gramagem de 310 g/m<sup>2</sup> e 500 g/m<sup>2</sup> respectivamente fornecidas por Castanhal do Pará – Brasil e Tapetes São Carlos – S. Carlos/SP – Brasil. Fibras de vidro dispostas bi-axialmente e de modo aleatório, com gramagem de 300 g/m<sup>2</sup> e 450 g/m<sup>2</sup> respectivamente fornecidas por MR Dinis dos Santos – Portugal, e Matexplas – Portugal. A matriz utilizada foi uma resina de polyester insaturada, de base ortoftálica, tixotrópica e pré-acelerada (Quires 406 PA), produzida pela empresa CPB – Companhia Petroquímica do Barreiro, SA, e o catalisador PMEK (Peróxido de metil cetona), fornecido pela Matexplas.

### **2.2 - Tratamentos das fibras**

As fibras de juta foram sujeitas a dois tipos de tratamento diferente antes de serem usadas enquanto reforço:

- a) secas numa mufla durante 12 horas a 140°C;
- b) lavadas com acetona durante 24 horas e posteriormente secas numa mufla durante 12 horas a 140°C.

### **2.3 - Preparação do compósito**

Os corpos de prova foram produzidos por RTM, colocando previamente o reforço no interior do molde e procedendo-se à degasificação da resina através de uma bomba de vácuo. Deu-se início à sua injeção com 0,3% de catalisador referente ao volume total de resina injectada que foi de um litro. Após a injeção deixou-se o material solidificar no molde durante 60 minutos antes de se abrir e retirar a peça. Finalmente as peças foram curadas à temperatura ambiente por um período de sete dias.

Foram produzidos oito tipos diferentes de materiais em matriz de polyester insaturado, com reforço em fibra de vidro e reforço em fibra de juta normal e tratada, disposta bi-axialmente e de modo aleatório. Os reforços de fibras bi-axiais foram sobrepostos de forma a constituir um laminado de seis camadas com empilhamento simétrico e com a seguinte orientação: [0-90/±45/0-90]<sub>s</sub>. Os oito grupos de materiais e o correspondente volume de fibra são indicados na Tabela 1.

### **2.4 - Ensaio de absorção de água e estabilidade dimensional**

Os ensaios de absorção foram executados de acordo com a norma ASTM D-570, segundo a qual, os provetes foram inicialmente secos durante 24 horas a 50°C, procedendo-se à medição e pesagem, esta com a designação de Peso Seco (1).

Tabela 1- Tipos de materiais compósitos produzidos

	Normal	Fibra Seca	Fibra Lavada e Seca
Fibra de Vidro Bi-axial tipo E (21%)	A	-	-
Fibra de Vidro Random tipo E (9%)	B	-	-
Fibra de Juta Bi-axial (31%)	C	E	G
Fibra de Juta Random (14%)	D	F	H

De seguida, foram totalmente mergulhados em água destilada maximizando a superfície em contacto com a água, durante 24 horas a 23°C. Após este procedimento, secou-se com cuidado a superfície dos provetes para voltar a medir e pesar de forma a saber qual foi a absorção de água. Por fim, os provetes foram colocados no forno novamente a 50°C durante 24 horas, e procedeu-se a novas medidas e pesagens, com a designação Peso Seco (2), de modo a perceber qual a recuperação que o material teve após a absorção quer em peso quer dimensionalmente. Este ensaio foi realizado numa mufla Memmert com capacidade de aquecimento até 200°C. Para estes cálculos a norma define o seguinte:

$$\% \text{Aumento de Peso} = \frac{\text{Peso molhado} - \text{Peso Seco (1)}}{\text{Peso Seco (1)}} \times 100$$

$$\% \text{Matéria diluída na Imersão} = \frac{\text{Peso Seco (1)} - \text{Peso Seco (2)}}{\text{Peso Seco (1)}} \times 100$$

A percentagem de absorção de água é dada pelo aumento de peso após a imersão, excepto no caso em que há matéria do provete que se dilui na água, sendo nesse caso dada pela soma de ambos os valores. Outra das conclusões retiradas diz respeito à estabilidade dimensional do material, tentando perceber como variam as suas dimensões com a absorção e se consegue recuperar a dimensão inicial, sendo para esse efeito medida a sua direcção maior, neste caso, o comprimento do provete. Foram assim usadas as seguintes expressões:

$$\% \text{Var. após abs.} = \frac{\text{Comp. Molhado} - \text{Comp. Seco (1)}}{\text{Comp. Seco (1)}} \times 100$$

$$\% \text{Var. Dimensional} = \frac{\text{Comp. Seco (1)} - \text{Comp. Seco (2)}}{\text{Comp. Seco (1)}} \times 100$$

## 2.5 - Ensaio de envelhecimento

O ensaio de envelhecimento foi feito de acordo com a norma IEC 60068-2-38, numa câmara de simulação de clima, capaz de variar a temperatura entre -20°C e 80°C e a humidade relativa de 15% a 100%. Após a conclusão do ciclo de envelhecimento, que teve a duração de dez dias, e permitiu simular cerca de dois anos de vida dos componentes, procederam-se aos ensaios mecânicos referenciados de tracção, flexão e impacto de acordo com as normas ASTM D-3039, ASTM D-790 e ASTM D-256, respectivamente. Estes resultados foram comparados aos dos materiais correspondentes testados em condições de laboratório, isto é, não envelhecidos.

## 2.6 - Morfologia da superfície de fractura

As superfícies fracturadas dos provetes levaram um banho de ouro e foram observadas num microscópio electrónico de varrimento JEOL JSM-7001F.

## 3- RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 - Ensaio de absorção

Na Tabela 2 são apresentados os resultados relativos à percentagem de absorção de água e na Tabela 3 à

Tabela 2- Resultados do teste de absorção de água

Espécime	Peso Seco 1 (g)	Peso Molhado (g)	Peso Seco 2 (g)	Aumento de Peso (%)	Matéria Diluída (%)	Absorção de Água (%)
A	6,84	6,84	6,84	0,098	0,000	0,098
B	6,28	6,31	6,28	0,424	0,000	0,424
C	5,96	6,28	5,95	5,424	0,175	5,599
D	5,57	5,65	5,58	1,491	-0,175	1,491
E	8,89	8,99	8,89	1,097	0,005	1,137
F	5,71	5,82	5,73	1,812	-0,233	1,812
G	5,46	6,48	5,43	18,788	0,491	19,279
H	5,58	5,65	5,60	1,140	-0,236	1,140

estabilidade dimensional de cada tipo de material. Estes resultados foram obtidos pela média dos valores de três corpos de prova ensaiados. Como análise global é possível dizer que a fibra de vidro apresenta sem dúvida os melhores resultados de estabilidade dimensional e de absorção de água, ambos abaixo de 0,5%, em grande parte devido às características hidrófilas da matriz e do reforço. Os compósitos com fibra de juta bidireccional devido ao grande volume de fibra no material, que não permitem o melhor isolamento do reforço por parte da matriz, tornam-se mais susceptíveis de absorver maior quantidade de água o que pode comprometer as propriedades do material.

Os resultados dos provetes com fibra de juta *random* revelaram-se muito reduzidos para qualquer dos tratamentos aplicados às fibras, e permitem concluir que este material é pouco susceptível de sofrer quer alterações dimensionais significativas, quer alterações das suas

propriedades devido à absorção, dado o seu baixo volume de fibra e bom envolvimento desta. Estes resultados permitem concluir que o volume de fibra presente no material relaciona-se directamente com a percentagem de absorção de água dos compósitos vegetais. Para reduzir essa capacidade de absorção do material, deve ser efectuado um bom revestimento superficial com o uso de *primer* antes de aplicação da tinta e um *gelcoat*, como o verniz, após a pintura, mas mais importante ainda é assegurar uma boa qualidade superficial logo na injeção do material. Durante a realização deste ensaio chegou-se à conclusão que a norma ASTM D570 pode não ser a mais adequada para testar materiais que usem como reforço fibras naturais de natureza hidrófila, pois pelos resultados obtidos é perceptível que o material não tem tempo de recuperar da grande quantidade de água absorvida, particularmente os materiais com reforço em fibra de juta *random*, visto

Tabela 3- Resultados do teste de estabilidade dimensional

Espécime	Comprimento Seco 1 (mm)	Comprimento Molhado (mm)	Comprimento Seco 2 (mm)	Variação após Imersão (%)	Variação Dimensional Total (%)
A	80,59	80,59	80,62	0,000	0,033
B	79,73	79,73	79,77	0,004	0,050
C	79,45	79,53	79,44	0,105	-0,017
D	80,34	80,51	80,38	0,208	0,049
E	15,94	15,97	15,97	0,188	0,167
F	80,87	80,95	80,90	0,107	0,041
G	81,37	81,21	81,13	-0,193	-0,295
H	80,12	80,29	80,16	0,208	0,050



que estes apresentam valores negativos na percentagem de matéria diluída.

Errajhi et al. [23] estudaram a capacidade de absorção de água de materiais compósitos de polyester insaturado reforçado com fibra de vidro do tipo E, e obtiveram uma percentagem de aumento de peso por absorção de água de 0,16%. Este é um valor coincidente com os obtidos nesta análise que se situaram entre os 0,1% para a fibra de vidro bidireccional e os 0,4% para a fibra de vidro *random* normal.

Para o compósito com reforço em fibra de juta, Dash et al, [5], obtiveram valores de absorção mais elevados que os deste trabalho, com a fibra de juta tratada (processo de branqueamento) a ter uma percentagem de absorção de 8,5% e a fibra não tratada de 12,3%. A fibra não tratada teve claramente um valor mais alto quando comparada com o ensaio feito nesta análise que teve um valor de 5,4%. Já em relação à fibra tratada, o resultado do ensaio feito neste estudo, no caso da fibra lavada e seca, apresenta pior resultado (18,8%) contudo, devido à baixa qualidade superficial do provete, seria mais susceptível considerar que o valor mais adequado a esta comparação possa ser o da fibra de juta seca, dadas as semelhanças entre ambos os materiais e o facto de esta apresentar bom acabamento e um valor de absorção de apenas 1,1%. Isto significa que os resultados obtidos neste trabalho são bastante positivos.

Nesse estudo verificou-se ainda a existência de matéria diluída com 0,7% e

1,5% para a fibra tratada e não tratada respectivamente. Também estes valores são bastante superiores o que pode dever-se ao facto de as fibras estarem pouco protegidas pelo polyester e demasiado à superfície do material, o que é sustentado pelo seu elevado volume (60%).

### 3.2 - Ensaio de envelhecimento acelerado

São apresentados nas tabelas 4, 5 e 6 os resultados comparativos dos ensaios de tracção, flexão e impacto respectivamente, antes [24], e após o ensaio de envelhecimento acelerado.

Para obter os resultados de variação no ensaio de envelhecimento em relação às fibras de juta tratadas, foram usados como valores de referência os das fibras não tratadas, por não se ter procedido aos seus ensaios antes de envelhecimento.

Como era esperado todos os materiais apresentam um valor de tensão máxima inferior após o ensaio de envelhecimento, ver Tabela 4. O compósito reforçado com fibra de vidro apresenta menor degradação no período de dois anos, como era de resto esperado devido à característica de hidrofobia da matriz e do reforço, que não são muitos afectados pela humidade como é perceptível pela imagem obtida a partir da superfície de fractura presente na Fig. 1, onde é visível que após o envelhecimento a fibra de vidro consegue manter a sua adesão à matriz.

Tabela 4 – Resultados dos ensaios de tracção após envelhecimento

Espécime	Tmax não Envelhecida (MPa)	Tmax Envelhecida (MPa)	Variação (%)	Módulo Não Envelhecido (MPa)	Módulo Envelhecido (MPa)	Variação (%)
A	60,52	51,26	15,30	8810	8080	8,29
B	25,20	20,60	18,25	4590	4096	10,77
C	28,05	20,50	26,92	1850	1297	29,91
D	25,90	12,50	51,74	3190	3098	2,89
E	30,38	16,24	46,53	5290	1441	72,75
F	24,83	10,88	56,19	4130	2858	30,79
G	37,83	14,80	60,88	4900	1367	72,10
H	25,71	11,91	53,66	3420	3022	11,65

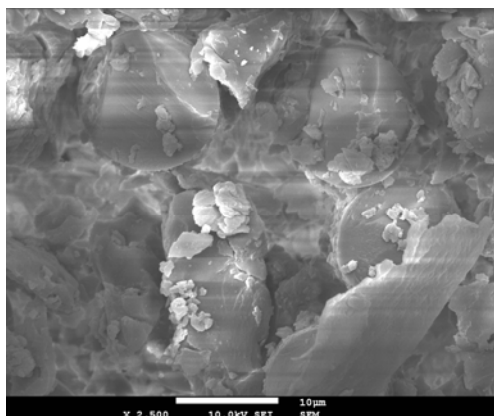


Fig. 1 – Imagem obtida por MEV da superfície de fratura do compósito reforçado com fibra de vidro bidireccional

Isto significa que a degradação do material se dá sobretudo devido às variações de temperatura que, aliado ao elevado coeficiente de dilatação térmica do polyester influi nas propriedades da matriz.

Os materiais reforçados com fibra de juta apresentam resultados similares para os ensaios de tracção e flexão após o envelhecimento, de acordo com o tipo de tratamento aplicado à fibra (ver Tabela 5). A fibra de juta bidireccional não tratada apresentou variações entre 20% e 27%, um valor reduzido quando comparado ao reforço seco e lavado e seco que variaram de 46% a 51%, e de 60% a 68% respectivamente. A humidade absorvida pelo compósito enfraquece o interface entre a fibra e a matriz, devido à formação de espaços vazios incutidos pela água na presença de calor durante a exposição. Essa absorção aumenta a descoesão do interface e consequentemente reduz a

resistência mecânica dos materiais. Este efeito torna-se mais visível e é mais elevado para os reforços tratados, pois por terem sido previamente secos o seu ponto de saturação encontra-se mais elevado e a disponibilidade da fibra absorver mais água é maior, o que degrada mais o material dado que as melhorias verificadas inicialmente nas ligações entre reforço e matriz devido a esses tratamentos deixam de existir.

Isto pode ser verificado a partir da Fig. 2 obtida por microscopia, onde é visível que o polyester preenche completamente as fibras que foram previamente secas, contudo existe uma evidente descolagem entre ambos. Este efeito leva a que as tensões máximas resultantes após o ensaio de envelhecimento sejam semelhantes para qualquer tipo de reforço, o que é sustentado

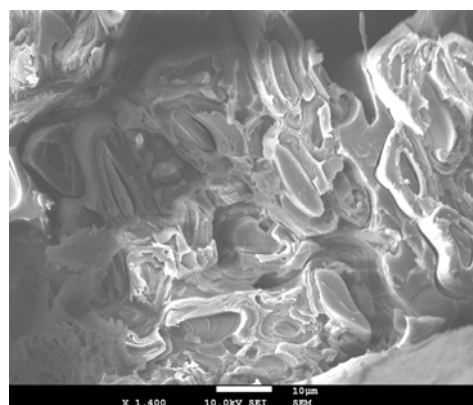


Fig. 2 – Imagem obtida por MEV da superfície de fratura do compósito reforçado com fibra de juta bidireccional seca

Tabela 5- Resultados dos ensaios de flexão após envelhecimento

Espécime	Tmax não Envelhecida (MPa)	Tmax Envelhecida (MPa)	Variação (%)	Módulo Não Envelhecido (MPa)	Módulo Envelhecido (MPa)	Variação (%)
A	180,92	161,27	10,86	6600	5455	17,35
B	70,19	59,22	15,63	4610	3520	23,65
C	45,93	36,43	20,69	2160	1628	24,61
D	42,58	26,74	37,20	3450	2530	26,67
E	59,01	28,61	51,52	3080	1638	46,82
F	45,16	27,24	39,68	4180	2175	47,97
G	55,37	17,32	68,71	3890	863	77,82
H	45,16	27,71	38,65	4180	2366	43,39



Tabela 6- Resultados dos ensaios de impacto no envelhecimento

Espécime	Energia não Envelhecida (J)	Energia Envelhecida (J)	Variação Energia (%)	En/Área não Envelhecida (J/mm <sup>2</sup> )	En/Área Envelhecida (J/mm <sup>2</sup> )	En/Área Variação (%)
A	5,01	5,32	5,91	0,1268	0,1387	8,58
B	1,22	1,18	-3,58	0,0319	0,0291	-9,74
C	1,16	1,67	30,47	0,026	0,0283	8,05
D	0,86	0,38	-126,61	0,0227	0,0074	-206,13
E	-	1,4	17,06	-	0,0263	1,06
F	-	0,36	-139,2	-	0,0072	-214,64
G	-	1,39	16,47	-	0,0272	4,33
H	-	0,37	-132,73	-	0,0076	-198,08

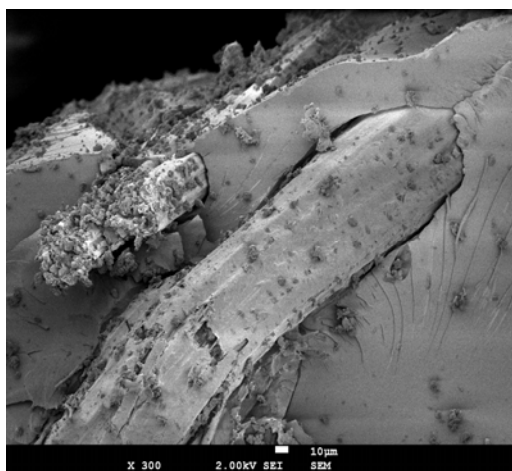


Fig. 3 – Imagem obtida por MEV da superfície de fractura do compósito reforçado com fibra de juta bidireccional não tratada

pela Fig. 3 onde se denota também aqui a separação da matriz por parte da fibra não tratada, tal como aconteceu para a seca. O alto valor de absorção de água que compromete as propriedades do material deve-se ao elevado volume de fibra neste compósito e que o leva a apresentar um comportamento mais dúctil, reduzindo significativamente o valor do seu módulo específico após o envelhecimento, tornando-se capaz de absorver mais energia como se depreende do ensaio de impacto, ver Tabela 6.

O reforço de fibra de juta *random* apresentou valores bastante uniformes e independentes do tipo de tratamento aplicado à fibra. Verificou-se para o ensaio de tracção variações entre 52% e 56%, e para o ensaio de flexão variações entre 37% e 40% para todos os tipos de fibras. Estes pequenos intervalos de variação

estão directamente relacionados com a baixa percentagem de fibra no material, que fica assim mais envolvida pela matriz e consequentemente mais protegida da humidade.

Contudo também neste caso a percentagem de água absorvida é suficiente para enfraquecer o interface entre fibra e matriz conforme mostrado na Fig. 4, a partir da superfície de fractura do material reforçado com fibra lavada e seca. É contudo expectável que grande parte da degradação do material se dê devido às variações térmicas presentes no ensaio de envelhecimento, que influem muitos nas propriedades do polyester. Para este tipo de reforço o valor do módulo



Fig. 4 – Imagem obtida por MEV da superfície de fractura do compósito reforçado com fibra de juta *random* lavada e seca

varia menos, e devido à degradação da matriz o material torna-se muito frágil e

completamente incapaz de absorver energia, como é verificado a partir dos resultados de impacto.

O comportamento do material reforçado com fibra de juta quando solicitado deixa de ser o de um compósito de boa qualidade. Isto porque os dois constituintes do material passam a ter baixa interação, visto que perdem muitos pontos de união e em praticamente todas as situações assiste-se ao fenómeno de *pull-out*, isto é dá-se a quebra da matriz primeiro e as fibras acabam por partir por arrancamento de dentro desta.

Mouzakis et al., [25] investigaram a aplicação da fibra de vidro bidireccional numa matriz de polyester isoftálica e expuseram-na a envelhecimento obtendo uma degradação máxima de 16% no ensaio de simulação de temperatura para a tensão máxima. Estes são valores próximos aos 15% obtidos neste trabalho, e mostram que para o material compósito reforçado com fibra de vidro o principal factor de degradação é a temperatura, que tem grande influência nas propriedades da matriz.

Dash et al., [5] obtiveram valores de degradação próximos aos deste trabalho para a tensão máxima nos ensaios de tracção e flexão para as fibras não tratadas. Contudo, para as fibras tratadas as variações não foram tão acentuadas dado que estes investigadores fizeram um ensaio de envelhecimento natural, o que não expõe tanto o material a condições de humidade e consequente absorção de água, logo não degrada tanto as propriedades do compósito.

#### 4- CONCLUSÕES

A conclusão principal que se retira deste trabalho é a inviabilidade dos materiais compósitos reforçados com fibra de juta em substituírem com eficácia os materiais com reforço em fibra de vidro, devido à sua degradação ser muito superior. A hidrofília da fibra natural é

muito elevada, e em ambientes com elevada percentagem de humidade ou quando em contacto directo com a água, o material degrada muito as suas propriedades.

As fibras tratadas seja por secagem, ou por lavagem com acetona e posterior secagem, apresentam-se como uma boa solução na aplicação imediata, por melhorarem significativamente as propriedades do material, devido à melhoria da adesão da fibra à matriz, contudo, devido à sua rápida degradação tornam-se inviáveis para aplicações estruturais, pois a disponibilidade dessas fibras para absorver água torna-se ainda maior devido à elevação do seu ponto de saturação e portanto a degradação do material acaba por ser ainda maior.

O corte da placa em provetes expõe desde logo duas superfícies que expõem bastante a fibra e facilitam a degradação do material. Essas superfícies devem ser tratadas, ou, aquando da preparação da peça deve-se assegurar que não é cortada nenhuma região do material que contenha fibra. Assim se as superfícies laterais da peça forem exclusivamente compostas por polyester isto assegura mais protecção da fibra e menor capacidade de penetração da água.

O valor elevado do coeficiente de dilatação térmica do polyester influi significativamente nas propriedades do material, pois para compósitos com alto volume de matriz, quando expostos a temperaturas elevadas, esta perde algumas propriedades que se denotam na flexão do material, tornando-o macio e praticamente maleável. Após a transição para baixas temperaturas, criam-se fissuras no material que prejudicam bastante as propriedades do material. Assim, para aplicações com grandes solicitações térmicas devem-se ter em conta outros tipos de materiais como a epoxy ou o polipropileno que apresentam valores de dilatação mais baixos.

## 5- REFERÊNCIAS

- [1] Learn Eco-design website. Disponível em "<http://www.learn-ecodesign.net>" (consultado em Julho de 2009).
- [2] Faruk, O., (2006). "Cars from Jute and Other Bio-Fibers", Michigan State University.
- [3] Shah A.N., Lakkad S.C. (1981) "Mechanical properties of jute reinforced plastics". Fibre Science and Technology.
- [4] Munikenche Gowdaa, T., Naidua, A.C.B., Chhayab Rajput, (1998). "Some mechanical properties of untreated jute fabric-reinforced polyester composites", B.M.S. College of Engineering, Bangalore, India.
- [5] Dash, B.N., et al, (2000). "Novel Low-Cost Jute- Polyester Composites. III. Weathering and Thermal Behavior ", Salipur College, India.
- [6] Rana, A. K.; Basak, R. K.; Mitra, B. C.; Lawther, M.; Banerjee, A. N. (1997). J Appl Polym Sci, 64, 1517.
- [7] Belmares, H.; Barrera, A.; Castillo, E.; Verheuen, E.; Monjaves, M. (1981). Ind Eng Chem Prod Res Dev, 20, 555.
- [8] Verma, D. S.; Verma, I. K.; Verma, M. (1996). Ind Eng Chem Prod Res Dev, 25, 282.
- [9] Das, S.; Mandal, A.; Mitra, B. C.(1994). In IJIRA 17th Annual Technology Conference.
- [10] Mandal, B. K.; Sanyal, S. K.; Mukherjea, R. N.(1991). J Polym Mater, 8, 235.
- [11] Mukherjea, R. N.; Pal, S. K.; Sanyal, S. K.(1983). J Appl Polym Sci, 28, 3029.
- [12] Varma D.S., Varma M., Varma I.K. (1986). J Polym Mater; 3:101.
- [13] Albuquerque et al, (1999). "Effect of wettability and ageing conditions on the physical and mechanical properties of uniaxially oriented jute-roving-reinforced polyester composites". Universidade Federal de Paraíba, Brasil.
- [14] Rao, R. M. V. G. K.; Balasubramanian, N.; Chand, M. (1981). J Appl Polym Sci, 26, 4049.
- [15] Guha Roy, T. K.; Chatterjee, S. K.; Adhikari, D.; Mukherjee, A. K. (1988). J Text Inst, 79, 108.
- [16] Dash, B. N.; Rana, A. K.; Mishra, S. C.; Mishra, H. K.; Nayak, S. K.; Tripathy, S. S. (1999) Polym Compos 20, 62.
- [17] Samal R.K., Samantaray H.S., Samal R.N. (1986) Polymer;18:471.
- [18] Al Siddique F.R., Khan A.U., Sheikh R.A. (1983). J Bangladesh Acad Sci World Text Abst; 16:Abst. No.4196.
- [19] Mohanty, A.K., Misra, M., Drzal, L.T.(2005). "Natural fibers, biopolymers and biocomposites", Taylor and Francis Group, CRC Press.
- [20] Ghosh, P.; Ganguly, P. K. (1993). Plast Rubb Compos ProcAppl, 20, 171.
- [21] Tripathy S.S., Jena S., Misra S.B., Padhi N.P., Singh B.C. (1985). J Appl Polym Sci; 30:1399.
- [22] Anderson M., Tillman A.M. (1989). J Appl Polym, Sci 37:3437.
- [23] Errajhi, O.A.Z. et al. (2005). "Water absorption characteristics of aluminised E-glass fibre reinforced unsaturated polyester composites", University of Portsmouth, UK.
- [24] Alves, C., et al. (2009). Investigating the Usage of Jute Fiber Composites as An Eco-Material in Sustainable Mobility. Fifteenth International Conference on Composite Structures. FEUP, Porto.
- [25] Mouzakis, D.E. et al, (2007). "Accelerated environmental ageing study of polyester/glass fiber reinforced composites-GFRPCs). University of Patras, Greece.