



5º Congresso Científico Têxtil e Moda

24 a 28 de abril de 2017
Centro Universitário FEI - Campus São Paulo

DESENVOLVIMENTO DE MATERIAIS COMPÓSITOS HÍBRIDOS A PARTIR DO REAPROVEITAMENTO DE FIBRA DE VIDRO PROVENIENTE DA INDÚSTRIA EÓLICA

Joseclebio da Fonseca Lucena⁽¹⁾; Fernando Ribeiro Oliveira⁽²⁾; Fernanda Steffens⁽³⁾; Rasiah Ladchumananandasivam⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Professor EBTT; Instituto Federal de Educação Tecnológica do Rio Grande do Norte, Campus Caicó, Caicó/RN; fonseca.lucena@ifrn.edu.br;

⁽²⁾ Professor Adjunto; Universidade Federal de Santa Catarina; Departamento de Engenharia Têxtil, Campus Blumenau, Blumenau/SC; fernandomoc@hotmail.com;

⁽³⁾ Professor Adjunto; Universidade Federal de Santa Catarina; Departamento de Engenharia Têxtil, Campus Blumenau, Blumenau/SC; fernanda.steffens@ufsc.br;

⁽⁴⁾ Professor Titular; Universidade Federal do Rio Grande do Norte; Departamento de Engenharia Têxtil, Campus Universitário, Natal/RN; rlsivam@gmail.com.

Resumo: A utilização da energia eólica em larga escala já evidenciou seus benefícios com grandes projetos ao redor do mundo. Devido ao baixo nível tecnológico dos processos produtivos dos componentes de uma torre de produção deste tipo de energia, ocorre a geração de enormes quantidades de resíduos que podem causar impacto negativo ao meio ambiente. Um dos principais componentes para a concepção dos geradores eólicos são as pás, que são produzidas através da laminação de grandes moldes que contêm, entre outros componentes, a fibra de vidro, da qual um elevado percentual é eliminado no momento do corte do substrato têxtil. Uma forma de se contornar o problema do descarte dos resíduos provenientes da fabricação das pás eólicas é a reutilização destes no desenvolvimento de novos materiais. Esta ação, além de diminuir o impacto ambiental, também pode interferir no custo final de um determinado produto. Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a influência do uso dos resíduos de fibra de vidro no desenvolvimento de compósitos resinados com poliéster. Para tal, inicialmente os substratos de fibra de vidro descartados pela indústria eólica foram avaliados mecânica e morfológicamente. Com o intuito de agregar mais valor e diminuir o impacto ambiental foram produzidos compósitos com fibra de vidro e compósitos híbridos, reforçados por vidro e juta. Os resultados demonstraram que a fibra de vidro descartada possui excelente potencial para ser reaproveitada na concepção de diferentes compósitos.

Palavras chaves: Fibra de vidro. Compósitos Híbridos. Reutilização de Resíduos

Abstract: The use of wind energy on a large scale has already shown its benefits with large projects around the world. Due to the low technological level of the productive processes of the components of a tower of production of this type of energy, the



5º Congresso Científico Têxtil e Moda

24 a 28 de abril de 2017
Centro Universitário FEI - Campus São Paulo

generation of enormous amounts of waste occurs that can cause negative impact to the environment. One of the main components for the design of wind generators is blades, which are produced by laminating large molds that contain, among other components, glass fiber, of which a high percentage is eliminated when cutting the textile substrate. One way of avoiding the problem of discarding waste from the production of wind turbines is to reuse them in the development of new materials. This action, in addition to reducing the environmental impact, may also interfere with the final cost of a particular product. In this way, the present work has the objective of evaluating the influence of the use of fiberglass residues in the development of polyester resin composites. For this, initially the fiberglass substrates discarded by the wind industry were evaluated mechanically and morphologically. In order to add more value and reduce the environmental impact, composites with fiberglass and hybrid composites were produced, reinforced by glass and jute. The results showed that the discarded glass fiber has excellent potential to be reused in the design of different composites

Key words: Fiberglass. Hybrid Composites. Reuse of Waste

1. Introdução

Tradicionalmente, a utilização de fibras têxteis está associada ao vestuário e aos têxteis para o lar. No entanto, com a crescente evolução tecnológica verificada nos últimos anos a sua utilização em outras áreas da engenharia vem ganhando destaque, principalmente quando se necessita de produtos com melhor desempenho. Assim, diversos investigadores ao redor do mundo vêm procurando inovar e maximizar as potencialidades dos diferentes materiais fibrosos em combinação com matrizes poliméricas, criando produtos com propriedades únicas denominados compósitos [1,2,3].

Como muitas tecnologias necessitam de materiais com combinações não usuais, cada vez mais procura-se materiais estruturais que sejam leves, fortes, resistentes a impactos e a abrasão, com baixo custo, ambientalmente corretos e que não sejam facilmente degradados. Para atingir estes objetivos, muitas vezes torna-se necessário a combinação de diferentes substratos que apresentam características diferentes.

Os materiais têxteis oferecem uma vasta gama de possibilidades de reforço para compósitos. Produzidos a partir de diferentes tipos de materiais, podem ser aplicados sobre a forma de fibras curtas, fibras longas, fios, filamentos, mechas, tecidos provenientes da tecelagem e malharia, entrançados dentre outros. A escolha de qual a melhor forma para ser utilizada depende do custo, processo produtivo (técnica de produção) e do desempenho esperado [3].

Vale ressaltar ainda que em um compósito reforçado por materiais têxteis, as fibras que formam o material de reforço são o principal componente do suporte de carga. A eficiência de um reforço fibroso depende do tipo, comprimento, fração



5º Congresso Científico Têxtil e Moda

24 a 28 de abril de 2017
Centro Universitário FEI - Campus São Paulo

volúmica e orientação das fibras na matriz. A escolha ideal destes parâmetros influencia de forma significativa uma ou mais das seguintes características dos materiais compósitos: densidade, resistência à tração, resistência à compressão, módulo de resistência a compressão, desempenho a fratura e fadiga, resistência a tração, resposta a carga de impacto, custo e propriedades térmicas e elétricas [3].

Na maioria das aplicações em forma de compósitos, os polímeros atuam como matriz aglomerante do reforço, dando estrutura aos filamentos e as fibras naturais e ou sintéticas. Vale ressaltar que é imprescindível um avançado conhecimento de todas as propriedades físicas, químicas e mecânicas de cada componente, pois quando estes forem unidos, proporcionarão ao compósito resultante as características desejadas do produto final.

Um dos parâmetros mais importantes dos materiais compósitos é a interface entre o reforço e a matriz, por se tratar da região onde ocorre a interação entre os componentes que irão formar o compósito. A região interfacial é a primeira responsável pela transferência da solicitação mecânica da matriz para o reforço. A adesão não adequada entre as fases envolvidas poderá provocar o início de falhas, comprometendo o desempenho do material [4]. Assim, além das propriedades individuais de cada componente, a interface deve ser a mais adequada possível para otimizar a combinação das propriedades envolvidas [5, 6].

No Brasil, a geração eólica em larga escala já evidenciou seus benefícios com grandes projetos já finalizados ou em andamento no território nacional. Os processos produtivos dos componentes que compõem o desenvolvimento de uma pá eólica, principalmente no que se refere ao corte do material, ainda não possuem grande nível tecnológico. Por esse motivo geram grandes quantidades de resíduos que causam impacto negativo ao meio ambiente, resultando em gastos para a empresa, pois demandam espaço físico para a deposição adequada, tendo inclusive que despender capital extra para isso. As pás, consideradas um dos principais componentes para a concepção dos geradores eólicos, são fabricadas através da laminação de grandes moldes que contêm, entre outros componentes, a fibra de vidro. O custo de fabricação das pás de uma turbina eólica está na ordem de 15 a 20 % do custo total de produção da turbina e um grande percentual da fibra de vidro utilizada é eliminada no momento do corte da manta de tecido. Uma forma de se contornar o problema do descarte dos resíduos provenientes da fabricação das pás eólicas é a reutilização destes no desenvolvimento de novos materiais compósitos, produzidos exclusivamente com a fibra de vidro ou em combinação com outros materiais. Esta ação, além de diminuir o impacto ambiental, também pode interferir no custo final de um determinado produto.

Desta forma, este trabalho tem como meta a caracterização física da manta de não tecido descartada pela indústria eólica e de diferentes tipos de tecido de juta, que serão utilizados como reforço no desenvolvimento de compósitos. Além disso, serão produzidos compósitos exclusivamente com a manta de fibra de vidro e compósitos híbridos, compostos por fibra de vidro e tecido plano de juta com diferentes fatores de cobertura, com o objetivo de otimizar os parâmetros de concepção dos mesmos.

2. Metodologia

2.1. Materiais

Neste estudo foram utilizadas uma manta de vidro proveniente da indústria eólica (resíduo) composta por um multifilamento de título de 4,8 Ktex. Foram também utilizados tecidos de juta com padronagem tafetá formados com fio fiado de título 320 tex, com densidade linear 5fios/cm (Juta A), 4fios/cm (Juta B) e 1,5fios/cm (Juta C). A figura 1 ilustra os substratos de reforço utilizados para o desenvolvimento do compósito.

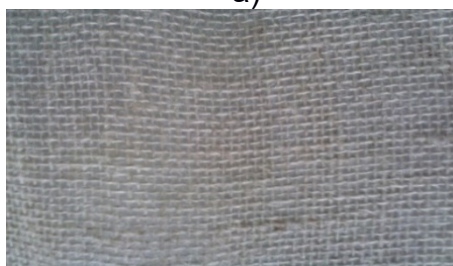
Figura 1: Substratos utilizados como reforço a) Vidro b) Juta A c) Juta B d) Juta C



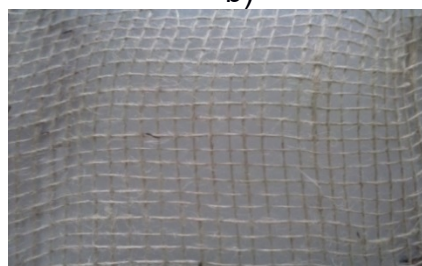
a)



b)



c)



d)

Fonte: autores, 2016

Como matriz foi utilizada uma resina de poliéster, com característica de média reatividade, ótima resistência a hidrólise e a intempéries, elevada distorção térmica e ótimas propriedades físicas em meios ácidos e alcalinos. Foi utilizado como agente catalizador da resina o peróxido metil-etil-cetona, na proporção de 150,0 x 1,0 ml. Esses percentuais foram definidos após realização de diversos ensaios para fabricação dos compósitos e ajustados tendo como parâmetro o tempo de gel da resina, que é de 20 – 25 minutos, que por sua vez define o tempo de trabalho da resina para o processo de impregnação dos elementos de reforço.

2.2. Gramatura e Fator e Cobertura



5º Congresso Científico Têxtil e Moda

24 a 28 de abril de 2017
Centro Universitário FEI - Campus São Paulo

A gramatura dos substratos têxteis foi calculada utilizando a norma NBR 10591. O fator de cobertura foi calculado de acordo com a equação abaixo:

$$\text{Para urdume: } K1 = n1 * \sqrt{Tt1} * 10^{-1}$$

Onde: $K1$ = fator de cobertura de urdume; $n1$ = quantidade de batidas por cm; $Tt1$ = densidade linear do fio de urdume, dada em tex.

$$\text{Para trama: } K2 = n2 * \sqrt{Tt2} * 10^{-1}$$

Onde: $K2$ = fator de cobertura; $n2$ = quantidade de batidas por cm; $Tt2$ = densidade linear do fio de trama, dada em tex.

2.3. Ensaios Mecânicos

Com o objetivo de caracterizar mecanicamente os materiais em estudo foram realizados testes de resistência à tração em um dinamômetro TENSOLAB 3000 da marca MESDAN® em conformidade com a norma.ASTMD 5034.

2.4. Desenvolvimento do Compósito

O processo de fabricação dos compósitos foi realizado pelo método de moldagem por compressão. Para facilitar a retirada das placas foi aplicado em toda a área da superfície do molde de aço cera de carnaúba (Fig. 2a). Em seguida, os elementos de reforço foram cortados na dimensão de 15x20 cm. No próximo passo, os tecidos e não tecidos foram pesados e inseridos separadamente formando camadas no molde de aço. Simultaneamente foi aplicada a resina de poliéster até cobrir totalmente todas as camadas dentro do molde (Fig. 2b e Fig. 2c). Foram produzidas placas utilizando como reforço duas e três camadas da manta de vidro e estruturas sanduiches de vidro com juta (juta/vidro/juta), modificando o tipo de tecidos de juta a ser utilizado (Juta A, Juta B e Juta C), e outra utilizando apenas a resina polimérica de poliéster.

Figura 2: Molde em aço para confecção do compósito, com cera de carnaúba, aplicação da resina e impregnação dos reforços



Fonte: Autores, 2016

Após a impregnação de todas as camadas dos substratos com a resina, o molde foi fechado com bastante cuidado para evitar a formação de bolhas, iniciando o processo de moldagem por compressão. Foram utilizadas 5 toneladas de pressão, mantendo o molde pressionado por 24h. Após esse período as placas dos compósitos poliméricos foram desmoldados e pesados para a realização do cálculo percentual de reforço contido



5º Congresso Científico Têxtil e Moda

24 a 28 de abril de 2017
Centro Universitário FEI - Campus São Paulo

nos compósitos. Para se chegar as condições ótimas supracitadas foram realizados diversos experimentos, variando a pressão de moldagem, a forma de inserção da resina bem como o seu tempo de cura. As condições atmosféricas de temperatura e umidade foram 24°C e 65%, respectivamente.

3. Análise dos Resultados

3.1. Estudo da gramatura e do fator de cobertura

Analisando a gramatura do tecido, segundo a tabela 1, verifica-se três tecidos de juta bem distintos em relação ao seu peso por unidade de área, portanto temos de acordo com a classificação estabelecida (HARROCKS, ANAND, 2000), a Juta A um tecido pesado (acima de 270 g/m²), Juta B um tecido intermediário (entre 135 e 270 g/m²) e a Juta C um tecido leve (abaixo de 135 g/m²).

Tabela 1: Valores da gramatura dos tecidos de Juta e da manta de Fibra de Vidro (TNT)

Reforço	g/m ²	%CV
Juta A	322	0,7
Juta B	231	0,5
Juta C	131	1,6
TNT	1209	1,1

Fonte: autores, 2017

Em relação ao fator de cobertura, pode-se calculá-lo a partir das fórmulas demonstradas a seguir:

$$\text{Juta A} - Kt = (5 * \sqrt{320} * 10^{-1}) + (5 * \sqrt{320} * 10^{-1}) \rightarrow Kt = 17,888$$

$$\text{Juta B} - Kt = (4 * \sqrt{320} * 10^{-1}) + (5 * \sqrt{320} * 10^{-1}) \rightarrow Kt = 14,310$$

$$\text{Juta C} - Kt = (1,5 * \sqrt{320} * 10^{-1}) + (5 * \sqrt{320} * 10^{-1}) \rightarrow Kt = 5,366$$

Tem-se, portanto, um fator de cobertura bem diferente, principalmente em relação a juta A e juta C, o que poderá influenciar na resistência do material, no percentual de reforço no compósito, bem como na adesão entre o reforço e a resina, pois a superfície de contato será totalmente diferente.

3.2. Ensaio Mecânicos

Os resultados de tração e alongamento nos tecidos de juta foram analisados tanto na direção da trama como na direção urdume. Na manta de fibra de vidro analisou-se na direção longitudinal (Tabela 2).

Tabela 2: Ensaio de tração – tecido de juta



5º Congresso Científico Têxtil e Moda

24 a 28 de abril de 2017
Centro Universitário FEI - Campus São Paulo

Substrato	Urdume				Trama			
	Força [N]	CV [%]	Alongamento [%]	CV [%]	Força [N]	CV [%]	Alongamento [%]	CV [%]
Juta A	1046	5,46	9,04	5,05	1019	9,29	11,36	4,02
Juta B	821	8,95	5,92	3,02	771	12,60	10,24	4,45
Juta C	484	19,57	7,84	11,75	458	9,27	12,72	6,82
Fibra de Vidro	2790	14,23	8,64	10,7				

Fonte: autores, 2017

Analisando a tabela 2 pode-se observar que não há diferenças significativas entre a resistência a tração na direção da trama e do urdume para os tecidos de Juta estudados. Isso pode ser comprovado pelos dados obtidos através de título de fio e densidade (número de fios/cm), onde verifica-se valores bastante próximos no sentido da trama e do urdume.

3.3. Concepção dos Compósitos

Os resultados, em relação a gramatura, por se tratarem de distintos materiais utilizados como reforço, revelam que os tecidos de juta apresentam valores diferentes (comparando a amostra A (322 g/m²) com a amostra C (131 g/m²)), o que influencia os resultados obtidos em relação ao teor de reforço dos compósitos – considerando que foram utilizados sempre três camadas. Quando se compara com o compósito produzido somente com a fibra de vidro, esses valores em relação ao percentual de reforço são bem mais elevados.

Após a produção dos compósitos foi verificado o teor de reforço dos mesmos. Os resultados encontrados podem ser visualizados na tabela 3.

Tabela 3: Teor de reforço dos compósitos desenvolvidos

Composição	Teor de Reforço
Juta A/Vidro/Juta A	31,05%
Juta B/Vidro/ Juta B	29,61%
Juta C/Vidro/Juta C	25,24%
Vidro/vidro	54,31%

Fonte: autores, 2017

Percebe-se que o fator de cobertura foi bastante relevante em relação a influência sobre o percentual de reforço dos compósitos desenvolvidos, o que pode influenciar tanto a sua resistência como a interação do reforço com a matriz.

Na concepção dos compósitos foi observado que, na impregnação dos reforços, a quantidade de bolhas formadas era bem maior quando utilizados os tecidos de juta. Para resolução deste problema, foi diminuído a quantidade de catalizador utilizado, aumentando assim o tempo de gel. Apesar disso, após desmoldar a placa, ainda foram identificados, mesmo que em menor quantidade e em locais isolados, bolhas (Fig. 4). A presença de bolhas pode causar a perda na resistência e falta de homogeneidade em áreas específicas das placas. O manuseio foi realizado procurando-se eliminar as bolhas formadas para a parte lateral do molde, inserindo de forma cautelosa a resina de poliéster + catalizador e colocando na prensa uniformemente a pressão adequada.

Figura 4: Região de bolhas formadas nas placas



Placa com Fibra de Vidro



Placa Juta+Vidro+Juta

Fonte: Autores, 2016

A figura 5 ilustra os compósitos após otimizadas as condições supracitadas.

Figura 5: Compósitos a) JutaA/Vidro/JutaA b) JutaC/Vidro/JutaC c) JutaB/Vidro/JutaB d) Vidro/Vidro



a



b



5º Congresso Científico Têxtil e Moda

24 a 28 de abril de 2017
Centro Universitário FEI - Campus São Paulo



c



d

Fonte: Autores, 2016

4. Conclusão

De acordo com os resultados apresentados, pode-se concluir que a manta de vidro que seria descartada ao meio ambiente possui um excelente valor de resistência à tração com valores superiores a 2700N, evidenciando que estruturalmente está em excelente estado.

Os tecidos de Juta em estudo apresentaram propriedades mecânicas e morfológicas bastante distintas (fator de cobertura, gramatura e resistência à tração). Verificou-se que quanto maior o fator de cobertura maior a resistência a tração dos tecidos utilizados e conseqüentemente maior o percentual de reforço obtido nos compósitos desenvolvidos.

A concepção de um compósito sem a presença de defeitos não é uma tarefa fácil, sendo necessário verificar de forma cautelosa os parâmetros ideais (deposição da resina, tipo de resina, percentual de catalizador, número de camadas, pressão e tempo de moldagem) para o desenvolvimento do compósito.

Foi possível obter, além de um compósito reforçado apenas com fibra de vidro, compósitos híbridos (juta+vidro+juta) os quais apresentaram excelentes propriedades qualitativas. Os testes de tensão deformação, flexão e resistência ao impacto dos compósitos desenvolvidos serão realizados posteriormente, com o intuito de estudar a influência do teor de reforço e do tipo de material utilizado nas propriedades citadas.

5 – Referências Bibliográficas

[1] FERREIRA, A., FERREIRA, F. & PAIVA, M. C. 2012. **Textile Sensor Applications with Composite Monofilaments of Polymer / Carbon Nanotubes.** *Advances in Science and Technology*, 80, 65-70.



5º Congresso Científico Têxtil e Moda

24 a 28 de abril de 2017
Centro Universitário FEI - Campus São Paulo

[2] OLIVEIRA, F. R., FERNANDES, M., CARNEIRO, N. & PEDRO SOUTO, A. 2013. **Functionalization of wool fabric with phase-change materials microcapsules after plasma surface modification.** *Journal of Applied Polymer Science*, 128, 2638-2647.

[3] FANGUEIRO, R. **Optimização do desenvolvimento de preformas em malha para materiais compósitos**, Dissertação de doutorado, Universidade do Minho;

[4] Mirtânia Antunes Leão, **Fibras de Licuri: Um reforço alternativo de compósitos poliméricos**, Dissertação de Mestrado, UFRN.

[5] Maron, G.; Harel, H.; Neumann, S. **Fatigue Behavior and Dependent Properties of Aramid Fiber/Carbon Fibre hybrid Composite**, *Composites, Composites*, 20 (6): 537-544, (1989)

[6] Fernando, G.; Dickson, R.F.; Adam, T.; Reiter, H.; Harris, B. **Fatigue Behavior of Hybrid Composites: Part 1: Carbon/Kevlar Hybrids**, *Journal of Materials Science*, 23: 3732-3743, (1998).

[7] HORROCKS, A. R.; S. C.; **“Handbook of Technical Textiles”**. Cambridge Woodhead Publishing Limited; 2000.