

ANÁLISE DE PESO E RESISTÊNCIA EM LAMINADOS DE FIBRA DE VIDRO EM RESINA POLIÉSTER ATRAVÉS DE ENSAIOS DE FLEXÃO

Sara Ribeiro Chagas, sara.ribeiro.chagas1@gmail.com¹
Frederico Ozanan Neves, fred@ufs.br¹

¹Universidade Federal de São João del Rei, Praça Frei Orlando 170, Centro, São João del Rei, MG, Brasil.

Resumo: Tendo em vista a importância do estudo dos materiais compósitos, o presente trabalho procurou analisar a resistência e massa de laminados de fibra de vidro. O estudo foi fomentado pela necessidade da utilização da fibra de vidro em protótipo veicular de eficiência energética, porém o emprego dos resultados aqui descritos pode ser feito em outros projetos na área de engenharia. Para a análise, foram realizados ensaios mecânicos de flexão de 30 amostras no Centro de Inovação e Tecnologias em Compósitos (CITeC) da UFSJ, na máquina SHIMADZU AG-X Plus 100kN utilizando como padrão a norma Internacional ASTM D790. Um passo importante na análise foi a padronização da fabricação das amostras, utilizando o método de compressão, mesmo tempo de cura e quantidade de resina poliéster para as duas réplicas feitas em cada tipo de laminado. Dessa forma, foi possível avaliar a tensão máxima de flexão que as amostras resistiam e sua massa, sendo que o objetivo era definir o laminado que possuísse boa resistência e baixo peso para futuras aplicações. Os dados obtidos foram tratados através do critério de Chauvenet, que busca excluir medições que estejam fora de um intervalo padrão. De acordo com os resultados obtidos, foi perceptível que o material que melhor aliou tolerância à tensões e leveza foi o laminado de três camadas de tecido de fibra de vidro. A pesquisa foi importante, por fim, para contribuir com os estudos de resistência e peso de compósitos e, consequentemente, futuras aplicações em engenharia.

Palavras-chave: Compósitos, Fibra de Vidro, Peso, Flexão.

1. INTRODUÇÃO

A exigência dos requisitos de desempenho em estruturas aeroespaciais, navais e automobilísticos vem proporcionando o desenvolvimento de novos materiais, bem como de novas técnicas de fabricação (CAPELLA, 2012). Normalmente elevados valores de resistência e rigidez específicas são procurados, obtendo-se frequentemente soluções por meio da utilização de materiais compósitos, particularmente polímeros termofixos dotados de reforços fibrosos.

A fibra de vidro é o material mais empregado na fabricação de compósitos, devido às propriedades de resistência mecânica, baixo custo, ser incombustível e quimicamente estável, apresentar resistência à corrosão e à umidade (GEHLEN, 2014 *apud* BARROS, 2010; OTA, 2004).

As propriedades mecânicas de um material são usualmente definidas a partir de testes laboratoriais considerando normas nacionais ou internacionais, sendo que um dos testes mais importantes feitos em materiais é o ensaio de flexão. Segundo Callister (CALLISTER, 2002), o ensaio de flexão é um ensaio destrutivo que consiste em uma aplicação de força em determinados pontos da amostra, que geralmente é fabricada em forma de viga ou barra.

O presente estudo será focado na análise, através de ensaios de flexão, de resistência e peso de amostras em laminados de poucas camadas de fibra de vidro, aplicando-se, ao final, o tratamento estatístico do critério de Chauvenet nos dados obtidos. A realidade que fomentou a pesquisa foi a necessidade da utilização de materiais compósitos vivenciada pela equipe de competição Milhas Gerais da Universidade Federal de São João del Rei (UFSJ), cujo objetivo é construir um protótipo automobilístico de eficiência energética para participar da competição internacional *Shell Eco Marathon*, organizada pela multinacional petrolífera *Royal Dutch Shell*.

É importante salientar, no entanto, que as aplicações dos resultados desta pesquisa transcendem para outras áreas da engenharia, contribuindo assim para o estudo acadêmico e científico dos materiais compósitos.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Com objetivo de analisar peso e resistência de laminados de fibra de vidro em rigor científico, foram feitos ensaios de flexão de três pontos na máquina SHIMADZU AG-X Plus 100kN, com amostras segundo os padrões internacionais da norma ASTM D790. O Ensaio de flexão de três pontos consiste na aplicação de uma carga crescente na

metade do comprimento de um corpo de prova apoiado em dois roletes. Mede-se, como resultado do ensaio, o valor da carga versus a deformação máxima. A Figura 1 tem um esquema deste tipo de ensaio de flexão.

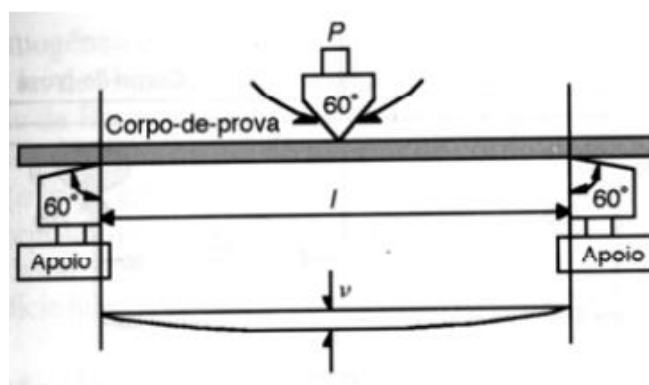


Figura 1. Esquema de Ensaio de Flexão de 3 pontos.

2.1. Padrão de Fabricação das Amostras

Os testes foram feitos em três tipos diferentes de laminados com poucas camadas, já que o objetivo principal era analisar materiais leves. Assim, os ensaios foram em amostras de duas e três camadas de tecido fibra de vidro e amostras laminadas com 1 camada de tecido com 1 camada de manta de fibra de vidro.

A diferença entre manta e tecido está essencialmente na orientação das fibras. Enquanto o tecido tem orientação ordenada, garantindo alta resistência, a manta possui fibras com arranjos aleatórios, unidas em forma de lençol por ligantes. A Fig. 2 apresenta a manta e o tecido de fibra de vidro utilizados para a laminação das amostras.

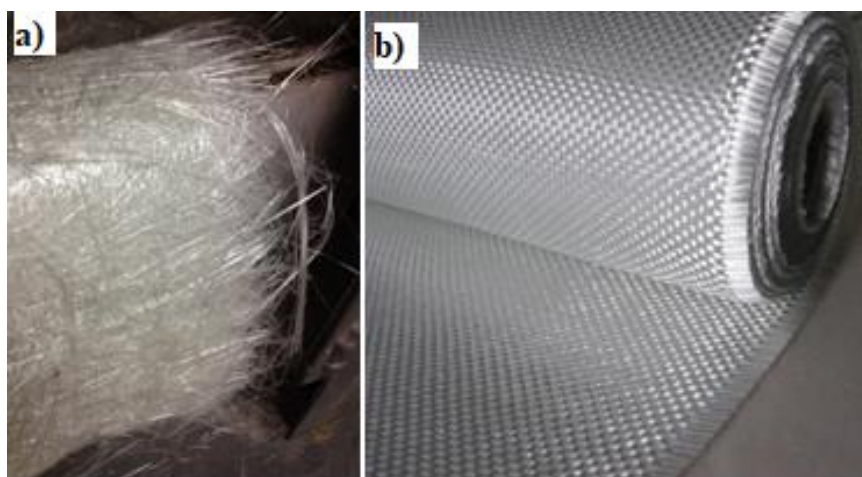


Figura 2. Diferença ilustrativa entre tipos de fibra de vidro. (a) Manta de Fibra de Vidro; (b) Tecido de Fibra de Vidro.

Considerando que materiais compósitos fabricados manualmente por laminação quase nunca possuem uniformidade em sua extensão, devido a falhas principalmente de erro humano, faz-se necessário uma padronização do processo para conseguir igualar ao máximo as amostras e tornar os resultados laboratoriais mais homogêneos. Para as análises no presente artigo, foram laminadas o total de 30 espécies, sendo que cada tipo de laminado teve duas réplicas e, de cada réplica, foram obtidas 5 amostras. Também foi mantido o mesmo operador para a laminação e a quantidade de resina poliéster para as réplicas.

Todas as amostras foram laminadas utilizando rolo de lã de carneiro para pintura com suporte de 15 cm e submetidas à compressão uniforme durante o tempo de cura. O tempo de cura médio - intervalo entre o fim da laminação até o início do ensaio de flexão - foi de 2 dias. A Tabela 1 esquematiza o processo de fabricação, sendo que a quantidade média de resina poliéster está em gramas (g) e o tempo médio de cura em dias.

Tabela 1. Padrão de Fabricação Utilizado nas amostras.

Laminado de Fibra de Vidro	Sigla para Nomear a Amostra	Quantidade de Réplicas	Amostras por Réplica	Total de Amostras	Quantidade Média de Resina (g)	Tempo de Cura (dias)
2 camadas de Tecido	2T	2	5	10	30	2
3 camadas de Tecido	3T	2	5	10	50	2
1 camada de manta + 1 camada de Tecido	MT	2	5	10	60	2

A resina utilizada foi o Adesivo para Laminação Maxi-Rubber® (Indústria Química Ltda.). De acordo com a Ficha de Informações de Segurança de Produto Químico (2015), a resina foi fabricada com sistema de classificação segundo a norma ABNT – NBR 14725 – Parte 2:2010 e o Sistema Globalmente Harmonizado para a Classificação e Rotulagem de Produtos Químicos, ONU. A composição e informação sobre os ingredientes estão descritos na Tab. 2.

Tabela 2. Composição e Informação sobre os Ingredientes da Resina.

ITEM	INFORMAÇÃO
Nome do Produto	Adesivo para Laminação
Produto Químico	MISTURA
Nome Químico Comum ou Genérico	Resina Poliéster
Nome Químico Comum ou Técnico	Monômero de Estireno
Concentração em %	30 - 40

Fonte: Ficha de Informações de Segurança de Produto Químico (FISPQ), 2015.

Após a laminação de cada réplica em placas, as amostras foram cortadas segundo a norma ASTM D790 no padrão de forma retangular, nas dimensões 127 mm x 12,7 mm. A Figura 3 apresenta algumas amostras cortadas para serem ensaiadas. Por fim, foi escrito na própria amostra uma designação para identificação no software.



Figura 3. Algumas Amostras cortadas e identificadas.

2.2. Padrões do Ensaio de Flexão Segundo Norma Internacional

Os ensaios de flexão foram realizados no Centro de Inovação e Tecnologias em Compósitos (CITeC), localizado na Universidade Federal de São João del Rei (UFSJ). Foi utilizada a máquina SHIMADZU AG-X Plus 100kN, que funciona como o Hardware para o software receptor de dados TRAPEZIUMX. Algumas especificações relevantes do equipamento estão contidas na Tab. 4.

Tabela 4. Especificações do Equipamento SHIMADZU AG-X Plus 100kN.

ITEM	INFORMAÇÃO
Modelo	Floor Test Frame
Nome	AG-X Plus 100 kN
Capacidade de Carga	Máximo de 100kN

ITEM	INFORMAÇÃO
Intervalo de Velocidade de Avanço	0,0005 – 1000 mm/min
Máxima Velocidade de Retorno	1200 mm/min
Precisão da Velocidade	±0,1% da velocidade do ensaio
Precisão da Posição	A maior entre ±0,1% do valor marcado e ±0,01mm

O ensaio de flexão foi de três pontos, ou seja, as amostras foram biapoeadas em roletes separados por uma distância (L_0), com a carga variável sendo aplicada no centro da amostra. A velocidade da ponta aplicadora de carga foi mantida constante à 2 mm/min, que é a máxima permitida pela norma ASTM D790. A Figura 4 mostra o sistema durante o ensaio para exemplificação.



Figura 4. Sistema durante Ensaio de Flexão de três pontos.

A dimensão da distância entre os roletes (L_0) foi padronizada através da norma ASTM D790. De acordo com o item 7.5 (ASTM, 2007), para materiais compósitos laminados e altamente anisotrópicos, o espaço entre os roletes deve ser calculado através de uma relação de 60:1 entre o vão dos roletes (L_0) e espessura média das amostras (e) de acordo com a Eq. 1:

$$L_0 = 60 \cdot e \quad (1)$$

A espessura (e) foi calculada através da média aritmética de três medições ao longo de cada amostra feita com paquímetro. As espessuras médias encontradas para cada tipo de laminado estão dispostas na Tab. 5.

Tabela 5. Espessura das amostras e distância entre os roletes para os ensaios.

Laminados de Fibra de Vidro	Quantidade de Amostras	Espessura Média das Amostras - e (mm)
2 Tecidos (2T)	10	0,41
3 Tecidos (3T)	10	0,59
1 Manta + 1 Tecido (MT)	10	0,71

As 10 amostras de cada tipo de laminado foram ensaiadas em dias diferentes, mantendo o mesmo tempo de cura para cada réplica. O vão entre os roletes foi calculado a partir da média total das espessuras das amostras ensaiadas no dia. Portanto, para as amostras de 2 tecidos, L_0 foi de 29,5 mm; para as amostras de 3 tecidos, L_0 foi de 35,5 mm e para as espécies mistas, a distância foi de 42,6 mm.

Para compilação dos resultados, foram utilizados os dados de tensão máxima resistida por cada amostra no ensaio. Como o material ensaiado é bem flexível, as amostras não foram deformadas até a ruptura, mas sim até o limite físico que o equipamento permitia. Houve também o controle do ambiente laboratorial à temperatura constante de $23^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$, conforme exigência da norma ASTM D790. Todas as amostras foram pesadas, por fim, em uma balança de precisão $\pm 0,001\text{g}$ disponível no CITEC.

2.3. Teste de Chauvenet

Os resultados obtidos no ensaio de flexão foram submetidos a um tratamento de dados para excluir possíveis valores fora de padrão que não iriam contribuir efetivamente para a análise. Para isso, foi utilizado o Teste de Chauvenet, que consiste em excluir dados que estão fora da tendência dominante da população, supondo que esta segue uma distribuição normal.

Para aplicar o critério de Chauvenet, em primeiro lugar calcula-se uma fração (r) dependente do desvio padrão para cada amostra e faz-se uma comparação com um número padronizado (R_c) que depende do número de amostras (N),

para assim se eliminar os pontos duvidosos. Os valores para a comparação são encontrados experimentalmente na tabela de Chauvenet, dado pela Tab. 6.

Tabela 6. Valores padronizados do Critério de Rejeição (Rc) de Chauvenet.

Número da Medições (N)	Rc
2	1,15
3	1,38
4	1,53
5	1,64
6	1,73
7	1,8
8	1,86
9	1,91
10	1,96
11	2,00
12	2,04

A fração “r” de cada amostra, descrita pela Eq. 2, é a divisão do valor de desvio de cada dado (d_i) pelo desvio padrão de toda a população (σ).

$$r = \frac{d_i}{\sigma} \quad (2)$$

O desvio de cada dado (d_i) e desvio padrão (σ) são calculados de acordo com a Eq. 3 e Eq. 4, respectivamente.

$$d_i = x_i - \bar{X} \quad (3)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{X})^2}{N - 1}} \quad (4)$$

Em que “N” é o número de medições, “ x_i ” é o valor medido e “ $\bar{X}$ ” é a média aritmética dos valores medidos. A rejeição do dado se dá caso a seguinte inequação for verdadeira:

$$r > R_c \rightarrow \text{Reijutado} \quad (5)$$

Caso contrário ($r < R_c$), o dado continua sendo válido para a análise. Para a apresentação dos dados finais, um novo valor médio e um novo desvio padrão são calculados, sem incluir os pontos eliminados. Se diversos pontos extrapolarem o critério-limite estabelecido, é provável que o sistema de instrumentação seja inadequado, ou que o processo sendo medido seja extremamente variável.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os ensaios de flexão geraram as medições de tensão máxima suportada por cada amostra. Os dados da pesagem e tensões das 30 amostras obtidas nos ensaios estão dispostos na Tab. 7. Na nomenclatura da amostra, R1 e R2 representam a réplica na qual a amostra faz parte; 2T, 3T e MT representam se a amostra foi laminada em camadas de fibra de vidro de 2 tecidos, 3 tecidos ou mista (manta e tecido), respectivamente; e o número ao final representa o número dessa amostra dentro da réplica.

Tabela 7. Dados obtidos de massa e tensão máxima suportada pelas amostras.

Amostra	Tensão Máxima Suportada (MPa)	Massa (g)
2T_R1_1	47,6126	1,405
2T_R1_2	25,1751	1,393
2T_R1_3	48,0745	1,409
2T_R1_4	22,1685	1,406
2T_R1_5	43,7178	1,433
2T_R2_1	146,876	1,342
2T_R2_2	148,908	1,254

Amostra	Tensão Máxima Suportada (MPa)	Massa (g)
2T_R2_3	112,644	1,334
2T_R2_4	148,23	1,374
2T_R2_5	108,441	1,336
3T_R1_1	73,6071	2,007
3T_R1_2	160,057	2,01
3T_R1_3	183,7090	2,056
3T_R1_4	136,915	2,076
3T_R1_5	189,209	1,986
3T_R2_1	36,6158	1,938
3T_R2_2	73,1565	1,899
3T_R2_3	106,3940	1,842
3T_R2_4	71,8717	1,911
3T_R2_5	66,3723	2,013
MT_R1_1	42,425	1,729
MT_R1_2	60,1414	1,749
MT_R1_3	63,1680	1,742
MT_R1_4	57,8515	1,768
MT_R1_5	30,2423	1,873
MT_R2_1	48,8616	2,026
MT_R2_2	45,0369	1,849
MT_R2_3	63,8842	1,932
MT_R2_4	60,0534	1,966
MT_R2_5	53,4466	1,803

Com esses dados, foi aplicado o critério de Chauvenet, considerando as populações separadas dos tipos de laminado. Como todas as populações apresentaram 10 dados ($N = 10$), o critério de rejeição (R_c) tem o valor padronizado de $R_c = 1,96$.

As tabelas com os testes para cada laminado estão apresentadas a seguir, onde “ N ” é a quantidade de amostras, x_i é o valor da amostra, “ σ ” é o desvio padrão, “ $\bar{X}$ ” é a média aritmética dos valores em x_i e “ r ” é a fração dada pela Equação 2. O status da amostra foi definido depois da aplicação da condição de rejeição estabelecida anteriormente na Equação 5. A Tab. 8, Tab. 9 e Tab. 10 apresentam as medições de massa, enquanto a Tab. 11, Tab. 12 e Tab. 13 apresentam as medições de tensão.

Tabela 8. Teste de Chauvenet para as medições de massa nas amostras de 2 camadas de Tecido de Fibra de Vidro.

Nº das Amostras	x_i	r	Status
1	1,405	0,687508	aceito
2	1,393	0,460857	aceito
3	1,409	0,763058	aceito
4	1,406	0,706396	aceito
5	1,433	1,21636	aceito
6	1,342	0,50241	aceito
7	1,254	2,164517	rejeitado
8	1,334	0,65351	aceito
9	1,374	0,101993	aceito
10	1,336	0,615735	aceito
Média ($\bar{X}$)		1,3686	
Desvio (σ)		0,052945	
R_c		1,96	

Tabela 9. Teste de Chauvenet para as medições de massa nas amostras de 3 camadas de Tecido de Fibra de Vidro.

Nº das Amostras	x_i	r	Status
1	2,007	0,447707	aceito
2	2,01	0,488162	aceito
3	2,056	1,108479	aceito
4	2,076	1,378181	aceito

Nº das Amostras	x_i	r	Status
5	1,986	0,164519	aceito
6	1,938	0,482768	aceito
7	1,899	1,008689	aceito
8	1,842	1,777342	aceito
9	1,911	0,846867	aceito
10	2,013	0,528618	aceito
Média ($\bar{X}$)		1,9738	
Desvio (σ)		0,074156	
Rc		1,96	

Tabela 10. Teste de Chauvenet para as medições de massa nas amostras mistas de 1 camada de Tecido e 1 camada de manta de Fibra de Vidro.

Nº das Amostras	x_i	r	Status
1	1,729	1,10639	aceito
2	1,749	0,913471	aceito
3	1,742	0,980993	aceito
4	1,768	0,730198	aceito
5	1,873	0,282626	aceito
6	2,026	1,758456	aceito
7	1,849	0,051124	aceito
8	1,932	0,851737	aceito
9	1,966	1,179699	aceito
10	1,803	0,39259	aceito
Média ($\bar{X}$)		1,8437	
Desvio (σ)		0,10367	
Rc		1,96	

Tabela 11. Teste de Chauvenet para as medições de tensão máxima suportada pelas amostras de 2 camadas de Tecido de Fibra de Vidro.

Nº das Amostras	x_i	$(x_i - \bar{X})^2$	r	Status
1	47,6126	1411,666456	0,709813	aceito
2	25,1751	3601,158093	1,133703	aceito
3	48,0745	1377,170655	0,701087	aceito
4	22,1685	3971,047764	1,190504	aceito
5	43,7178	1719,507942	0,783394	aceito
6	146,876	3805,810327	1,165472	aceito
7	148,908	4060,652591	1,20386	aceito
8	112,644	754,0104106	0,51876	aceito
9	148,23	3974,703548	1,191051	aceito
10	108,441	540,8531641	0,439357	aceito
Média ($\bar{X}$)		85,18475		
Desvio (σ)		52,93243		
Rc		1,96		

Tabela 12. Teste de Chauvenet para as medições de tensão máxima suportada pelas amostras de 3 camadas de Tecido de Fibra de Vidro.

Nº das Amostras	x_i	$(x_i - \bar{X})^2$	r	Status
1	73,6071	1309,256	0,668413	aceito
2	160,057	2526,697	0,928559	aceito
3	183,7090	5463,909	1,365478	aceito
4	136,915	735,7255	0,501061	aceito
5	189,209	6307,26	1,467078	aceito
6	36,6158	5354,572	1,351747	aceito

Nº das Amostras	x_i	$(x_i - \bar{X})^2$	r	Status
7	73,1565	1342,068	0,676737	aceito
8	106,3940	11,53784	0,062747	aceito
9	71,8717	1437,854	0,700471	aceito
10	66,3723	1885,161	0,802061	aceito
Média ($\bar{X}$)		109,7907		
Desvio (σ)		54,13362		
Rc		1,96		

Tabela 13. Teste de Chauvenet para as medições de tensão máxima suportada pelas amostras mistas de 1 camada de Tecido e 1 camada de manta de Fibra de Vidro.

Nº das Amostras	x_i	$(x_i - \bar{X})^2$	r	Status
1	42,425	101,7292	0,931915	aceito
2	60,1414	58,22163	0,70501	aceito
3	63,1680	113,5697	0,984656	aceito
4	57,8515	28,51998	0,493433	aceito
5	30,2423	495,899	2,057548	rejeitado
6	48,8616	13,31878	0,337198	aceito
7	45,0369	55,86352	0,690586	aceito
8	63,8842	129,3476	1,05083	aceito
9	60,0534	56,88644	0,69688	aceito
10	53,4466	0,875179	0,086437	aceito
Média ($\bar{X}$)		52,51109		
Desvio (σ)		10,82298		
Rc		1,96		

Pelo critério, apenas uma amostra da população de tensões e uma amostra da população de massa foram rejeitadas, o que indica que o método foi eficiente no critério de seleção e que os dados realmente tendem a ter uma distribuição normal. O teste poderia ser repetido nas populações que tiveram dado descartado, porém é aconselhável aplicar o critério de Chauvenet apenas uma vez.

Após o tratamento dos dados pelo método de Chauvenet, foram construídos os gráficos, utilizando o *Software Excel* do pacote *Microsoft Office®*, para melhor visualização comparativa entre os três tipos de laminados testados. A Fig. 5 e a Fig. 6 representam, respectivamente, os dados coletados de massa e tensões suportadas para os laminados em resina poliéster de 2 camadas de tecido (2T), 3 camadas de tecido (3T) e o laminado misto de 1 camada de tecido com 1 camada de manta de fibra de vidro (MT).

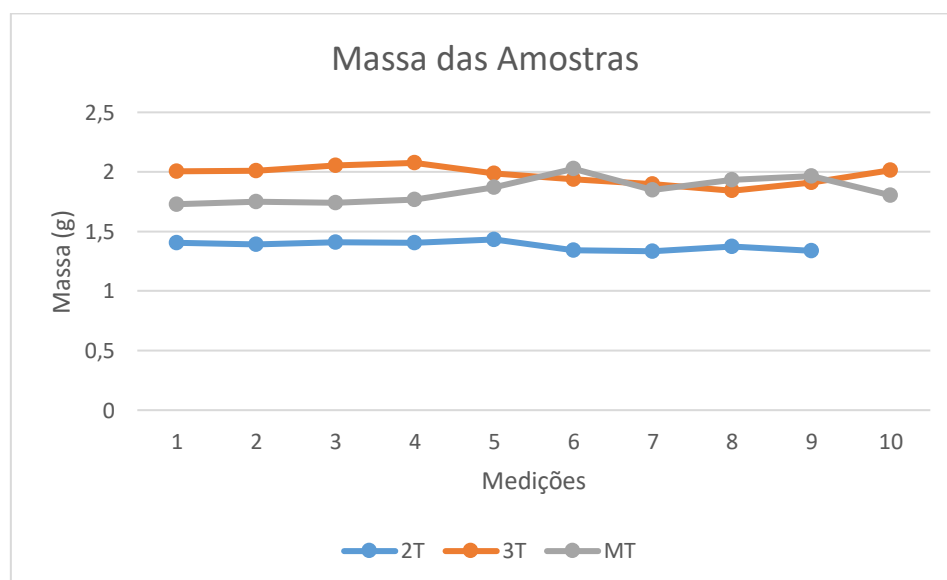


Figura 5. Gráfico das medições de massa das amostras.

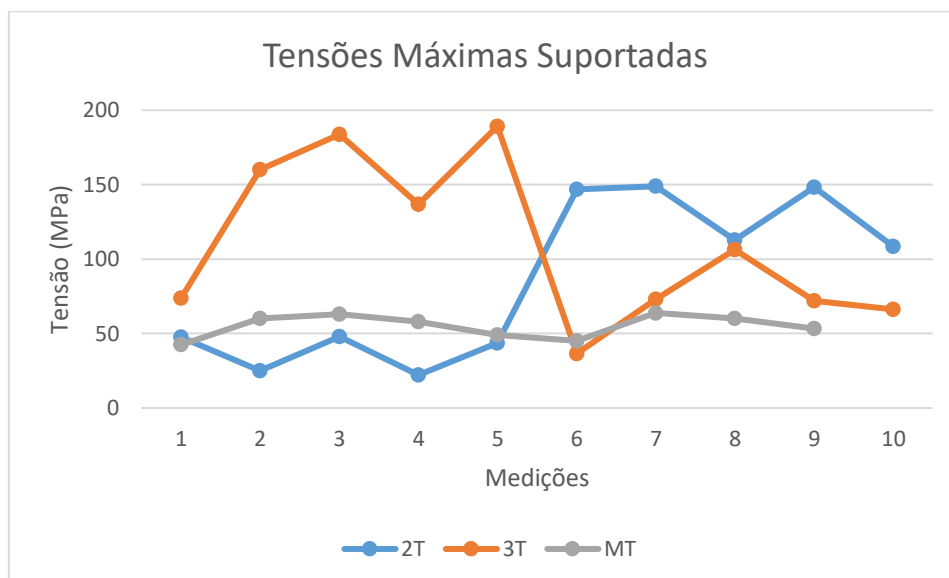


Figura 6. Gráfico das medições das tensões máximas suportadas pelas amostras.

É possível perceber que as medições de massa foram bem uniformes dentro dos dados de cada tipo de laminado. Isso mostra que o corte das amostras foi homogêneo e padronizado. É visível também que o laminado de 2 camadas de Tecido (2T) possui a menor massa, o que era de se esperar já que teve a menor quantidade de material utilizado no processo de fabricação.

O laminado de 3 camadas de tecido (3T) e o laminado misto (MT) apresentaram dados de massa bem próximos, sendo que o gráfico mostra dados de MT tenuamente menores. A aproximação dos valores desses laminados mostra que a manta de fibra de vidro agrega bastante massa ao material, já que apenas uma camada dela com tecido foi quase equivalente a 3 camadas de tecido.

Vale ressaltar também que a quantidade de resina utilizada para laminar 3 camadas de tecido foi menor que para laminar as camadas mistas, como mostrado na Tabela 1, o que é um ponto positivo para os laminados em 3 tecidos já que se gasta menos do produto adesivo.

Considerando a Fig. 6, é visível que os dados de tensão suportada para os laminados de 2 e 3 camadas de tecido tiveram certa inconsistência se comparados com o laminado misto de manta e tecido.

A diferença no gráfico ocorre exatamente na mudança de réplica, como também é perceptível pelos dados apresentados na Tab. 7, em que dentro de uma mesma réplica os dados de tensão aparecem consistentes, porém quando se compara com outra réplica há disparidade nos resultados.

Esta dissimilaridade pode, provavelmente, estar relacionada ao processo de fabricação dos laminados. Apesar de o máximo número de variáveis pensadas do experimento terem sido controladas e padronizadas entre réplicas diferentes, possivelmente surgiram fatores de interferência que impediram a semelhança entre as réplicas. Apurar quais aspectos do experimento interferiram nos resultados é uma das mais importantes questões para se obter valores mais uniformes.

Porém, analisando graficamente, é notável que o laminado de 3 camadas de tecido de fibra de vidro tem uma tendência a suportar maiores tensões se comparado com os outros. O de 2 tecidos possui os menores valores nas primeiras medições, como era de se esperar já que é o que possui menos quantidade de fibra entre os laminados, mas tem um salto de dados nas últimas medições. É razoável pensar que, nesse caso, a segunda réplica desse laminado conteve algum erro na fabricação e seria necessário, possivelmente, fazer mais algumas réplicas para confirmar a hipótese de que realmente o laminado com menor quantidade de fibra é o menos resistente.

O laminado misto de manta e tecido apresentou os dados mais consistentes e possibilitou a noção de que essas amostras suportaram as menores tensões. Têm-se em tese que isso ocorreu devido à quantidade de fibra utilizada, porém seria necessário a confirmação pela laminação de uma terceira réplica.

Por fim, as amostras fabricadas em 3 camadas de tecido de fibra vidro possuem uma predisposição a suportarem as maiores tensões, devido ao uso da maior quantidade de fibras em sua laminação. Isso realmente acontece nas primeiras medições, como é visível na Fig. 6, porém as últimas medições apresentam-se com valores menores que os laminados de 2 tecidos. Para esta parte do gráfico, existe a possibilidade de erro e interferência em algum dos dois laminados (3 tecidos ou 2 tecidos) e seria interessante a investigação dos resultados através de dados de mais réplicas utilizando o mesmo padrão das duas primeiras.

4. CONCLUSÕES

A utilização dos compósitos se torna cada vez mais necessária devido à sua capacidade de associar boa resistência e baixo peso. Materiais mais leves que possam suportar grandes cargas são vantajosos no sentido de alívio de massa e

tensões, já que projetos desse tipo resultam em menos esforços mecânicos não só para fabricação, mas também em questão de transporte e possibilidade de falha.

O laminado fibra de vidro em resina poliéster é um dos materiais mais comuns nas aplicações atuais por atrelar boa resistência, leveza e baixo custo ao ser comparado com outros tipos de compósitos. Portanto, pesquisas focadas na observação do comportamento físico desse material se fazem essenciais. Este artigo teve o objetivo de contribuir para fomentar o estudo da fibra de vidro através da análise de três tipos de laminado em resina poliéster.

Neste trabalho, em uma análise geral, foi visível que laminados de 2 camadas de tecido de fibra de vidro possuem menor peso e resistência se comparados com 3 camadas e camada mista. As amostras de 3 tecidos apresentam o maior peso, mas também maior resistência se comparado com a camada mista de manta e tecido, sendo que a discrepância de massa foi visivelmente bem baixa em relação à diferença de tensão máxima suportada.

Tendo como base os resultados obtidos neste artigo e procurando boa relação entre peso e tensão suportada, o material mais ideal dentre os três analisados é o laminado com 3 camadas de fibra de vidro para aplicações que exigem certa resistência.

Por fim, levando em consideração que alguns resultados não foram consistentes, seria relevante futuramente investigar a causa das dispersões e possivelmente fabricar mais réplicas para obter distribuições mais precisas nas populações.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem especialmente à FAPEMIG pelo apoio financeiro ao projeto. Este trabalho também teve auxílio imprescindível dos professores responsáveis pelo Centro de Inovação e Tecnologias em Compósitos (CITeC) da Universidade Federal de São João del Rei (UFSJ), Prof. Dr. Leandro José da Silva e Prof. Dr. Túlio Hallak Panzera, bem como do técnico Sr. André Luis dos Santos.

6. REFERÊNCIAS

American Society for Testing and Materials. “D790- Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Material”. New York, ASTM, 2007.

Callister, W. D. “Ciência e Engenharia dos Materiais: Uma Introdução”. 5. ed., LTC, Rio de Janeiro, Brasil, 589 p., 2002.

Capella, M. C. *et al.* “Propriedades Mecânicas em Laminados Fibras de Vidro e Fibra de Carbono em Resina Epóxi”. Anais do 20º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Vol.1, Joinville, SC, Brasil, pp. 11663-11671, 2012.

Ficha de Informações de Segurança de Produto Químico (FISPQ) - Adesivo para Laminação. 2015. Disponível em: <<http://www.maxirubber.com.br/uploads/fispq/adesivo-para-laminacao-maxi-rubber.pdf>>. Acesso em: 18 set. 2017.

Gehlen, L. R. “Efeito da Utilização de Fibras Lignocelulósicas (Açaí e Curuá) em Compósitos com Matriz de Resina Poliéster Insaturado”. Dissertação de Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais- Universidade Federal do Paraná, 104 p., 2014.

Holman, J.P. “Experimental Methods for Engineers”. 5. ed., McGraw-Hill, New York, USA, 1990.

Orlando, A.F. “Análise da Incerteza de Medição em um Processo Metrológico”. Dissertação de Mestrado em Metrologia, Qualidade e Inovação - Departamento de Engenharia Mecânica, PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2004.

Shimadzu. AG-X Plus Series Dual Column Electromechanical Test Frame. “Hardware Specifications”. Disponível em: <http://www.ssi.shimadzu.com/products/product.cfm?product=testing_agxPlus_specifications>. Acesso em: 18 ago. 2017.

6. RESPONSABILIDADE AUTORAL

“O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(is) pelo conteúdo deste trabalho”.

WEIGHT AND RESISTANCE ANALYSIS OF FIBERGLASS LAMINATE IN POLYESTER RESIN THROUGH BENDING TESTS

Sara Ribeiro Chagas, sara.ribeiro.chagas1@gmail.com¹
Frederico Ozanan Neves, fred@ufsj.edu.br¹

¹Universidade Federal de São João del Rei, Praça Frei Orlando 170, Centro, São João del Rei, MG, Brasil.

Abstract. *Considering the importance of composites materials study, the present work sought to analyze the strength and mass of fiberglass laminates with two and three layers of fabric and also mixed samples of mats and fabric. The study was initially promoted by the need to apply fiberglass in the vehicular efficiency prototype of Milhas Gerais team of the Federal University of São João del Rei (UFSJ), but the use of the results here described can be applied in any other engineering area. For the analysis, mechanical bending tests of 30 samples were performed at the Center of Innovation and Technologies in Composites (CITeC) of UFSJ, in the SHIMADZU AG-X Plus 100kN machine using as standard the International Standard ASTM D790. An important step in the analysis was the standardization of the samples, using the compression method, the same curing time and amount of polyester resin for the two replicates made in each type of laminate. In this way, it was possible to evaluate the maximum bending stress that the samples withstand and their mass, being the objective to define the laminate that had good strength and low weight for future applications. There was a treatment in the data obtained using the Chauvenet method, which seeks to exclude measurements that are outside a standard range. According to the results, the material that best combined tensile tolerance and lightness was the laminate of three fiberglass fabric layers. The research was important, finally, to contribute to the studies of strength and weight in composites and, consequently, future applications in engineering.*

Keywords: *Composites, Fiber, Glass, Weight, Bending.*