

Influência da Espessura nas Propriedades Mecânicas de Compósitos Híbridos Interlaminares de Curauá/Vidro/Poliéster

Clarissa C. Angrizani, Sandro C. Amico
Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS

M^a Odila H. Cioffi
Grupo de Fadiga e Materiais Aeronáuticos - UNESP – Univ Estadual Paulista

Ademir J. Zattera
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Resumo: O interesse do uso de fibras vegetais (ex. juta, sisal e curauá) para aplicações mais nobres, como em reforço de materiais compósitos poliméricos, vem aumentando com o passar dos anos devido a aspectos diversos e, em especial, à legislação ambiental e à conscientização sobre o ciclo de vida dos produtos. Diante deste contexto, o objetivo deste trabalho é obter materiais compósitos híbridos interlaminares curauá/vidro/poliéster insaturado por moldagem por compressão à quente e analisar a dependência das suas propriedades mecânicas com a espessura. A resistência *short beam* da amostra mais espessa diminuiu devido ao seu maior teor de vazios. Além disso, a amostra mais delgada apresentou menor dureza, e resistência ao impacto, à tração e ao cisalhamento Iosipescu, atribuído em parte a sua menor fração volumétrica de fibras. De modo geral, o laminado considerado mais adequado foi aquele formado por oito camadas, sendo quatro de fibra de vidro e quatro de curauá, desde que esforços fletores não sejam críticos.

Palavras-chave: Laminado, híbrido, fibra vegetal, curauá.

Influence of Thickness on the Mechanical Properties of Hybrid Interlaminar Composite of Curauá/Glass/Polyester

Abstract: The interest in the use of vegetable fibers (e.g. jute, sisal and curaua) for more noble applications, such as reinforcement in polymeric composite materials, has increased over the years due to a variety of aspects, especially those related to environmental legislation and community awareness regarding the life cycle of products. In this context, the aim of this work is to develop hybrid interlaminar curaua/glass/insaturated polyester composites by hot compression molding and to analyze their mechanical properties as a function of the thickness of the laminate. The short beam strength of the thickest sample decreased due to its higher void content. Furthermore, the thinnest sample showed lower hardness, and lower impact, tensile and Iosipescu shear strength, partly attributed to its lower fiber volumetric fraction. Thus, in general, the most adequate laminate was the one comprising eight layers, four of which were of glass fiber and four of curaua fiber, but only if flexural loading is not critical.

Keywords: Laminate, hybrid, vegetal fiber, curaua.

Introdução

Atualmente é cada vez maior a necessidade de uma melhor interação entre o homem e a natureza. Durante décadas o conceito de novos produtos não priorizava questões relacionadas ao meio-ambiente, como a opção por um processo que gerasse menos resíduos ou simplesmente a escolha de uma matéria-prima de origem natural. Entre essas matérias-primas alternativas, pode-se citar as fibras vegetais, tais como juta, sisal e curauá.

Características como biodegradabilidade, abundância, baixo custo e baixa densidade^[1] tornam as fibras vegetais uma alternativa interessante para uso em compósitos em substituição à fibra de vidro^[2]. Por outro lado, estas possuem propriedades mecânicas limitadas, além de alta absorção de umidade, embora estas características possam ser minimizadas com

sua utilização simultânea com fibras sintéticas, produzindo compósitos híbridos. Esta hibridização possibilita a obtenção de materiais com características combinadas de ambas a um custo reduzido em relação aos compósitos reforçados exclusivamente com fibras sintéticas^[3].

Como cita a literatura^[4,5], basicamente podem-se dividir os compósitos híbridos em duas classes: intralaminar e interlaminar, sendo que o primeiro se diferencia do outro por possuir dois ou mais tipos de reforços em uma mesma lâmina, enquanto que no compósito interlaminar, pode-se por microscopia (na seção transversal do compósito), observar os limites de uma lâmina, visto que os constituintes de uma lâmina para outra são diferentes.

Thiruchitrabalam et al.^[6] estudaram compósitos híbridos intralaminares de banana/kenaf (ambas curtas) em matriz poliéster analisando a influência da arquitetura das fibras e observaram que o uso de fibras na forma de tecido aumentou a resistência à tração, ao impacto e à flexão em relação às fibras arranjadas aleatoriamente. Velmurugan e Manikandan^[7] analisaram as propriedades mecânicas de compósitos híbridos de fibras de palmira/vidro e verificaram que compósitos interlaminares, dependendo da combinação das lâminas, apresentaram resultados superiores aos compósitos intralaminares, pois a área de contato da fibra de palmira com a fibra de vidro no compósito interlaminar é maior. Ahmed e Vijayarangan^[8] estudaram compósitos híbridos laminados de tecidos de juta/vidro e resina poliéster e observaram que a sequência de empilhamento das lâminas afetou significativamente a resistência à flexão e *short beam*, o que não foi observado na resistência à tração.

O objetivo deste trabalho foi investigar o efeito da variação do número de camadas nas propriedades de um material compósito híbrido interlaminar curauá/vidro/resina poliéster insaturado mantendo a fibra de curauá nas camadas centrais do laminado.

Experimental

Materials

Os seguintes materiais foram usados para a moldagem dos compósitos:

- Resina poliéster insaturado Arazyn 13.0 da Ara Ashland;
- Iniciador AAP (peróxido de acetil-acetona);
- Mantas de fibra de vidro-E (gramatura = 300 g/m²) da Owens Corning;
- Fibra de curauá: As fibras, provenientes da região norte, foram desembaraçadas, cortadas no comprimento de 50 mm e imersas em água destilada por 1 h para remover sujidades, tais como graxa e poeira. As fibras foram então secas por 1 h a 100 °C em estufa com circulação de ar. As mantas foram subsequentemente produzidas com fibras curtas de curauá distribuídas de modo manual, homogêneo e aleatório.

Moldagem dos compósitos e caracterização

Os compósitos foram moldados usando mantas de fibra de curauá (chamadas de “c”) e mantas de fibra de vidro (chamadas de “v”), com um teor volumétrico total de fibras (%V_f) próximo a 32%, e uma razão em volume de curauá:vidro de aproximadamente 1:1. As mantas foram empilhadas na cavidade interna do molde metálico (dimensões: 170 × 170 × 20 mm).

A matriz polimérica foi preparada com resina poliéster e 1,5% do iniciador AAP em massa, após foi degasada em um banho de ultrassom por 5 min anteriormente à sua deposição sobre os reforços. Em seguida foi aplicada uma pressão de 128 kgf/cm² por 70 min a 90 °C, e após foi feito pós-cura dos compósitos em uma estufa com circulação de ar a 80 °C/1,5 h. Assim, foram produzidos os laminados [v/c]_s, [v₂/c₂]_s e [v₃/c₃]_s com espessuras

teóricas de 1,5; 3,0 e 4,5 mm, respectivamente, onde “s” representa simetria.

As fibras de curauá, menos rígidas e resistentes e que mostram maior absorção de água, foram inseridas entre as camadas de manta de fibra de vidro, pois assim reduz-se a taxa de absorção de umidade pelo compósito, o que ocasiona decréscimo nas suas propriedades mecânicas. Além disso, para esforços de flexão, é importante ter fibras mais rígidas e resistentes nas camadas mais externas do laminado, normalmente tanto do lado trativo quanto compressivo, e, sendo ele simétrico, significa colocar as fibras de vidro na primeira e na última camada do laminado.

A seção transversal dos laminados foi analisada em microscópio óptico da marca Carl Zeiss modelo AX10 para se determinar a espessura real das lâminas por software específico (Remote Capture DC). Avaliou-se a densidade dos compósitos de acordo com a norma ASTM D792, usando um picnômetro, e o teor de vazios foi determinado a partir da norma ASTM D2734, com os seguintes valores de densidade das fibras de curauá e vidro, 1,38 e 2,54 g/cm³, respectivamente^[9,10].

O teste de dureza Barcol (norma ASTM D2583) foi executado usando um durômetro da marca Bareiss, com dez medidas na superfície de cada laminado, e o ensaio de impacto (norma ASTM D256) em uma máquina de impacto Ceast, em corpos-de-prova não entalhados (6 para cada laminado) e com um martelo de 11 J. Realizou-se ensaio de flexão (norma ASTM D790) em oito corpos-de-prova de cada família usando uma EMIC DL3000 com célula de carga de 200 kN, e ensaio de tração (ASTM D3039, 8 corpos-de-prova para cada família), usando uma INSTRON-8801 com célula de carga de 100 kN, e velocidade de 2 mm/min, com extensômetro.

O ensaio de *short beam* foi realizado utilizando a norma ASTM D2344, no mesmo equipamento do ensaio de flexão. Foram ensaiados catorze corpos-de-prova de cada família (dimensões: comprimento/espessura = 6; largura/espessura = 2) e uma razão *span*/espessura = 4. O ensaio Iosipescu (ASTM D5379) foi usado para determinar a resistência ao cisalhamento no plano (oito corpos-de-prova por família) utilizando uma Shimadzu modelo AG-X com célula de carga de 50 kN e velocidade de 1 mm/min.

Os resultados das propriedades mecânicas de cada família de laminado foram analisados com a ferramenta estatística ANOVA de fator único em um software comercial para um nível de confiança de 95%. Os resultados da ANOVA estão representados nos gráficos e nas tabelas através de letras, sendo que letras distintas indicam diferenças significativas.

O software CompositePro (utilizado para análise macro e micromecânica de materiais compósitos) também foi utilizado para auxiliar a justificar o resultado do ensaio de tração. Neste, utilizou-se como dados de entrada as propriedades mecânicas de compósitos de curauá/poliéster e vidro/poliéster^[11]. Este software gera dados de distribuição de tensão nas diferentes camadas de um laminado quando exposto a cargas tratativas ou momentos fletores, baseado na teoria clássica de laminados (modelo de Kirchhoff-Love).

Resultados e Discussões

A Figura 1 apresenta as imagens obtidas por microscopia óptica (MO) das seções transversais dos laminados produzidos. As principais características que podem ser visualizadas incluem a boa dispersão das fibras vegetais (apesar da existência de algumas partes ricas em resina na amostra $[v_3/c_3]_s$ devido ao baixo teor de fibra utilizado), a presença de fibras em direções aleatórias (inclusive algumas quase perpendiculares ao plano de observação) e alguma variação na espessura das lâminas individuais (pois foram produzidas a partir de mantas) que podem ser observadas nas Figuras 1a-c. As espessuras médias das diferentes camadas também foram obtidas a partir destas micrografias e estão apresentadas nestas imagens. A relação de média de espessura das camadas curauá/vidro foi de 1,55:0,72; 1,05:0,73 e 0,96:0,58 para os laminados $[v/c]_s$, $[v_2/c_2]_s$ e $[v_3/c_3]_s$, respectivamente.

A espessura real total dos compósitos, a fração volumétrica e a fração mássica total real em fibras estão apresentadas na Tabela 1. Para determinar a fração mássica e volumétrica, as mantas de fibra de vidro e de

curauá e o compósito obtido foram pesados e inseridos nas equações de micromecânica de compósitos utilizando também as suas densidades. Vê-se que a espessura média das camadas dos diferentes laminados está diminuindo ao invés de permanecer constante, como seria o esperado. Isso ocorreu porque os espaçadores utilizados no molde não tinham a espessura adequada e com isso a fração volumétrica total de fibras aumentou levemente de 32,0 para 36,4%. O mesmo ocorreu para a fração mássica total de fibras, que aumentou na faixa de 43,3 a 54,0%.

Nos resultados de densidade (Tabela 2), foi notada uma diferença significativa entre a amostra $[v_3/c_3]_s$ e as demais. Isto foi ocasionado por dificuldades na fabricação desse compósito pela sua grande espessura, que impossibilitava uma moldagem uniforme devido às dimensões da cavidade interna do molde. Por isso mesmo, o teor de vazios deste compósito (Tabela 2) foi bastante superior aos outros dois, que foram equivalentes entre si.

A dureza é uma propriedade quantificada na superfície dos materiais, assim é esperado que materiais com maior quantidade de mantas de fibra de vidro na

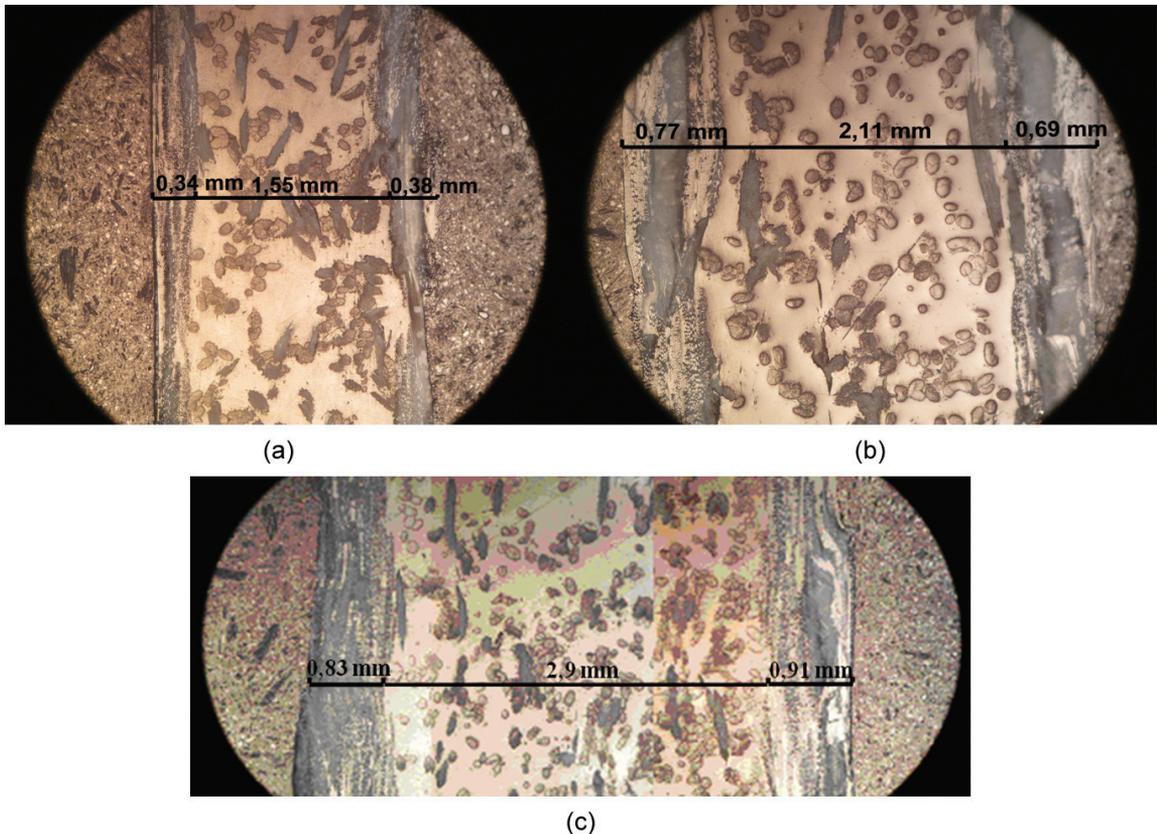


Figura 1. Imagens obtidas por MO dos laminados: (a) $[v/c]_s$, (b) $[v_2/c_2]_s$ e (c) $[v_3/c_3]_s$.

Tabela 1. Espessura real, fração mássica e fração volumétrica dos compósitos.

Amostras	Espessura real (mm)	Espessura média das camadas (mm)	Fração volumétrica total de fibras (%)	Fração mássica total de fibras (%)
$[v/c]_s$	2,27	0,56	32,0	43,3
$[v_2/c_2]_s$	3,57	0,44	34,3	46,3
$[v_3/c_3]_s$	4,64	0,39	36,4	54,0

superfície apresentem um valor superior, visto que a fibra de curauá é menos rígida e pode permitir um alto grau de imperfeições na superfície do compósito. Reddy e Naidu^[12] relatam que isto pode ser devido à melhor transferência de tensão entre a fibra de vidro e a matriz. Neste trabalho, a dureza aumentou com o número de camadas de vidro na superfície, estabilizando-se quando havia pelo menos duas camadas (Tabela 3), um limite influenciado pela zona de influência da ponteira do durômetro que alcança apenas as primeiras camadas do laminado.

A resposta em impacto de um material compósito está relacionada com sua rigidez, que é influenciada pela natureza dos materiais constituintes, da interface fibra/matriz, da construção e da geometria dos compósitos, além das condições do ensaio. A resistência ao impacto aumentou do compósito $[v/c]_s$ para o $[v_2/c_2]_s$, que é mais espesso, ambos com um tipo de falha do tipo *hinge*, ou seja, uma ruptura incompleta na qual uma parte da amostra não consegue manter-se acima da horizontal quando a outra parte da amostra é mantida na vertical (ângulo inferior a 90°) (Tabela 3).

Para o compósito mais espesso, a falha foi apenas parcial para o martelo utilizado (de 11 J), mesmo assim, pode-se dizer que a resistência ao impacto deste compósito foi superior a dos demais. Assim, a resistência tende a diminuir quando há muitas camadas adjacentes de curauá no compósito, ou ainda, quando há menos camadas de vidro externas, por onde a trinca se inicia. Além disso, observa-se um aumento no momento de inércia com o aumento da espessura do compósito. Jawaid et al.^[13] verificaram as propriedades ao impacto de compósitos

Tabela 2. Densidade e teor de vazios dos compósitos produzidos.

Amostras	Densidade (g.cm ⁻³)	Teor de vazios (%)
$[v/c]_s$	1,41 ± 0,01	7,64
$[v_2/c_2]_s$	1,43 ± 0,01	8,51
$[v_3/c_3]_s$	1,29 ± 0,07	16,44

Tabela 3. Dureza Barcol e resistência ao impacto média dos compósitos.

Amostras	Dureza Barcol	Resistência ao impacto (kJ.m ⁻²)
$[v/c]_s$	33 ± 5 ^a	51,0 ± 10 ^a (<i>hinge</i>)
$[v_2/c_2]_s$	53 ± 4 ^b	103,8 ± 13 ^b (<i>hinge</i>)
$[v_3/c_3]_s$	51 ± 4 ^b	107,8 ± 12 ^b (<i>partial</i>)

^{a,b} sobrescritos distintos indicam diferenças significativas entre amostras.

híbridos fibra de palmeira (EFB) e juta nas configurações EFB/juta/EFB e juta/EFB/juta e observaram que a primeira apresentou resistência ao impacto superior devido às melhores propriedades mecânicas da EFB.

A Figura 2 mostra os resultados do ensaio de flexão respectivamente. O aumento de quatro para oito camadas resultou em um aumento aproximado de 28% na resistência e de 84% no módulo. Isto é uma consequência do aumento da quantidade de fibra de melhores propriedades mecânicas nas superfícies combinado ao aumento da espessura do compósito. Além disso, o compósito com menor espessura apresentou uma maior deformação, como esperado para um ensaio de flexão de vigas com diferentes espessuras.

Considerando que no ensaio de tração a distribuição de cargas é realizada da mesma maneira entre todas as lâminas do compósito, e que o cálculo de tensão considera as diferenças de espessura entre eles, todos os compósitos deveriam ter módulo e resistência similares, o que só não foi obtido para o laminado mais delgado, como pode ser observado na Tabela 4. Isto foi provavelmente uma consequência do processo manual de produção das mantas de curauá que pode ter gerado uma distribuição de fibras não muito uniforme no plano que se torna mais crítica quando se utiliza uma pequena quantidade de fibras, que por sua vez, pode ocasionar danos prematuros durante o ensaio. A outra justificativa se refere à fração volumétrica relativamente mais baixa desse laminado em relação aos demais. Como esta é uma propriedade dominada pelas fibras, a diferença observada pode ser considerada parcialmente responsável pela diminuição desses valores.

Para a análise da distribuição de cargas no laminado em tração (Figura 3), aplicou-se uma força normal em X equivalente à carga de ruptura média obtida para cada família. Pode-se observar tensões mais elevadas nas camadas de fibra de vidro que nas camadas de curauá, o que é esperado devido à maior rigidez das lâminas de fibra de vidro. Em um trabalho prévio do grupo^[11], compósitos de fibra de vidro e de fibra de curauá com % V_f similar apresentaram resistência à tração de 76 e 190 MPa, respectivamente. Pode-se notar que o laminado $[v_3/c_3]_s$ foi o que mais se aproximou destes limites, e portanto fatores como fabricação ou espessura/teor de fibras variável de camadas devem ter influenciado a análise dos outros laminados.

Na Tabela 5, vê-se que, como esperado, os resultados de cisalhamento Iosipescu (no plano) e o de short-beam geram valores distintos. Ressalta-se que a distribuição

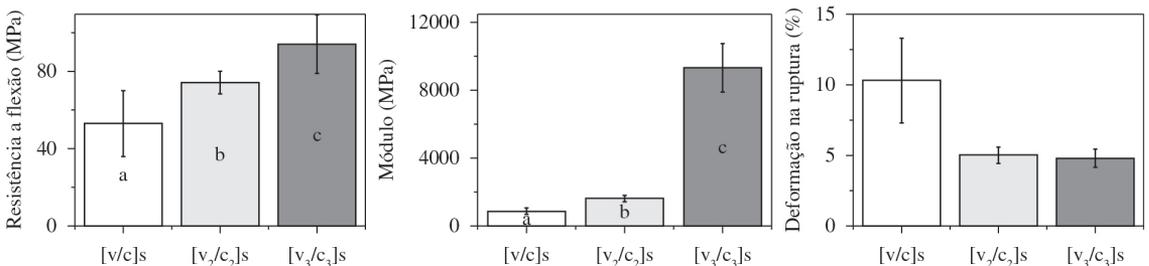


Figura 2. Valores médios de resistência, módulo e deformação na ruptura em flexão.

Tabela 4. Propriedades médias em tração dos compósitos.

	Resistência (MPa)	Módulo (MPa)	Deformação na ruptura (%)
$[v/c]_s$	81 ± 13^a	5566 ± 655^a	$1,5 \pm 0,2$
$[v_2/c_2]_s$	119 ± 9^b	6455 ± 664^b	$1,8 \pm 0,2$
$[v_3/c_3]_s$	118 ± 7^b	6744 ± 447^b	$1,9 \pm 0,3$

^{a,b} sobrescritos distintos indicam diferenças significativas entre amostras.

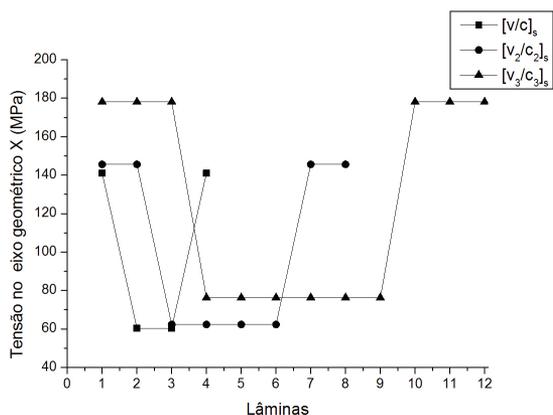


Figura 3. Distribuição de tensões por lâmina em tração para as três famílias de compósitos.

Tabela 5. Resistência ao cisalhamento Iosipescu e resistência *short beam*.

Amostras	Resistência Iosipescu (MPa)	Resistência <i>short beam</i> (MPa)
$[v/c]_s$	38 ± 3^a	---
$[v_2/c_2]_s$	53 ± 4^b	17 ± 3^a
$[v_3/c_3]_s$	53 ± 4^b	12 ± 1^b

^{a,b} sobrescritos distintos indicam diferenças significativas entre amostras.



Figura 4. Vista lateral das amostras $[v/c]_s$ (a), $[v_2/c_2]_s$ (b) e $[v_3/c_3]_s$ (c).

de carregamento apresenta um formato parabólico para o short-beam e um valor praticamente constante para o Iosipescu^[14], que por isso é considerado uma condição de cisalhamento puro.

Os três laminados deveriam ter resistência Iosipescu similar, o que novamente só não foi obtido para o laminado mais delgado o que, como acima, pode ser uma consequência do processo de produção das mantas ou da menor fração volumétrica relativa desse laminado em relação aos demais, pois esta propriedade também é dominada pelas fibras. O comportamento observado na falha das amostras $[v/c]_s$, $[v_2/c_2]_s$ e $[v_3/c_3]_s$ foi similar ao relatado por Souza^[15], que menciona uma elevada concentração de tensão na raiz do entalhe do corpo-de-prova, ocasionando um aumento da espessura das faces e delaminação do compósito, como pode ser observado na Figura 4 que está representado a imagem da vista lateral das amostras após o ensaio.

Os resultados de resistência *short beam* estão apresentados na Tabela 5. Este ensaio não pode ser realizado na amostra $[v/c]_s$, pois a sua pequena espessura mostrou-se inadequada para o suporte disponível. Esta propriedade é dominada pelas características da matriz, da adesão fibra/matriz e da qualidade dos laminados, e, como se pode ver, o laminado $[v_3/c_3]_s$ apresentou um ILSS baixo, corroborando os resultados anteriores, pois o laminado muito espesso deve ter dificultado a penetração da resina no reforço fibroso, resultando em um compósito com um maior teor de vazios.

Conclusões

A amostra $[v_3/c_3]_s$ apresentou resistência *short beam* inferior à amostra $[v_2/c_2]_s$, que foi atribuído ao alto teor de vazios da amostra $[v_3/c_3]_s$, pois nesta a resina não impregnou o reforço da maneira mais adequada (imprescindível para uma boa resistência interlaminar) devido às limitações do processo de moldagem por compressão e do ferramental utilizados. Ressalta-se que a molhabilidade da manta de fibra de vidro é maior que a de curauá, e que a espessura da $[v_3/c_3]_s$ é 50% maior que a $[v_2/c_2]_s$.

No ensaio de cisalhamento Iosipescu, as amostras $[v_3/c_3]_s$ e $[v_2/c_2]_s$ apresentaram valores similares. Entretanto, a amostra $[v/c]_s$ apresentou resultado diferente devido à menor fração volumétrica de fibras, defeitos na fabricação do compósito (maior heterogeneidade de distribuição de fibras) e a menor área da superfície do corpo-de-prova que é presa neste ensaio, sendo sujeita a esforços de compressão que podem ter sido determinantes da falha.

A quantidade de mantas de fibra de vidro influenciou a dureza e o módulo em flexão. Variando-se a espessura do laminado, de $[v_2/c_2]_s$ para $[v_3/c_3]_s$, obteve-se um aumento significativo de rigidez, e um aumento menor

na resistência, explicados pela variação do momento de inércia entre estas amostras. Já em tração, os compósitos deveriam dar os mesmos resultados, o que só não ocorreu para o mais delgado, $[v_2/c_2]_s$, pois este continha um teor de fibras menor que os demais por questões de processo. A resistência ao impacto apresentou tendências similar à resistência à tração.

Considerando as propriedades obtidas para as famílias de compósitos avaliadas neste estudo, o laminado $[v_2/c_2]_s$ apresentou o melhor desempenho geral. Entretanto, se na aplicação houver carregamentos críticos em flexão seria mais indicado utilizar o laminado $[v_3/c_3]_s$ mais espesso. Os laminados híbridos estudados podem ser substituídos de compósitos com apenas fibras de vidro, em aplicações que requerem propriedades mecânicas moderadas, contribuindo assim para a redução do uso de matérias-primas não renováveis.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq, à CAPES e à FAPERGS. Também à Agrale.

Referências Bibliográficas

1. Spinacé, M. A. S.; Lambert, C. S.; Fermoselli, K. K. G. & De Paoli, M.-A. - Carbohydr. Polym., **77**, p.47 (2009). <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2008.12.005>
2. Jayaraman, K. - Compos. Sci. Technol., **63**, p.367 (2003). [http://dx.doi.org/10.1016/S0266-3538\(02\)00217-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0266-3538(02)00217-8)
3. Nayak, S. K.; Mohanty, S. & Samal, S. K. - Polym. Comp., **31**, p.1247 (2010).
4. Short, D.; Summerscales, J. - Composites, **10**, p.215 (1978). [http://dx.doi.org/10.1016/0010-4361\(79\)90022-3](http://dx.doi.org/10.1016/0010-4361(79)90022-3)
5. Ha, K. S. & Kim, S. J. & Nasir, S. U. - Compos. Struct., **94**, p.3290 (2012). <http://dx.doi.org/10.1016/j.compstruct.2012.04.015>
6. Thiruchitrambalam, M.; Alavudeen, A.; Athijayamani, A.; Venkateshwaran, N. & Perumal, A. E. - Mater. Phys. Mech., **8**, p.165 (2009).
7. Velmurugan, R. & Manikandan, V. - Compos. Part A- Appl. S, **38**, p.2216 (2007).
8. Ahmed, K. S. & Vijayarangan, S. - J. Mater. Process. Technol., **207**, p.330 (2008). <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2008.06.038>
9. Silva, H. P. S.; Abreu, T. M.; Moraes, A. G. O.; Tomiyama, M.; Coelho, L. A. F. & Amico, S. C. - “Utilização de Ensaio Short Beam em Compósitos com Fibras de Sisal e Curauá”, in: Anais do 10º Congresso Brasileiro de Polímeros, p.1-10, Foz do Iguaçu, Brasil (2009).
10. Gupta, N.; Brar, B. S. & Woldesenbet, E. - Bull. Mater. Sci., **24**, p.219 (2001). <http://dx.doi.org/10.1007/BF02710105>
11. Angrizani, C. C.; Cioffi, M. O.; Santos, M. F.; Zattera, A. J. & Amico, S. C. - “Experimental and numerical analysis of curaua/glass”, in: IX Simposio Argentino de Polímeros, p.90-94, Bahía Blanca, Buenos Aires (2011).
12. Reddy, G. V. & Naidu, S. V. - J. Reinf. Plast. Compos., **27**, p.1775 (2008).
13. Jawaid, M.; Khalil, H. P. S. A. & Abu Bakar, A. - Mater. Sci. Eng., A, **527**, p.7944 (2010). <http://dx.doi.org/10.1016/j.msea.2010.09.005>
14. Autar K. K. - “Mechanics Composite Materials”, CRC Press, United States of America (2006).
15. Souza, E. B. - “Resistência ao Cisalhamento Iosipescu do Compósito Laminado Reforçado com Tecido de Fibras de Vidro/Epóxi”, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Itajubá, Brasil (2006).

Enviado: 22/08/12

Reenviado: 11/01/13

Aceito: 03/05/13