

UTILIZAÇÃO DE FIBRAS DE VIDRO PICADAS ORIUNDAS DE RESÍDUOS NA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE MANTAS DE FIBRA DE VIDRO EM COMPÓSITOS

Alessandra F. Dias de Castro*, Sandro C. Amico

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre-RS
PPGEM- Departamento de Eng. de Materiais, LAPOL –* lisrangra@uol.com.br

A reutilização de resíduos poupa matéria prima virgem e minimiza problemas de descarte. Neste trabalho, realizou-se análise experimental do efeito da substituição de manta de fibra de vidro por aparas de fibra de vidro picadas em compósitos com matriz poliéster. Duas distribuições de tamanho de fibra picada foram utilizadas para avaliar sua influência sobre as propriedades mecânicas de tração, flexão, impacto e dureza em três diferentes razões de substituição. Não se obteve diferença significativa entre as duas distribuições de comprimentos. A substituição da manta de fibra de vidro por aparas de manta da mesma fibra de vidro picada com comprimento muito inferior ao comprimento crítico, não influencia a dureza, é pouco prejudicial em relação ao módulo e muito prejudicial com relação à resistência.

Palavras-chave: *Compósito, Fibra de vidro picadas, Reaproveitamento, Caracterização mecânica*

The use of fiberglass chopped residues for the partial substitution of glass mats in composites

The reutilization of residue spares virgin raw materials and minimizes problems of waste disposal. With this in mind, in this work a experimental effort was made to investigate the effect of the partial substitution of glass fibre mats for chopped glass fibres in a polyester matrix composite. Two glass fiber size distributions were used to evaluate their influence on the mechanical properties of tensile, flexural, impact and hardness in three different ration of substitution. The results were not satisfactory due to the mean length of the cut fibre being inferior to the critical length for glass fibres in polyester resin. A significant difference wasn't verified between the two cut fibre size distributions used . The partial substitution of glass fibre mats for chopped glass fibres with fiber size below the critical length doesn't affect the composite's hardness, it has weak influence in the modulus and decreases the maximum tensile resistance.

Keywords: *composites, chopped glass fibers, reuse, mechanical properties*

Introdução

Compósitos podem ser considerados materiais multicomponente que exibem uma proporção significativa das propriedades das fases que os constituem, de tal modo que seja obtida uma melhor combinação de propriedades. O desenvolvimento de materiais compósitos com matriz polimérica tem como uma das motivações principais a possibilidade de aumentar significativamente as propriedades mecânicas mantendo características de baixo peso^(1,2). A interface criada entre a fase reforço (e.g. fibras) e a fase contínua (i.e. a matriz) durante o processo de fabricação tem fundamental influência sobre as propriedades mecânicas do material compósito⁽³⁾. A matriz deve apresentar uma adesão adequada à superfície do reforço, de tal forma que no carregamento mecânico aplicado a um componente, ela se deforme e transfira a carga para as fibras, sem que ocorra descolamento, delaminação ou fratura interlaminar^(4,5).

Em compósitos reforçados por fibras curtas há um comprimento crítico de fibras necessário para que a máxima transferência de tensões seja alcançada. Se o comprimento da fibra empregada

como reforço for inferior ao comprimento crítico, a fibra tenderá a ser extraída da matriz (pull-out) e o compósito falhará a baixas tensões. Quando o comprimento das fibras é maior do que o comprimento crítico, a transferência de tensões torna-se mais eficiente e há rompimento das fibras, de modo que compósito tem melhores propriedades mecânica ⁽⁶⁾.

O crescente uso de fibras de vidro em materiais compósitos pelas indústrias tem se tornado um problema porque parte desta fibra é descartada diretamente na natureza. Uma alternativa é a reciclagem ou reutilização, mas como as matérias primas básicas destes são baratas e estão amplamente disponíveis, não há estímulo econômico significativo para a reciclagem dessas fibras^(7,2). Outra alternativa é a minimização e o reaproveitamento de resíduos dos processos produtivos. Assim, um material deixa de ser resíduo pela sua valorização como matéria-prima, para a produção de novos produtos ⁽⁸⁾.

Este trabalho tem como objetivo verificar o impacto da substituição de parte do volume de mantas de fibras de vidro virgem por fibras de vidro picadas, oriunda de restos de processos produtivos de compósitos, na intenção de reduzir a utilização do material virgem e apresentar uma alternativa para a redução do descarte de resíduos deste setor.

Experimental

Neste trabalho foram utilizados como reforço aparas de mantas de fibras de vidro de 300 g/m² que não tiveram contato com resinas, fornecidas pela empresa Owens Corning, com densidade de 2,54 g/cm³. As fibras foram picadas em um moinho de facas Retsch SM2000 usando peneiras de 1×1 mm e de 5×5 mm de forma a obter duas distribuições granulométricas distintas chamadas de P1 e P5, respectivamente. A matriz utilizada foi a resina poliéster UC5518 da Elekeiros com densidade de 1,1 g/cm³ e o iniciador foi o Butanox M50 da Elekeiroz.

Foram produzidos sete tipos de compósitos para análise comparativa, todos eles com volume teórico de fibra total ($V_f^{total} = V_f^{manta} + V_f^{picada}$) de 20% detalhados na Tabela 1. A fibra picada foi misturada à resina poliéster e mantida em agitador mecânico por 30 min de forma a ficar homogeneamente distribuída. Após esta etapa, 1,5% (p/p de resina) de iniciador foi adicionado e misturado. A fim de minimizar a formação de bolhas no compósito, após esta homogeneização a mistura foi colocada por 5 min no ultra-som de imersão T14 da Thornton.

Os compósitos foram moldados por compressão à quente na prensa hidráulica MA098/A 3030 da Marconi mantidos a 90°C por 1 h com carga de 3 toneladas. O molde utilizado tinha uma cavidade interna de 17 × 27 cm, obtendo-se após a cura placas retangulares de compósitos de onde os corpos-de-prova foram extraídos.

Tabela 1 – Composições teóricas dos compósitos estudados.

<i>Amostra</i>	<i>Número de mantas</i>	<i>Peneira utilizada (mm)</i>	$V_f^{manta}(\%)$	$V_f^{picada}(\%)$
0M – P1	0	1	0	20
0M – P5	0	5	0	20
3M – P1	3	1	12	8
3M – P5	3	5	12	8
4M – P1	4	1	16	4
4M – P5	4	5	16	4
5M – P0	5	-	20	0

Foram produzidas imagens com microscópio Nikon Eclipse ME 600 com aumento de 50 vezes para caracterização das aparas de fibra de vidro picadas. Foram obtidas, de forma aleatória, 50 leituras. As imagens foram analisadas com software Image J a fim de se obter a distribuição de comprimentos de fibras após sua passagem pelo moinho de facas com diferentes peneiras.

Caracterização dos compósitos

Foram realizados ensaios de picnometria à temperatura ambiente (25°C) utilizando água deionizada como fluido, segundo a norma ASTM D 792. Para a determinação do teor de vazios, foi seguida a norma ASTM D 2734. Ensaios de perda de massa em forno de mufla foram realizados para se determinar o teor real de fibras de vidro, segundo a norma ASTM D2584.

Foram realizados ensaios de tração segundo norma ASTM D3039 e ensaios de flexão segundo norma ASTM D790 em equipamento Emic DL2000. Também, realizaram-se ensaios de dureza Barcol (norma ASTM D2583) em equipamento Bareiss BS61II e ensaios de resistência ao impacto Izod em corpos-de-prova sem entalhe, segundo norma ASTM D256, em equipamento Impactor II da Ceast.

Resultados e Discussão

O histograma apresentado na Figura 1 mostra a distribuição de comprimentos de fibras obtidos para as amostras P1 e P5. A composição P1, ou seja, que foi picada no moinho usando a peneira de 1×1 mm, apresentou comprimento médio de 0,13 mm e comprimento de maior frequência de 0,07. A composição P5, ou seja, que foi picada no moinho usando a peneira de 5×5 mm, apresentou comprimento médio de 0,10 mm o comprimento de maior frequência é de 0,07 mm. Ou seja, os comprimentos das fibras obtidas com as duas peneiras foram bastante próximos e portanto espera-se resultados parecidos quando do seu uso.

O comprimento crítico (l_c) de uma fibra é dado pela formula $l_c = d_f \times \sigma_f^* / 2\tau_i$ onde d_f é o diâmetro e σ_f^* é a resistência à fratura para uma determinada fibra e τ_i é a resistência ao cisalhamento da interface fibra/matriz ⁽⁹⁾. Para fibra de vidro com matriz poliéster, o l_c esperado é

de aproximadamente 0,5 mm ⁽¹⁰⁾ e como o comprimento da fibra de vidro picada utilizada neste trabalho é bastante inferior, as fibras picadas não poderão se equiparar, em termos de potencial de reforço, às fibras das mantas que apresentam um comprimento médio de 50 mm, ou seja, bastante superior ao comprimento crítico.

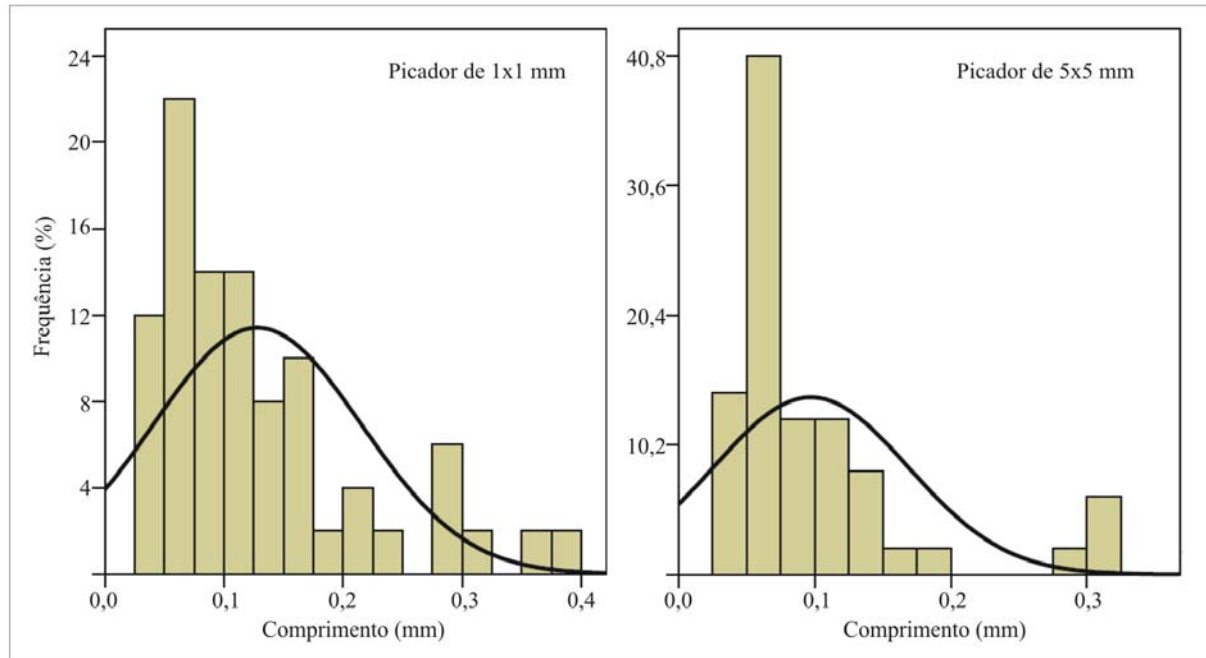


Figura 1 – Histograma da variação de frequência do comprimento de fibra de vidro picada

A Tabela 2 mostra os resultados de densidade, percentual de fibra de vidro em massa e teor de vazios para todos os compósitos produzidos. A densidade teórica deveria ser 1,39 g/cm³ para todos os compósitos, visto que a fração volumétrica de fibra de vidro deveria ser a mesma, porém devido à variação proveniente da heterogeneidade da manta comercial utilizada, a densidade real do compósito não foi constante. Similarmente, o percentual em massa de fibra de vidro não foi o mesmo para as diferentes composições. Isso significa que os resultados obtidos para as propriedades mecânicas sofrem variação conseqüente também do fato que a fração volumétrica não é de fato constante em todas as composições.

As Figuras 2 - 9 apresentam os resultados obtidos para os ensaios mecânicos dos compósitos. A composição 5M – P0, que tem 5 mantas e nenhuma fibra picada foi usada como referência nas comparações a seguir.

As Figuras 2 e 3 demonstram que a composição 5M – P0 apresenta a maior resistência e, à medida que as mantas são substituídas por fibra picada, este valor diminui. Isto ocorre porque a resistência à tração de compósitos reforçados por fibras curtas depende principalmente da eficiência da transferência de tensões da matriz para as fibras, a qual depende neste caso basicamente do

comprimento das fibras já que a interface fibra de vidro/matriz é a mesma em todas as amostras⁽¹¹⁾. Como o comprimento das fibras picadas empregadas como reforço é bastante inferior ao comprimento crítico, o compósito apresenta uma diminuição da resistência. Também não foi apresentada uma diferença significativa entre os compósitos para as duas distribuições de comprimentos de fibra porque estes são muito semelhantes.

Tabela 2 – Resultados da picnometria e do ensaio de perda de massa em mufla.

	0M - P1	0M - P5	3M - P1	3M - P5	4M - P1	4M - P5	5M - P0
Densidade real (g/cm ³)	1,49	1,50	1,53	1,52	1,61	1,52	1,55
Fração mássica - W _f (%)	30,35	33,00	37,28	35,78	42,61	35,82	38,05
Densidade estimada a partir do W _f (g/cm ³)	1,53	1,57	1,64	1,61	1,71	1,61	1,65
Teor de vazios (%)	2,6	4,4	6,7	5,6	5,8	5,5	6,0

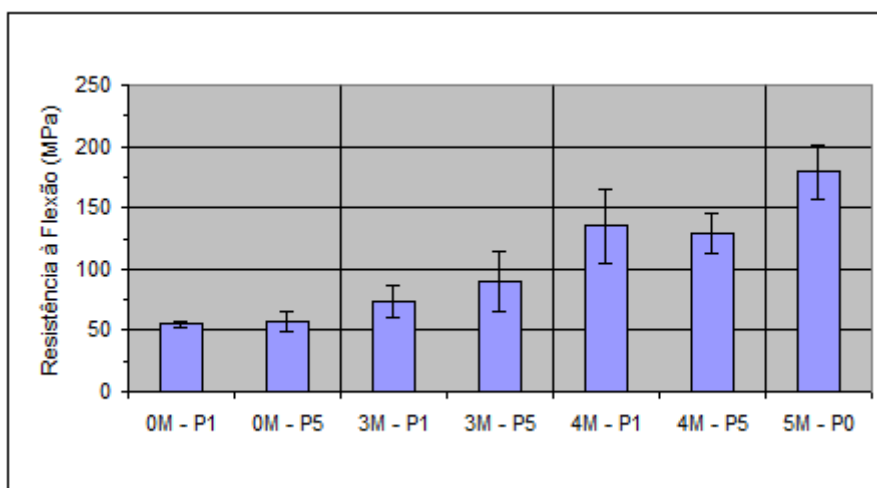


Figura 2 – Resistência à flexão para as diferentes amostras.

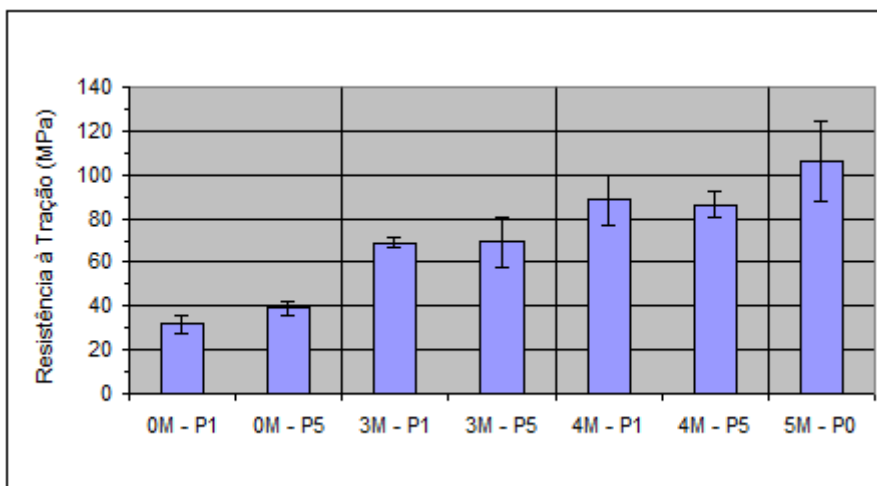


Figura 3 – Resistência à tração para as diferentes amostras.

As Figuras 4 e 5 demonstram que o módulo também tende a diminuir quando a manta é substituída pelas fibras picadas, porém, considerando-se o desvio padrão, observa-se que esta propriedade mecânica variou bem menos que a resistência. Isto porque a resistência é uma propriedade medida em maiores níveis de deformação, em comparação ao módulo. Assim, o efeito da variação da razão de aspecto das fibras curtas tem menor relevância no módulo elástico ⁽¹²⁾. Novamente não foi notada uma diferença significativa entre os compósitos para as distribuições P1 e P5.

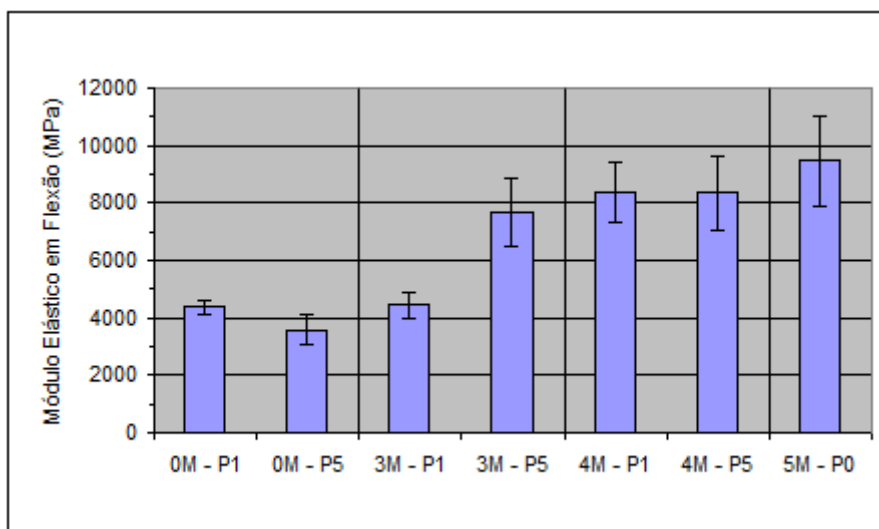


Figura 4 – Módulo de elasticidade em Flexão para as diferentes amostras.

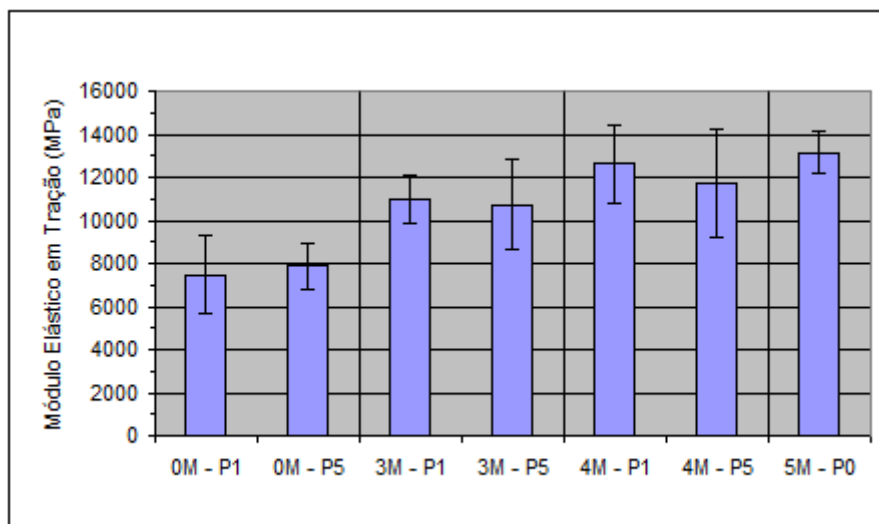


Figura 5 – Módulo de elasticidade em tração para as diferentes amostras.

As Figuras 6 e 7 mostram a deformação de ruptura apresentada pelas diversas composições. Verifica-se uma diminuição desta propriedade à medida que aumenta o teor de fibra picada, que deve ser uma conseqüência do aumento do teor de concentradores de tensão, ou seja, de extremidades de fibras.

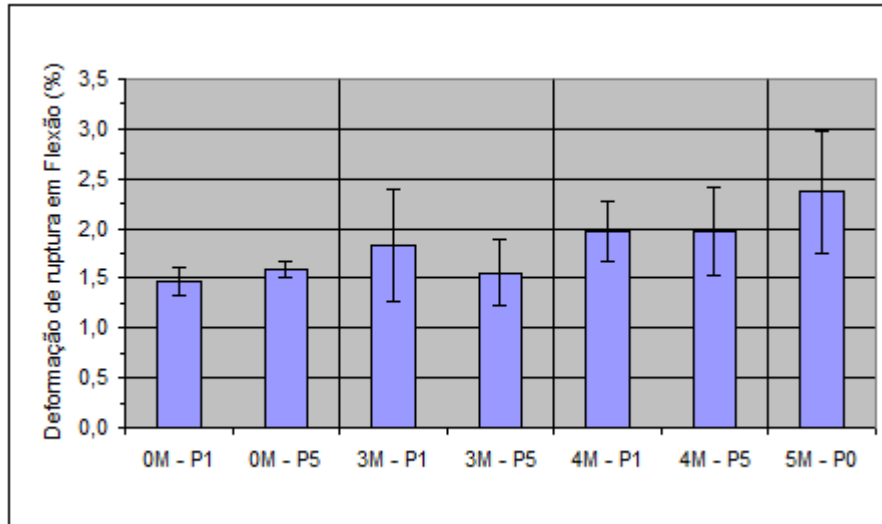


Figura 6 – Deformação específica de ruptura em flexão para as diferentes amostras.

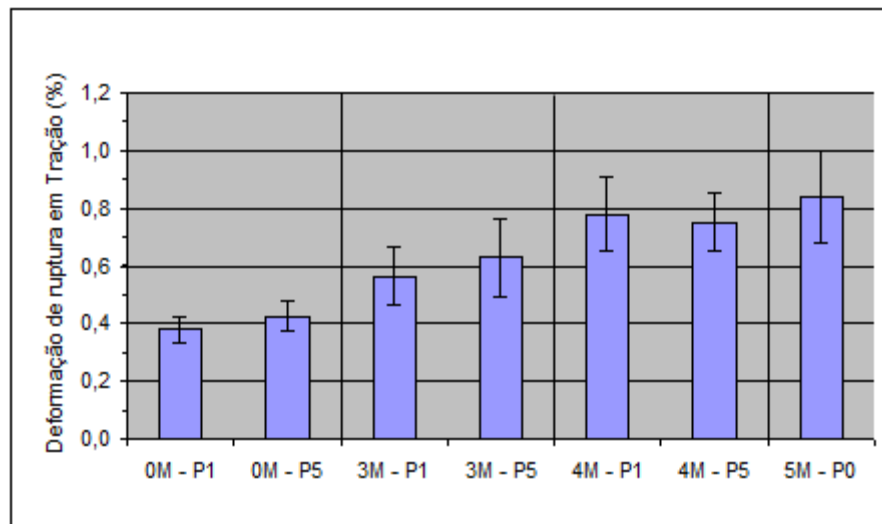


Figura 7 – Deformação específica de ruptura em tração para as diferentes amostras.

A Figura 8 mostra que a resistência ao impacto das composições que não têm manta é muito inferior às demais composições. Isso acontece porque o comprimento muito reduzido das fibras picadas não é suficiente para favorecer mecanismos de dissipação de energia por pull-out ⁽¹⁾, tornando a amostra muito frágil, assemelhando-se a um compósito particulado.

Com relação à dureza (Figura 9), os valores encontrados para as diferentes composições são muito semelhantes porque a dureza depende basicamente de características superficiais. Neste caso, como as características da resina são as mesmas em todos os compósitos e o teor de fibras varia relativamente pouco, a dureza permanece basicamente inalterada.

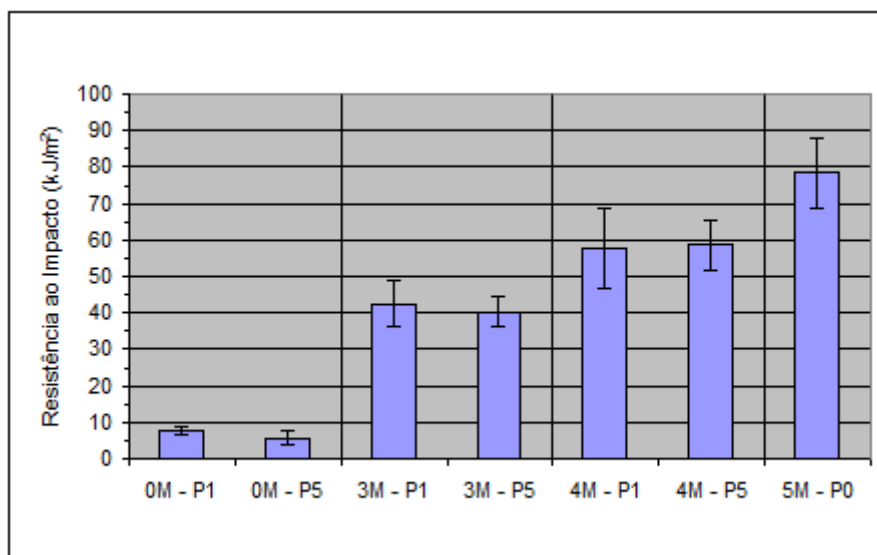


Figura 8 – Resistência ao Impacto.

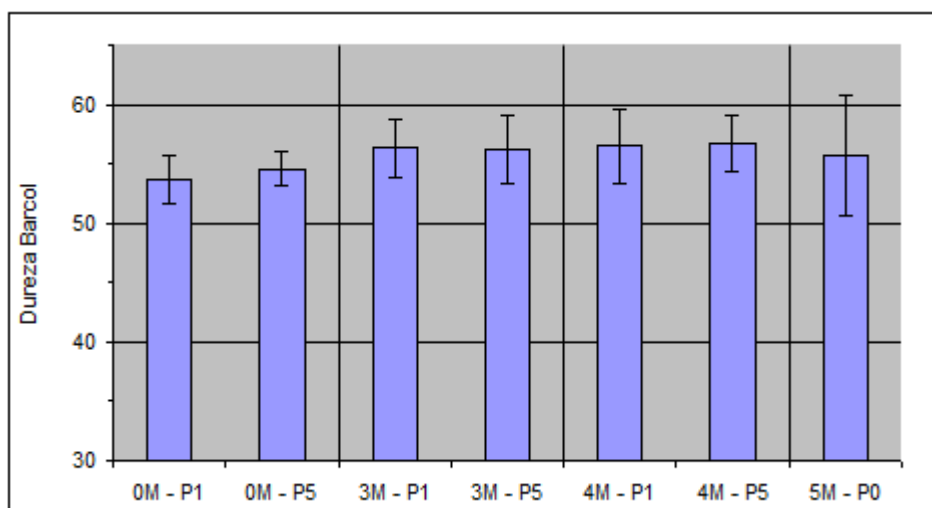


Figura 9 – Dureza Barcol dos compósitos.

Conclusões

A composição com 5 mantas e nenhuma fibra picada apresentou os melhores resultados em todas as avaliações referentes aos ensaios de tração, flexão e impacto. A produção de compósitos com fibras picadas utilizando duas grades de tamanhos diferentes no moinho de facas não alterou significativamente as propriedades mecânicas dos compósitos, pois estes apresentaram distribuição similar de comprimento das fibras picadas.

Conclui-se assim que a substituição da manta de fibra de vidro por aparas de manta de fibra de vidro picada com comprimento muito inferior ao comprimento crítico, não influencia a dureza, é pouco prejudicial em relação ao módulo e muito prejudicial com relação à resistência. É necessário mudar o tipo de moagem de forma a obter comprimentos superiores ao comprimento crítico e assim promover melhores propriedades mecânicas nos compósitos produzidos.

Agradecimentos

Os autores agradecem à UCS pelos ensaios mecânicos e aos colegas Alexsandro Oliveira, Clarissa Antrizani, Gustavo Machado e Humberto Silva pelo apoio.

Referências Bibliográficas

1. C. Badini, *Materiali compositi per l'ingegneria*, Ed. Celid, Torino 2003
2. W. D. Callister, Jr., *Fundamentos da Ciencia e Engenharia de Materiais*, Ed. LTC, Rio de Janeiro 2006, 2ª edição
3. D. Gay e S. V. Hoa, *Composite Materials Design e Applications*, CRC Press, Boca Raton 2007
4. J.A. Cunha; M. L. Costa; M. C. Rezende, *Polimeros: Ciencia e Tecnologia*, vol. 16, nº3, p.193-201, 2006
5. L.C. Pardini, *Polimeros: Ciencia e Tecnologia*, vol. 10, nº2, p.100-109, 2000
6. K. Joseph; E. S. Medeiros; L. H. Carvalho, *Polímeros* vol.9 no.4 São Carlos Oct./Dec. 1999
7. E.M. Araújo; K. D. Araújo; O. D. Pereira; P. C. Ribeiro; T.J. A. Mello, *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, vol. 16, nº 4, p.332-335, 2006.
8. A.M. Santos; T. H. D. Sydenstricker; S. C. Amico in *Anais do 9º Congresso Brasileiro de Polímeros*, RJ, 2008
9. R. A. Khan; M. A. Khan; S. Sultana; M. N. Khan; Q. T. H. Shubhra; F. G. Noor, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, Vol. 00, No. 00/2009
10. F. L. Matthews and R. D. Rawlings, *Composite Materials: Engineering and Science*, Ed. Chapman & Hall, Oxford 1996
11. L. H. Carvalho; J. Kuruvilla; E. S. Medeiros in *Anais do 5º congresso brasileiro de polímeros*, 1999.
12. C. A. de Oliveira; J. A. de Sousa in *Anais do 9º Congresso Brasileiro de Polímeros*, RJ, 2008