



13º CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS



## CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE COMPÓSITOS POLIMÉRICOS HÍBRIDOS CONTENDO TECIDOS DE FIBRA DE VIDRO E ARAMIDA

Marlova Pagnoncelli<sup>1\*</sup> (M), Leandro F. da Silva<sup>2</sup>, Sandro C. Amico<sup>2</sup> e Ademir J. Zattera<sup>1</sup>

1 - Universidade de Caxias do Sul – UCS, Caxias do Sul – RS [marlovap@yahoo.com.br](mailto:marlovap@yahoo.com.br)

2- Agrale S/A

3-Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS

**Resumo:** Devido suas elevadas propriedades mecânicas, os materiais compósitos passaram a ser aplicados nas mais diversas áreas como materiais de engenharia. Neste trabalho as propriedades mecânicas de compósito polimérico híbrido contendo fibra de vidro e aramida em matriz de resina éster vinílica foram analisadas com intuito de futura utilização na confecção de blindagem de veículo militar. Por meio dos ensaios de flexão e impacto Izod foi possível observar que a hibridização produziu compósitos com características intermediárias entre o vidro e a aramida, dentre estas a amostra produzida com os dois tipos tecidos intercalados apresentou resistência ao impacto 11% superior aos demais híbridos. O compósito com melhores propriedades mecânicas foi o constituído de fibra de vidro, resultado esse proporcionado pela melhor molhabilidade, e adesão entre fibra e matriz.

**Palavras-chave:** *Compósito, fibra de vidro, fibra de aramida, RTM, resina éster vinílica.*

### *Mechanical characterization of hybrid polymeric composites which woven of fiber glass and aramid*

**Abstract:** Due the high mechanical properties, the composites materials began to be applied in several areas as engineering materials. This study aims analyse the mechanical properties of hybrid polymeric composites containing glass fiber and aramid in ester vinylic resin matrix with the objective of future applicability of it as military vehicle armor. Through flexural and Izod impact tests was possible to observe that the hybridization made composites with intermediate characteristics between the glass and the aramid, among this, the sample produced with the two types of woven intercalated shows impact resistance 11% superior as the other hybrids. The composite with the best properties was made of glass fiber, this result was promoted for the better wettability and adhesion thus fiber and matrix.

**Keywords:** *Composite, glass fiber, aramida fiber, RTM, ester vinylic resin.*

### **Introdução**

A aplicação de compósitos poliméricos reforçados com fibras como materiais de engenharia tem sido crescente nos últimos anos, isso se deve principalmente a demanda por materiais com elevadas propriedades mecânicas aliadas a menor massa específica, quando comparados com materiais metálicos [1].

Dentre os materiais investigados para aplicação como reforços de compósitos de matriz polimérica estão as fibras de vidro, aramida, carbono e polietileno de ultra alto peso molecular, que podem ser aplicadas individualmente ou de forma combinada de modo a formar um compósito híbrido. A aplicação de mais de um tipo de fibra como reforço possibilita que as características de uma das fibras complementem as faltantes na outra, gerando um efeito sinérgico, promovendo equilíbrio entre as propriedades desejadas e custo do produto [1-4]

Estes compósitos podem ser confeccionados por diversas técnicas como *hand lay-up*, *spray-up*, autoclave, Moldagem por Transferência de Resina (RTM) entre outras. Dentre esses, o RTM é uma técnica empregada industrialmente com baixo custo de manufatura e ciclos rápidos, que promove bom acabamento em ambos os lados do produto com boa tolerância dimensional e fácil reprodutibilidade. No processo de RTM uma preforma de fibras é colocada dentro de um molde

onde resina é injetada sob pressão e/ou vácuo, sendo posteriormente curada, dentro ou fora do molde, dependendo da resina empregada [5-7].

Neste contexto, o objetivo deste estudo é obtenção e caracterização mecânica de compósitos poliméricos a partir de matriz éster vinílica reforçadas por tecidos de fibra de vidro e aramida por processo RTM auxiliado por vácuo.

## Experimental

### Confecção das placas

Para confecção dos compósitos poliméricos empregou-se tecido de fibra de vidro-E 1100 g/m<sup>2</sup>, tecido de fibra de aramida 470 g/m<sup>2</sup>, resina éster vinílica Derakane 411-350, Peróxido Brasnox HD (1,5 phr) e Octalato de Cobalto 6% (0,3 phr).

Os tecidos foram mantidos em estufa durante 4 horas para remoção de umidade, esse tempo de secagem foi obtido por ensaio preliminar em termobalança. Tal procedimento foi realizado para aumentar a aderência fibra matriz influenciada pela presença de umidade.

As placas de compósitos poliméricos foram confeccionadas pelo processo de RTM auxiliado por vácuo, na empresa Agrale S/A em molde conforme Fig. 1, na dimensão 400x400 mm<sup>2</sup>, sendo a preforma de fibras constituída de quatro camadas de tecido, nas configurações apresentadas no Tabela 1.



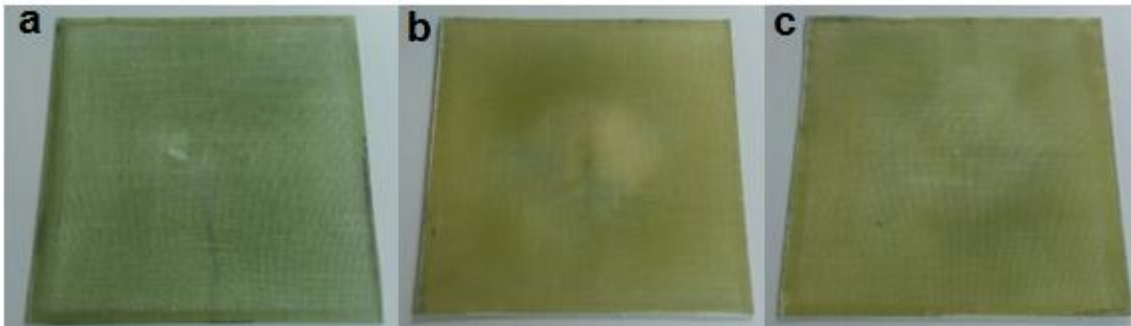
**Figura 1-** Molde utilizado para confecção das placas por RTM

**Tabela 1 -** Descrição da configuração dos compósitos poliméricos desenvolvidos

Nomenclatura	Configuração
Resina/Fibra de Vidro/Kevlar	
EV/100/0	Resina éster vinílica com 100% tecido de fibra de vidro
EV/0/100	Resina éster vinílica com 100% tecido de fibra de aramida
EV/50I/50E	Resina éster vinílica com reforço de 50% de fibra de vidro na parte interna 50% de tecido de fibra de tecido de aramida na parte externa
EV/50E/50I	Resina éster vinílica com reforço de 50% de fibra de vidro na parte externa 50% de tecido de fibra de tecido de aramida na parte interna
EV/50/50	Resina éster vinílica com reforço de 50% de fibra de vidro e 50% de tecido de fibra de tecido de aramida intercalados

As amostras produzidas foram desmoldadas e mantidas a temperatura de 25°C por um dia, posteriormente foram submetidas a duas etapas de pós cura, a primeira realizou-se à 80°C por 6 horas, a segunda à 110°C por 4 horas, com intuito de obter-se cura completa.

As placas confeccionadas estão representadas na Fig. 2.



**Figura 2** – Amostra (a) EV/100/0, (b) EV/0/100 e EV/50/50-confeccionadas por RTM

### Caracterização

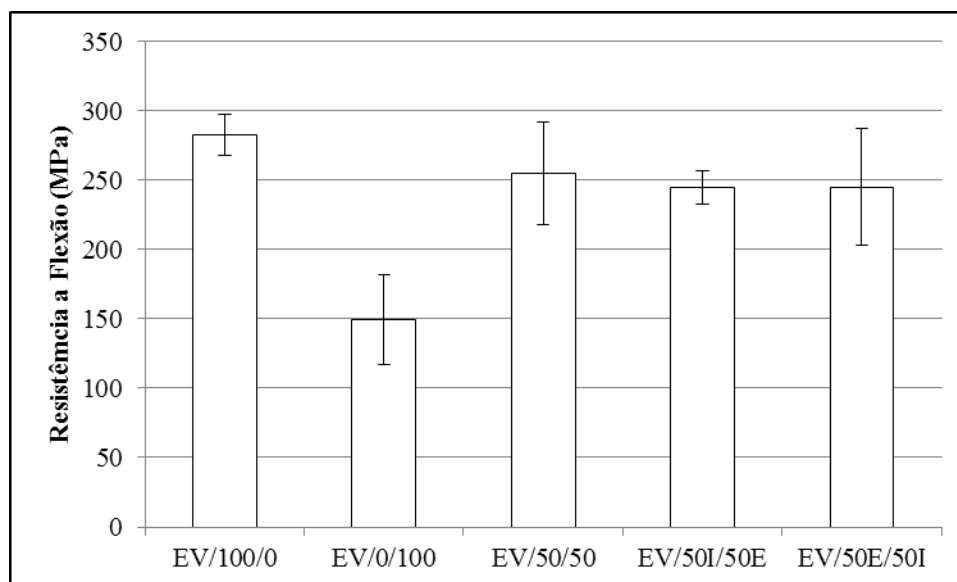
As amostras foram mantidas em ambiente controlado a  $23 \pm 2$  °C com umidade de  $50\% \pm 10\%$  durante 48 horas antes da realização dos ensaios.

O ensaio de Impacto Izod sem entalhe foi realizado em equipamento CEAST empregando-se martelo de 15J, conforme norma D256-04, realizou-se dez análises para cada configuração dos compósitos.

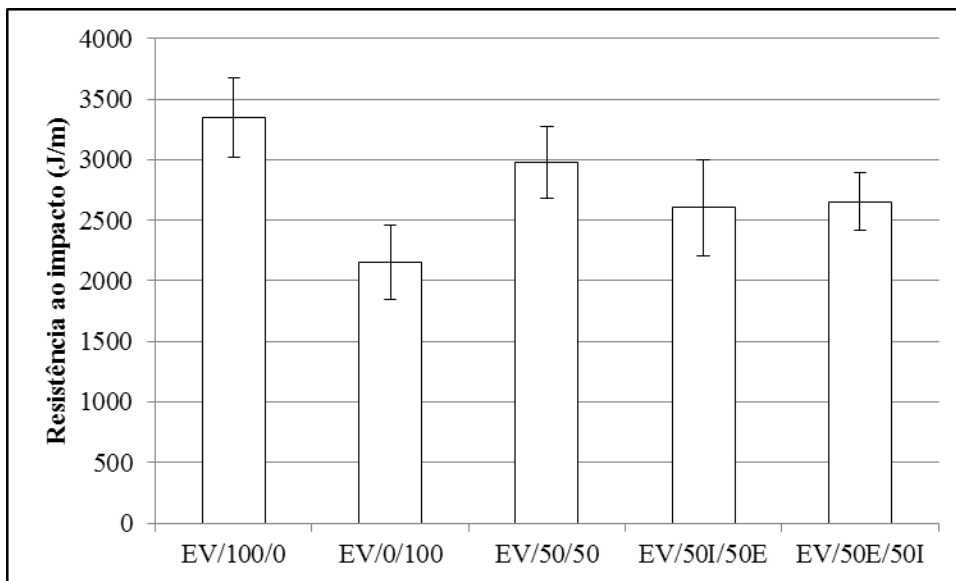
O ensaio de flexão em três pontos foi realizado em uma máquina universal de ensaios mecânicos EMIC DL-3000 conforme norma ASTM D7264M-07, com velocidade de 1,4mm/min, foram realizadas dez análises para cada configuração estabelecida.

### Resultados e Discussão

As Fig. 3 e 4 apresentam os resultados de tensão máxima na flexão e resistência ao impacto, respectivamente.



**Figura 3** – Resistência à flexão das diferentes configurações de compósitos.

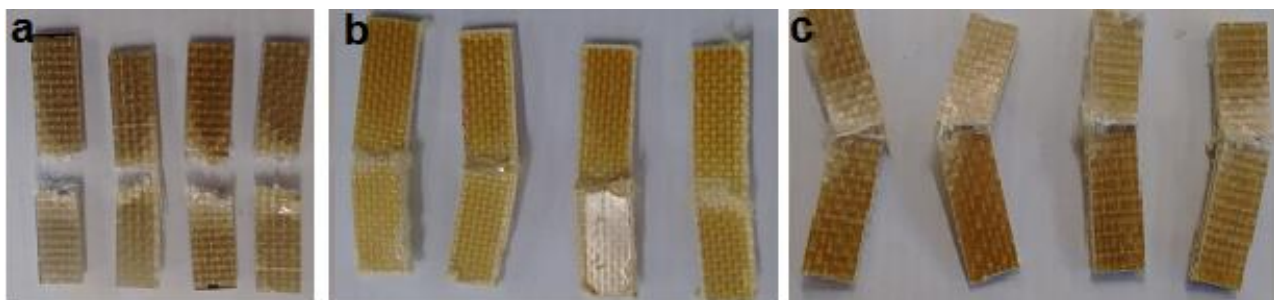


**Figura 4** - Resistência ao impacto Izod das diferentes configurações de compósitos

Através de análise da Fig. 3 é possível observar que os compósitos híbridos (amostras EV/50/50, EV/50I/50E e EV/50E/50I) apresentaram valores de resistência a flexão na faixa de 245 a 255 MPa. A análise da Fig. 4 observou-se que a amostra EV/50/50 apresentou resistência ao impacto 11% superior que as outras duas configurações. Esse resultado pode ser explicado pela melhor permeabilidade da resina através das mantas de aramida e fibra de vidro.

Durante o processo de confecção dos compósitos observou-se que a permeabilidade da resina no tecido de aramida foi bastante lenta, com dificuldade de conformação completa da placa. A baixa molhabilidade das fibras pela resina faz com que o teor de vazios do compósito seja alto, o que reduz suas propriedades mecânicas [8].

A dissipação da energia de impacto em um compósito envolve diversos mecanismos, alguns deles podem ser observados em escala macroscópica como quebra da matriz, ruptura da fibra e delaminação [9]. A análise da Fig. 5 (a), a amostra EV/100/0 apresentou ruptura completa da amostra com fenômenos de absorção de impacto como quebra da matriz e ruptura da fibra, isso se deve a grande adesão fibra/matriz, esse comportamento corrobora o melhor desempenho mecânico desse compósito. Na amostra EV/0/100, Fig. 5 (b), observa-se que houve quebra da matriz e delaminação, provocados por baixa adesão e alto teor de vazios na amostra. A Fig. 5 (c) representa o mecanismo de falha dos corpos de prova para as configurações EV/50/50, EV/50I/50E e EV/50E/50I, com a presença dos três fenômenos supracitados, com ruptura parcial do corpo de prova, fenômeno esse causado pela interação entre as propriedades dos reforços [9-10].



**Figura 5** – Aspecto dos corpos de prova após ensaio de resistência à flexão: (a) EV/100/0, (b) EV/0/100 e (c) EV/50/50.

## Conclusões

- O compósito EV/100/0 apresentou os melhores resultados de resistência ao impacto (3349 J/m) e tensão máxima na flexão (283 MPa) devido a boa adesão fibra/matriz.
- A intercalação dos tecidos na confecção de compósito híbrido facilita a permeabilidade da resina e reduz o teor de vazios. Desta forma a amostra cujos tecidos foram dispostos de forma intercalada (EV/50/50), apresentou resistência ao impacto 11% superior as demais.

## Agradecimentos

A empresa Agrale S/A, Universidade de Caxias do Sul (UCS) e CAPES, pelo suporte financeiro.

## Referências Bibliográficas

1. A. Sabet; N. Fagih; M. H. Behesthty. *Int. J. Impact. Eng.* 2011, 38, 715.
2. M. Jawaid; H. P. S. A. Khalil. *Carb. Pol.* 2011, 86, 1-18.
3. O. Soykasap; M. Colakoglu. *Mec. Comp. Mat.* 2010, 46, 35.
4. K. S. Pandya; J. R. Pothnis; P. G. Ravikumar; N. K. Naik. *Mat. and Design.* 2013, 44, 128.
5. C. Yan; H. Li; X. Zhang; Y. Zhu; X. Fan; L. Yu. *Mater. Design.* 2013, 46, 688.
6. W. F. Amorim J.; G. Q. Chaves; V. M. A. Calado; F. L. Bastian. *Ver. Mat.* 2006, 11, 316.
7. D. Romanzini, Dissertação de Mestrado, Universidade de Caxias do Sul, 2012.
8. W. F. Amorim J. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.
9. R. Park; J. Jang. *Pol. Test.* 2003, 22, 939.
10. W. D. W. Callister. *Ciência e Engenharia dos Materiais*, LTC, Rio de Janeiro, 2012.