

## Desenvolvimento de compósitos poliméricos para aplicação em carenagem

### *Development polymeric composites for application in fairing*

Éric Neves Cotrim Castro de Oliveira<sup>1</sup>

Gustavo de Oliveira Toledo<sup>1</sup>

Daniella Regina Mulinari<sup>2</sup>

ISSN  
1809-9475

Artigo  
Original

Original  
Paper

#### Palavra-chave

Compósitos

Fibra de vidro

Fibra de sisal

Poliéster

#### Resumo

Atualmente a indústria automobilística tem sido pressionada a reduzir o peso dos componentes dos seus veículos e, conseqüentemente os consumos energéticos. O conceito do ecodesign ganhou uma importância vital, principalmente devido à escassez de matéria-prima e aos problemas resultantes da degradação ambiental, o que resulta cada vez mais na tentativa de incorporar nos produtos, materiais de baixo impacto ambiental e grande abundância. E os materiais compósitos reforçados com fibras naturais cumprem plenamente esses requisitos. Portanto o objetivo deste trabalho foi avaliar as propriedades mecânicas de dois compósitos híbridos obtidos a partir do processo de laminação manual com a possibilidade de substituir as fibras de vidro pelos compósitos híbridos, na construção de carenagem. Os compósitos foram obtidos por reforço de três e cinco camadas de tecido de fibra de vidro tramada, tecido de sisal e matriz de poliéster ortoftálica, formando os compósitos híbridos (v/s/v) e (v/s/v/s/v). As propriedades desses materiais foram estudadas por meio de ensaios de resistência à tração e ao impacto. Os resultados comprovaram que esses materiais apresentaram resistência mecânica satisfatória, podendo ser aplicado em carenagem.

#### Abstract

Nowadays, the automotive industry faces a lot of pressure to reduce the weight of its vehicles components and consequently the energy consumption. The concept of ecodesign gained a vital importance, principally due to the shortage of the raw materials and the resultant problems of the environmental degradation. Because of this, there are an increase interest to incorporate in the products, materials with low environmental impact and great abundance. The composites materials reinforced with natural fibers carry out fully these requisites.

Therefore, the objective of this work was to evaluate the mechanical properties of two hybrid composites from the process of manual lamination with the possibility of substitute the glass fibers for hybrid composites, the fairing construction. The composites were obtained by reinforcement of three and five layers of glass fibers blanket with perforated wires, sisal fabric and orthophtalic polyester matrix, forming hybrid composites (v/s/v) e (v/s/v/s/v). The properties of these materials were studied by means of normalized test of impact strength, tensile and impact strength. Results showed that hybrid composites presented intermediate mechanical properties in comparison to the others. Results showed these materials presented satisfactory mechanical strength, can be applied to the fairing.

#### Keywords

Composites

Glass fibers

Sisal fiber

Polyester

Cadernos UniFOA  
Edição Especial Engenharia de Produção

<sup>1</sup> Graduado em Engenharia de Produção do Centro Universitário de Volta Redonda/UniFOA

<sup>2</sup> Docente do Centro Universitário de Volta Redonda/UniFOA

## 1. Introdução

O processo de globalização da indústria trouxe grandes oportunidades para a difusão de novos materiais e vem incentivando pesquisas para produzir novos produtos, já que todo o ciclo de produção e de vida do produto é planejado e gerenciado de forma a evitar qualquer impacto ambiental (MULINARI, 2009).

Desse modo, as empresas passaram a investir na busca de novas técnicas e tecnologias para atividades e a considerar também a variável ambiental em suas estratégias de produção.

Na realidade as indústrias começaram a usar compósitos com fibras naturais por razões técnicas e comerciais. As fibras naturais aparecem como uma valiosa alternativa aos materiais sintéticos e sua utilização tem crescido nos últimos anos. As fibras naturais apresentam ainda um potencial de redução do peso quando comparado às fibras de vidro, que estão presentes na maioria dos compósitos da indústria automotiva (MULINARI, 2009).

Hoje é certo que o futuro das indústrias passa, necessariamente, pela capacidade dos fabricantes de reduzir e/ou compensar seus efeitos danosos sobre o meio ambiente, desde a fabricação de materiais à reciclagem de autopeças e de veículos em seu fim de vida (MULINARI, 2009).

Qualquer busca de solução deve partir das características básicas do problema produção *versus* meio ambiente, tais como: grande volume de resíduos; grande diversidade de materiais presentes em seus componentes; toxicidade de alguns elementos químicos desses componentes; extensão e globalização de sua cadeia produtiva; crescimento mundial de seu mercado consumidor; e rápida evolução recente de suas tecnologias e de seus materiais (MEDINA & GOMES, 2003).

No entanto, esses compósitos podem manifestar vários tipos de falhas quando submetidos a carregamento, incluindo delaminação, falha da matriz e fratura na fibra. O comportamento de fratura em compósitos pode ser influenciado por parâmetros como a interface fibra/polímero, método de processamento do

compósito e arquitetura das fibras, contudo é importante considerar o forte efeito das fibras na redistribuição de tensão no material, sendo a deformação da matriz um parâmetro também fundamental (MULINARI, 2009).

A interface fibra-matriz, orientação, concentração, adesão, tamanho crítico e a distribuição das fibras possuem uma influência significativa sobre a resistência do compósito polimérico reforçado com fibras naturais. Dessa forma, é de suma importância o estudo dos mecanismos de falhas para esse tipo de material (NETO & PARDINI, 2006). Quando a falha ocorre na interface é denominada falha adesiva e quando ocorre na matriz ou na fibra chama-se falha coesiva. As falhas das fibras na matriz polimérica como descolamento (“*debonding*”) e extração (“*pull-out*”) podem ocorrer simultaneamente ou isoladamente (GONÇALVES, 2010).

Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar as propriedades mecânicas dos compósitos híbridos obtidos a partir do processo de laminação manual com a possibilidade de substituir as fibras de vidro pelos compósitos híbridos, na construção de um *capot* dianteiro de um automóvel.

## 2. Experimental

### 2.1. Materiais

A resina poliéster utilizada neste trabalho foi a comercial LOKALFIBRA comercial Ltda. Trata-se de uma resina rígida, de alta viscosidade e baixa reatividade, pré-acelerada com densidade entre 1,10 e 1,15 g/cm<sup>3</sup> (25 °C). O reforço sugerido para o projeto foi a fibra de sisal em forma de tecido e a fibra de vidro em forma de tecido com 330 g/m<sup>2</sup>.

### 2.2. Obtenção dos Compósitos

O processamento dos laminados foi feito, utilizando-se moldagem por compressão sob 1,5 toneladas por 1 minuto. A espessura do laminado foi a equivalente a uma camada de tecido. A configuração do laminado híbrido é mostrada na Figura 1.

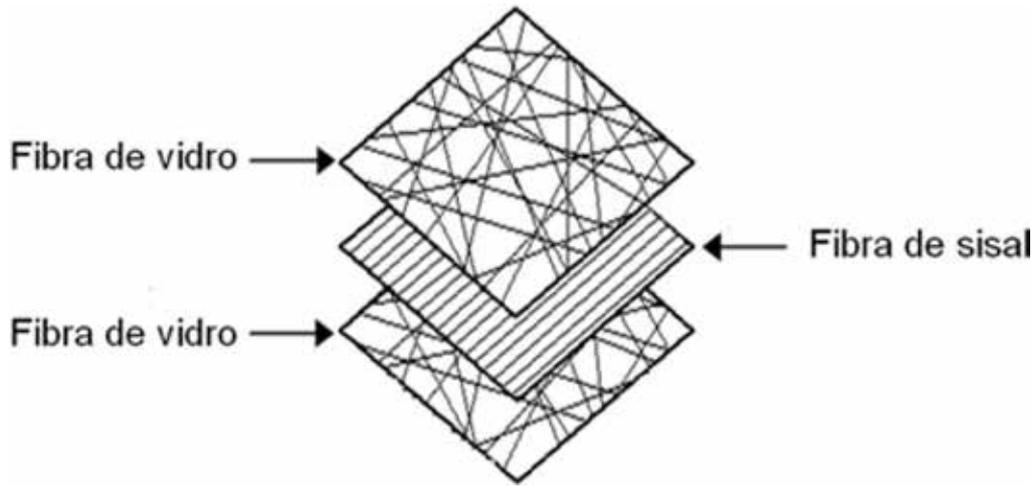


Figura 1. Configuração do laminado híbrido (v/s/v).

Fonte: (SILVA; SENNE; PAULA, 2011).

Todo o processo foi realizado à temperatura ambiente e a desmoldagem dos laminados com resina ocorreu um dia após a moldagem. Como desmoldante para os laminados foram utilizadas folhas plásticas. Em seguida os laminados foram curados em estufa a 60°C por 24 horas. Também foram avaliados os laminados somente com mantas de fibra de vidro e os laminados com cinco camadas (v/s/v/s/v). O laminado híbrido é mostrado na Figura 2.



Figura 2. Laminado híbrido v/s/v.

### 2.3. Propriedades Mecânicas

As propriedades mecânicas foram avaliadas por meio de ensaios mecânicos de impacto e tração.

Os ensaios de impacto foram realizados no Laboratório de Ensaios Mecânicos do Centro Universitário de Volta Redonda - UniFOA, utilizando-se o equipamento da marca PANTEC. Foram analisados cinco corpos de prova, com dimensões de acordo com a norma ASTM D 6110. Foi avaliada a energia absorvida ao impacto e a resistência. Após a fra-

tura dos corpos de prova, os mesmos foram analisados por microscopia eletrônica de varredura.

Os ensaios de tração foram realizados no Laboratório de Ensaios Mecânicos do Centro Universitário de Volta Redonda - UniFOA, utilizando-se o equipamento da marca EMIC (Figura 5). Para os ensaios de tração os CDPs apresentaram dimensões de acordo com a norma ASTM D 3039. As propriedades mecânicas de resistência à tração, alongamento e módulo de elasticidade em tração foram avaliadas.



Figura 5. Máquina EMIC para o ensaio de tração

As micrografias dos corpos de prova fraturados (Figura 6) foram obtidas em um microscópio eletrônico de varredura JEOL JSM5310, disponível no Instituto Nacional de Pesquisas Especiais (INPE), em São José dos Campos, com filamento de tungstênio operando a 10 kV, usando elétrons secundários, a fim de obter informações quanto à morfologia e composição das fibras.

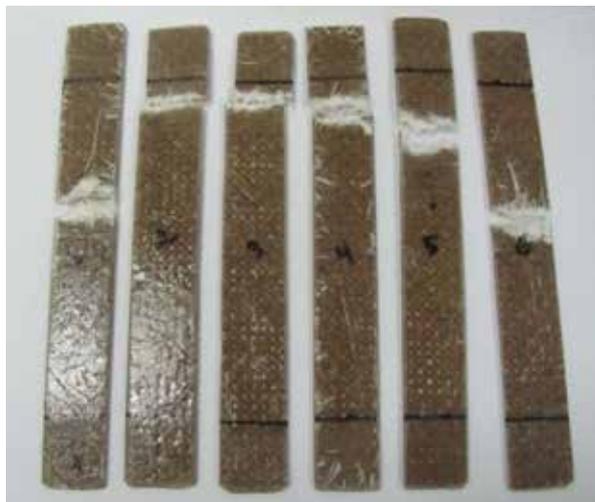


Figura 6. Corpos de prova fraturados.

### 3. Resultados

Os resultados obtidos nos ensaios mecânicos dependem de fatores como temperatura, umidade, teor e orientação de fibra, estrutura do material, condições de ensaios, preparação da amostra, comprimento crítico e microestruturas das fibras.

A Figura 7 evidencia o comportamento de deformação dos corpos de prova dos lami-

nados híbridos v/s/v, em função da aplicação da força de tração. Os laminados híbridos v/s/v apresentaram um comportamento linear até a fratura final, comum à maioria dos compósitos com matrizes termorrígidas e fibras sintéticas. O mesmo comportamento foi observado para os demais laminados.

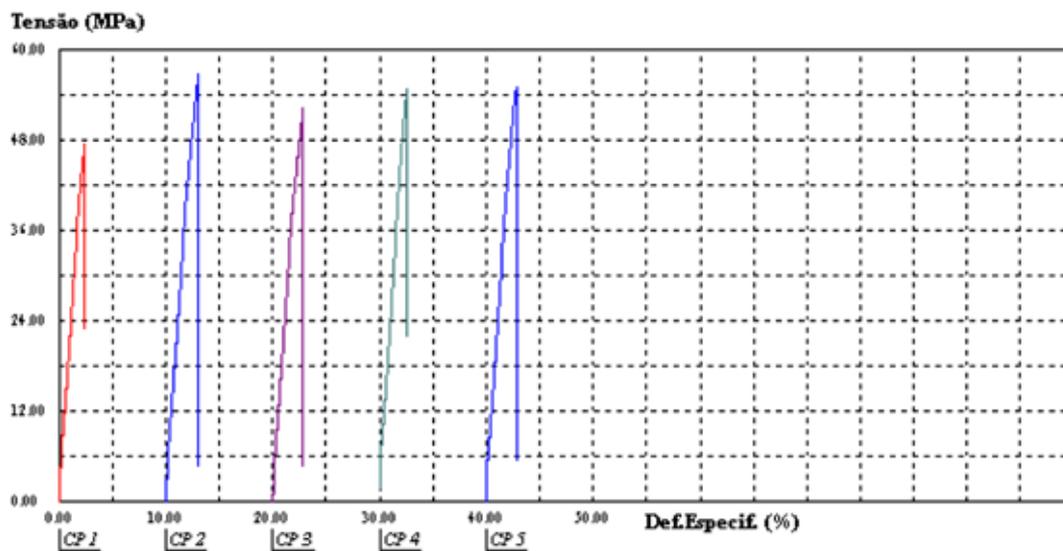


Figura 7. Comportamento dos materiais no ensaio de tração.

Comportamento semelhante também foi observado por Silva *et al.* (2008) ao avaliar a resistência do laminado híbrido vidro/curauá. Os autores também observaram o mesmo comportamento ao avaliar a resistência à flexão e a tração dos laminados híbridos vidro/sisal.

A Tabela 1 apresenta os valores do limite de resistência à tração e seus respectivos alongamento e módulo, obtidos dos ensaios mecânicos dos laminados híbridos v/s/v.

**Tabela 1. Valores do limite de resistência à tração.**

Amostras	Propriedades		
	Alongamento no limite de resistência à tração (%)	Limite de resistência à tração (MPa)	Módulo de Elasticidade (MPa)
LV (v/v/v)	4,2 ± 0,5	43,2 ± 8,5	2934,6 ± 124
LV (v/v/v/v/v)	3,5 ± 0,2	57,0 ± 8,5	3578,1 ± 263
LH (v/s/v)	5,0 ± 0,2	38,3 ± 14,9	2359 ± 148,7
LH (v/s/v/s/v)	3,9 ± 0,5	46,3 ± 3,5	3234,6 ± 193,1

Analisando-se os resultados da Tabela 1 observou-se uma queda na resistência à tração e no módulo de elasticidade ao inserir reforço de fibra de sisal na matriz polimérica. Nesse tipo de solicitação mecânica a resistência à tração diminuiu com a inserção da fibra de sisal. No entanto, ao inserir um maior número de camadas (v/s/v/s/v), conseguiu-se atingir uma rigidez superior ao laminado com fibra de vidro (3 camadas) e, comparado ao laminado com 5 camadas da fibra de vidro, houve um decréscimo de 10% na rigidez. Dessa forma, sugere-se que esse novo material poderá ser substituído.

No entanto, Silva, Senne e Paula (2011), ao avaliarem a resistência à tração dos laminados (v/j/v/j/v), observaram valores superiores na resistência e no módulo para o mesmo tipo de aplicação. Esse aumento ocorreu devido ao tipo de fibra utilizada, comprovando que os ensaios mecânicos dependem de diversos fatores.

Outra propriedade mecânica avaliada neste trabalho foi a resistência ao impacto. Analisando-se a resistência ao impacto dos laminados obtidos, foi observado que houve um aumento na resistência ao inserir um maior número de camadas (v/s/v) para (v/s/v/s/v), atingindo 35 %, conforme Tabela 2.

**Tabela 2. Valores do limite de resistência ao impacto**

Amostras	Energia Absorvida (J)	Resistência (J.m-2)
LV (v/v/v)	4,3 ± 0,52	188,6 ± 22,4
LV (v/v/v/v/v)	5,3 ± 0,82	204,7 ± 24,3
LH (v/s/v)	4,7 ± 0,82	144,8 ± 14,7
LH (v/s/v/s/v)	6,3 ± 0,5	195,7 ± 34,9

Esse fato ocorreu devido à inserção de fibras na matriz, fazendo com que a energia absorvida aumentasse e, conseqüentemente, a resistência. No entanto, observou-se que os laminados com fibras de vidro apresentaram maior resistência ao impacto quando comparado aos laminados híbridos (fibra de vidro e fibra de sisal).

O laminado híbrido com 5 camadas absorveu maior energia e apresentou uma diferença de 4% na resistência ao impacto, quando comparado ao laminado com fibra de vidro e com 5 camadas. A Figura 8 evidencia essa diferença entre os laminados.

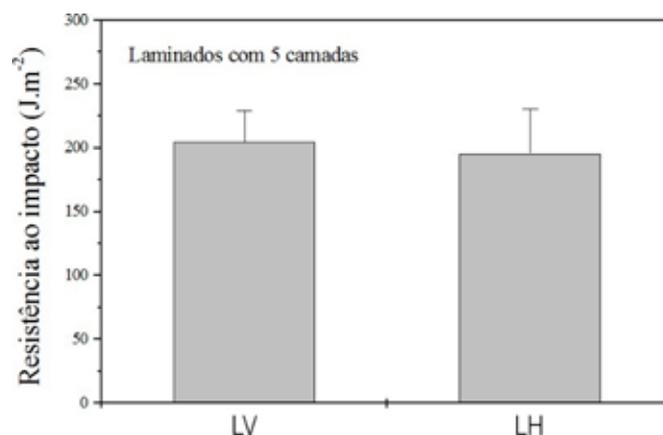


Figura 8. Resistência ao impacto dos laminados.

A inserção de fibras na matriz também aumentou a resistência ao impacto, devido ao mecanismo de dissipação de energia. As fibras foram arrancadas (*pull out*) da matriz e dissiparam energia durante o processo de fricção mecânica. E esse arrancamento das fibras preveniu a concentração de tensão nas áreas ao longo da fibra. A Figura 9 elucida a fratura dos materiais após o ensaio.



Figura 9. Fratura dos laminados após o ensaio de impacto.

A Figura 10 mostra a região da fratura após o ensaio, onde foi verificada certa uniformidade de distribuição das fibras pela matriz e fibras fraturadas ao longo da matriz. Também foram observadas fibras arrancadas (*pull-out*) da matriz devido à dissipação de energia causada pela fricção mecânica.

A mesma figura também mostrou que a superfície da fibra de sisal foi coberta de reentrâncias e saliências que facilitaram a impregnação da matriz poliéster, tendo como consequência dessa topografia uma melhor resistência interfacial do sistema poliéster/fibra de sisal/fibra de vidro, além de demonstrar a complexidade das fibras lignocelulósicas.

Observou-se também uma camada de resina poliéster, parte mais clara aderida à superfície da fibra, indicando que a resistência da adesão interfacial é bastante alta. Percebeu-se também, uma fileira de saliências que podem ser consideradas pontos de concentração de tensão, que facilitam a separação das fibrilas,

constituindo o feixe que formam a fibra lignocelulósica (GONÇALVES, 2010).

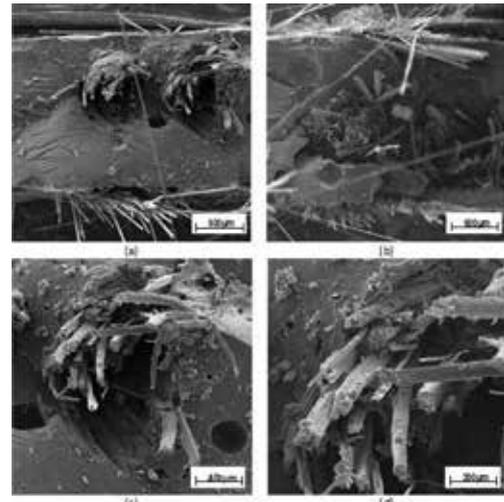


Figura 10. MEV dos laminados após a fratura: (a) 50X; (b) 50X; (c) 100X; (d) 200X.

O mecanismo de fratura do compósito apresentou-se bastante complexo, envolvendo os seguintes mecanismos de falhas: ruptura da fibra, trincamento da matriz e descolamento da fibra. No entanto, a estrutura superficial da fibra de sisal com reentrâncias e saliências ajudou para que ocorresse uma boa adesão interfacial, resultando em compósitos com propriedades mecânicas satisfatórias. Analisando-se as Figuras 11 e 12, as quais evidenciam uma maior ampliação, observou-se claramente os mecanismos de falhas.

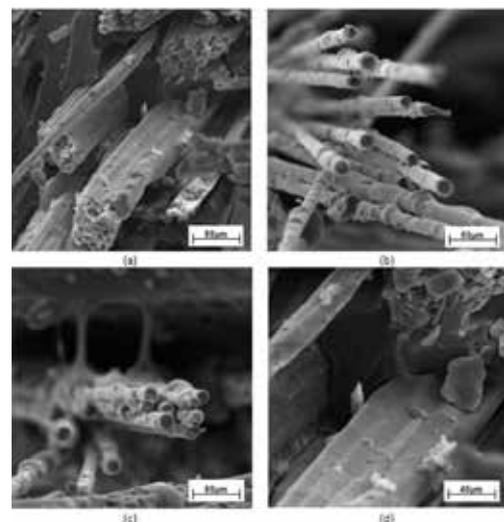


Figura 11. MEV dos laminados após a fratura: (a) 500X; (b) 500X; (c) 500X; (d) 1000X.

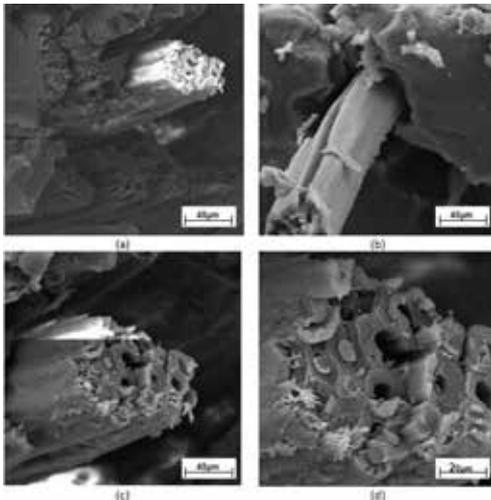


Figura 12. MEV dos laminados após a fratura: (a) 1000X; (b) 1000X; (c) 1000X; (d) 2000X.

Esses resultados comprovaram que existe a possibilidade de desenvolvimento de um compósito poliéster/ fibra de sisal/ fibra de vidro com boa resistência mecânica.

#### 4. Conclusões

Com base nos resultados obtidos das propriedades mecânicas e mecanismo de falhas dos laminados, foi possível concluir que:

1. Os laminados possuem um comportamento linear até a fratura final, possibilitando a utilização da Lei de Hooke em qualquer formulação teórica;
2. Os compósitos híbridos apresentaram propriedades mecânicas intermediárias quando comparados aos laminados desenvolvidos com a mesma resina e diferentes fibras, demonstrando que as condições de processamento para a obtenção desses compósitos foi satisfatória;
3. Os compósitos híbridos com 5 camadas apresentaram propriedades mecânicas similares, levando em consideração o desvio padrão, quando comparada aos compósitos reforçados com fibras de vidro;
4. Os compósitos híbridos apresentaram um mecanismo de fratura bastante complexo,

envolvendo mecanismos de falhas como ruptura da fibra, trincamento da matriz e descolamento da fibra, contudo a estrutura superficial da fibra de sisal com reentrâncias e saliências ajudou para que ocorresse uma boa adesão interfacial, resultando em compósitos com propriedades mecânicas satisfatórias, os quais poderão ser utilizados em carenagem.

#### 5. Referências Bibliográficas

GONÇALVES, J. A. V. **Compósitos à base de resina epóxi reforçados com fibras de coco**. 2010. 60f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Sergipe, 2010.

MEDINA, H. V.; GOMES, D. E. B. **Reciclagem de automóveis, estratégias, práticas e perspectivas**. CETEM/MCT, p.13, 2003.

MULINARI, D. R. **Comportamento térmico, mecânico e morfológico dos compósitos de polietileno de alta densidade reforçados com fibras de celulose do bagaço de cana de açúcar**. 2009. 112f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica com ênfase em materiais) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, 2009.

MEDINA & GOMES. **Reciclagem de automóveis: estratégias, práticas e perspectivas** – CETEM/MCT – 2003.

NETO, F. N.; PARDINI, L. C. **Compósitos estruturais. polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 1, p.13-18, 2006.

SILVIA; SENNE; PAULA. **Avaliação de compósitos híbridos para carenagem de motocicletas**. Centro universitário de Volta Redonda , 2011.