

Desenvolvimento de processo de fabricação de componentes em compósitos de poliuretano para indústria de veículos de transporte

Development of manufacturing process of components in polyurethane composites to industry of transport vehicles.

Eric Manoel Nunes de Oliveira^{1,2}, Jessica Dias Werlich², Rudinei Fiorio^{2*}

¹Marcopolo S/A . Caxias do Sul, RS, Brasil.

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS) -
Campus Caxias do Sul . Caxias do Sul, RS, Brasil

*Orientador

Resumo

O presente trabalho busca avaliar uma proposta de processo de fabricação tecnicamente viável para a produção de componentes moldados em poliuretano, substituindo os atualmente produzidos em *fiberglass* e moldados pelas técnicas de *spray-up* e *handlay-up*. Como premissa, visa-se a utilização de moldes de baixo custo, a redução de peso, geração de resíduo e redução da mão-de-obra atualmente empregada. A alternativa proposta é baseada na aplicação de poliuretano por spray em molde aberto confeccionado em resina poliéster, com a camada mais externa de acabamento aplicada em poliuréia de rápida cura, sem a necessidade de aquecimento do molde. Foram avaliadas as condições de processamento para validar o processo como alternativa em ambiente fabril. Compósitos de poliuretano com teores de fibra de vidro entre 0 e 21.5% em massa foram estudados. As propriedades mecânicas de dureza, resistência à flexão e resistência ao impacto dos materiais obtidos foram avaliadas para comparativo com os materiais atualmente existentes. Observou-se que o novo material e seu processamento apresenta condições viáveis para a substituição das peças atuais.

Palavras-chave: Compósito. Poliuretano. Poliuréia. Spray. Molde aberto.

Abstract

This study aims to evaluate a new process technically feasible to produce polyurethane components, substituting parts currently manufactured in fiberglass and molded by spray-up and hand lay-up. As a premise, the aim is the use of low cost molds, and reduction in weight, waste generation and hand labor. The alternative proposal is based on the application of polyurethane by spray in open molds made of polyester resin with the outer finishing layer consisting in rapid cure polyurea without the need for heating molds. Processing conditions were evaluated to validate the process as alternative manufacturing environment. Polyurethane composites containing 0 – 21.5 wt% of glass fiber were evaluated. The mechanical properties of hardness, flexural strength, and impact strength of the materials

obtained were evaluated for comparison with currently existing materials. It was observed that the new material and its processing shows a viable condition substituting the current parts.

Keywords: Composite. Polyurethane. Polyurea. Spray. Open mold.

Introdução

A fabricação de compósitos através de processos como *spray-up* e *handlay-up* geralmente obtidos com a utilização de resinas poliéster insaturadas, gera grande quantidade de resíduos e também problemas de saúde ocupacional. Assim, surge a necessidade do desenvolvimento de processos que atendam alguns requisitos de produtividade, aumento da segurança da operação, redução do tempo de ciclo de produção, baixo investimento em ferramental e utilização de ferramentas existentes na substituição destes processos (ORTH et al., 2012).

Poliuretanos se apresentam como um caminho possível para solucionar esta equação (MANOLIS et al., 2006). Portanto, a proposta de processo em desenvolvimento parte da utilização de aplicação de poliuretano por spray em molde aberto, com os ferramentais atualmente utilizados, sendo a camada mais externa de acabamento aplicada em poliuréia de rápida cura.

Materiais

Para o desenvolvimento do trabalho foram utilizados:

- Poliuretano Rígido MP10 bicomponente, constituído de:
 - Polioli Rígido (a base de polímero de óxido de propileno e propilenoglicol).
 - Isocianato Rígido MP10 (a base de difenilmetato-diisocianato - MDI).
- Poliuréia EXP MP10 bicomponente, constituído de:
 - Polioliol PUA MP10 (a base de polipropilenoglicol e dietiltoluenodiamina).
 - ISO PUA (a base de Copolímero de polipropilenoglicol, metilenodifenildiisocianato e MDI).
- *Roving* de fibra de vidro tipo E *grade* ER13-2400-180 com diâmetro de filamento de 13µm, densidade linear de aproximadamente 24 g/m (JushiGroupCoLtd.)
- Injetora de alta pressão da marca Hennecke modelo HK65 4K.

- Molde de Componente padrão.

Testes de avaliação do equipamento e produção de amostras: Foi utilizado um sistema de aplicação por spray de poliuretano da marca *Hennecke* do modelo HK65, juntamente com um molde de componente padrão, com o objetivo de se fazer o comparativo de peso, tempos de processamento e custo com o processo de *spray-up* atualmente utilizado, além de amostras para confecção dos corpos de prova de ensaios mecânicos e demais ensaios de caracterização. A aplicação foi iniciada pela camada de elastômero de poliuréia, com o objetivo de prover um acabamento adequado à peça final. Posteriormente foi aplicado poliuretano rígido, em quatro camadas. A área de aplicação do leque foi de 120 a 130 mm. A distância entre o aplicador e o molde foi de aproximadamente 400 mm. A aplicação de poliuretano foi feita juntamente com a fibra de vidro picada com comprimento de aproximadamente 8 mm, sendo que a vazão de aplicação de fibra de vidro foi realizada em 5 níveis diferentes (aproximadamente 0, 9%, 13%, 18% e 21,5% em massa), visando o estudo da influência da quantidade de fibra no comportamento mecânico do material e a proposição da formulação com melhor custo-benefício (KUPPINGER et al., 2010).

Ensaio de resistência à flexão: Os ensaios foram feitos conforme norma ASTM D790-15(12). Foi utilizado o equipamento EMIC DL 2000 com célula de carga de 5kN.

Ensaio de resistência ao impacto IZOD: Os ensaios foram realizados conforme norma ASTM D 256-10(13). Foi utilizado um equipamento Panambra modelo PW4 com martelo de 2 J.

Densidade: As densidades das foram avaliadas conforme método descrito na ASTM D792-13(15), utilizando como solvente n-Hexano da Cinética Reagentes ($d=0,66123\text{g/mL}$). Foi utilizado uma balança analítica marca Shimadzu modelo AW320 resolução de 0,0001 g. As amostras foram retiradas das peças produzidas após o corte das amostras, e a camada de poliuréia foi removida antes dos ensaios através de lixamento.

Resultados

Testes de validação do equipamento e produção das amostras: Os dados dos testes realizados comparativo com a mesma peça que atualmente é produzida pelo processo de *spray-up* com resina poliéster insaturada estão compilados no quadro 1, para uma formulação de poliuretano spray com 13% de fibra. Os dados de desempenho evidenciam

os ganhos do processo proposto, principalmente referente a custo, peso e tempos de processo que acabam sendo os mais sensíveis para viabilização do processo proposto.

Quadro 1 – Comparativo de desempenho de processos

Comparativo de Variáveis Quantitativas	
Descrição	% Diferença
Peso (kg)	-46%
Espessura Média (mm)	-16%
Aparas/Rebarbas (kg)	-86%
Tempo de Ciclo Moldagem (min)	-94%
Quantidade de Operadores	-71%
Peso x m ² da peça (kg)	-46%
Eficiência da Mão-de-obra	51%

Ensaio de resistência à flexão: Os ensaios de resistência a flexão foram feitos retirando-se cinco amostras de cada formulação. Na figura 1 é mostrado os resultados das médias do módulo de flexão de cada composição versus o teor de fibra. Considerando o desvio padrão, não se observa diferenças significativas entre as composições de 13, 18 e 21,5%.

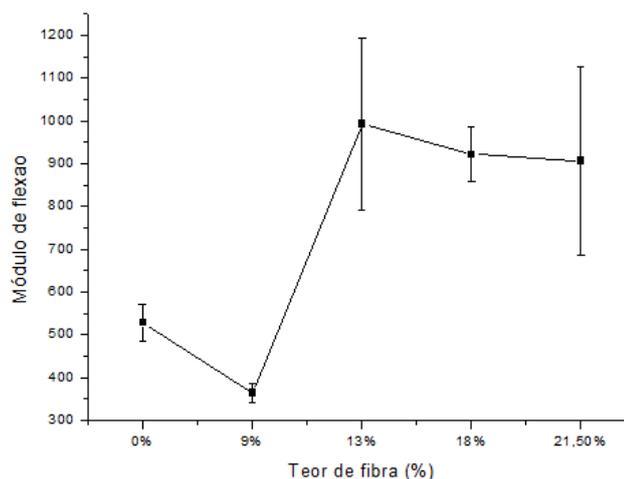


Figura 1 – Módulo de flexão versus teor de fibra

Ensaio de resistência ao impacto: A Figura 2 apresenta os resultados referente a resistência ao impacto das amostras versus o teor de fibra. Observa-se uma tendência de

aumento da resistência ao impacto em função do teor de fibra, podendo desta forma indicar uma boa adesão entre fibra e matriz.

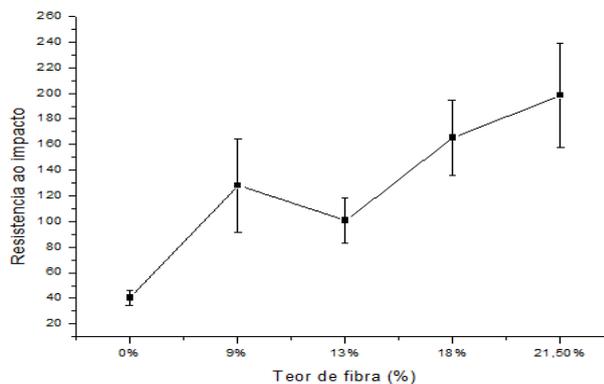


Figura 2 – Resistência ao impacto versus teor de fibra

Ensaio de densidade aparente: Nos resultados de ensaios de densidade (Figura 3), observa-se uma da densidade entre as diferentes composições, porém não há um aumento da densidade com o aumento do teor de fibra de vidro. Isto pode ocorrer devido a menor compactação do material causado pela maior quantidade de fibra,

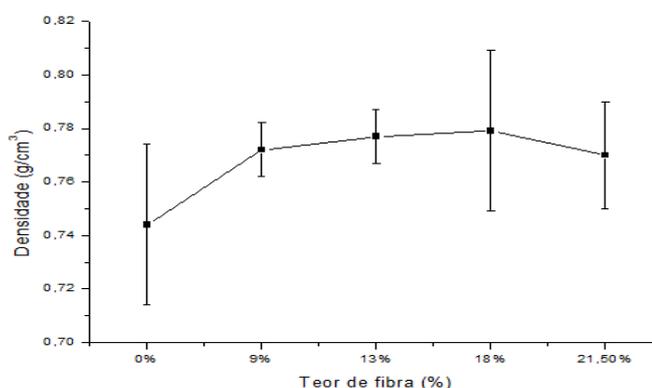


Figura 3 – Densidade versus teor de fibra

Considerações finais

A proposta de processo para substituir o sistema atual apresenta viabilidade técnica e econômica. Os resultados de ensaios mostraram que o teor de fibra não impacta significativamente na densidade da peça. Os dados de resistência ao impacto indicam um melhor desempenho entre 18 e 21,5% de fibra de vidro. Os resultados de módulo elástico de

flexão indicam um melhor desempenho para as amostras contendo entre 13 e 18% de fibra de vidro.

Referências

ORTH, Cintia Madureira et al. Implicações do processo de fabricação de compósito plástico reforçado com fibra de vidro sobre o meio ambiente e o trabalhador. **Revista Produção Online**, Florianópolis, v. 12, n. 2, p.537-556, Abr/Jun2012

MANOLIS SHERMAN, Lilli. Polyurethane composites: New alternative to polyester & vinyl ester. **Plastics technology**, v. 52, n. 3, 2006.

KUPPINGER, Dipl.-ing. Jan et al. Influence of fibre length and concentration on the mechanical properties of long glass fibre reinforced polyurethane. **Journal Of Plastics Technology**, Muenchen, v. 6, n. 5, p.205-227, jul. 2010.