

PROCESSAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE UM COMPÓSITO GRANULAR OBTIDO POR RECICLAGEM MECÂNICA.

R. S. Santos¹; I. A. B. Barbosa¹; W. M. M. Menezes¹; H. H. Bernardi¹

1- Faculdade de Tecnologia de São José dos Campos – “Prof. Jessen Vidal”

Avenida Cesare Mansueto Giulio Lattes, 1350 – CEP: 12247-014 – São José dos Campos - SP – Brasil

Telefone: (12) 99784-8359; (12) 99670-7741 – E-mail: desa_sesenha@hotmail.com; ariabelineli@gmail.com;

RESUMO: Este trabalho propõe um método de reciclagem mecânica de nível laboratorial e experimental para rebarbas de material compósito de resina epóxi e fibra de carbono oriundas de manufaturas, que seriam descartadas. O método escolhido consiste em processar as rebarbas dentro de uma câmara de processamento utilizando uma mini retífica. O processo mostrou-se economicamente viável. O pó obtido após a reciclagem mecânica resultou em uma mistura não homogênea e pode ser utilizado em acabamento superficial de compósito e na fabricação de compósito granular.

PALAVRAS-CHAVE: compósito; carbono; reciclagem; processamento

ABSTRACT: This work introduces an experimental mechanical recycling method for carbon fiber reinforced epoxy resin burr originated from manufacturing process. The recycling process consists of a manufactured plastic chamber and a Dremel300® rotary tool. The process is economically viable. The powder acquired from the process is not homogeneous and it is indicate for surface finishing and manufacture of particulate composites.

KEYWORDS: composite; carbon; recycling; processing

1. INTRODUÇÃO

Materiais compósitos têm sido largamente utilizados na indústria aeronáutica. Devido à grande empregabilidade, há a necessidade de encontrar um destino final para os descartes dos materiais compósitos através da reciclagem. Boa parte dos materiais compósitos de matriz polimérica são termorrígidos, o que torna o processo de reciclagem mais complexo quando comparado aos de matrizes termoplásticas.

1.1. Material Compósito

Material compósito pode ser definido como uma combinação de dois ou mais materiais, insolúveis entre si, que resulta em um novo material com propriedades melhores que não se encontraria nos mesmos materiais separadamente [1].

Os dois constituintes de um material compósito são matriz e o reforço. A matriz pode ser de material cerâmico, metálico ou polimérico. Matrizes poliméricas apresentam baixa resistência e rigidez quando comparadas as outras matrizes, porém, apresentam menor custo de fabricação. Matrizes cerâmicas apresentam alta resistência e rigidez, porém, são frágeis, enquanto que a matriz metálica apresenta resistência e rigidez intermediária, mas, são altamente dúcteis e possuem melhor estabilidade térmica quando comparada a outras matrizes. O reforço é usualmente uma fibra contínua, descontínua ou até mesmo um particulado. As fibras mais comumente utilizadas são: fibra de vidro, aramida ou carbono e provem resistência e rigidez ao compósito [2].

1.2. Termorrígidos e termoplásticos

As matrizes poliméricas podem ser termoplásticas ou termorrígidas. Termoplásticos fundem por aquecimento e sofre solidificação por resfriamento, por outro lado, os termorrígidos quando aquecidos, sofrem reação química e se transformam em massa infusível e instável dificultando a sua reciclagem [2].

1.3. Reciclagem de termorrígidos

Devido às ligações cruzadas em suas cadeias, compósitos termorrígidos não podem ser remodelados. Além disso, possui como desvantagens alto custo financeiro e contaminação. Processos de reciclagem indicados para este tipo de material são pirólise, reciclagem mecânica, química e energética [3].

Para a reciclagem de um compósito de matriz polimérica termorrígida a reciclagem mecânica pode ser uma boa alternativa. Esta reciclagem baseia-se na redução das peças rejeitadas e lascas de processos a um tamanho de partícula que depende da aplicação que se destina. Além de sua simplicidade, o processo de reciclagem mecânica necessita de menos tecnologia, e aproveita ao máximo tanto a matriz quanto o reforço produzindo a menor quantidade de resíduos poluentes. Em contrapartida, este método de reciclagem destrói as fibras, limitando assim a reutilização do material. Uma das vantagens desse tipo de reciclagem é que não gera gases que podem ser prejudiciais ao meio ambiente, como na pirólise. Na reciclagem química as substâncias utilizadas e resultante do processo devem ser armazenadas e captadas corretamente, exigindo maiores cuidados [4].

Portanto, este trabalho, tem como objetivo projetar uma câmara para processar as rebarbas de um compósito de fibra de carbono com matriz polimérica, transformando-o em um pó e reutilizando-o para a fabricação de um compósito granular.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Material

O material é proveniente do processo de acabamento de peças de compósito de carbono, cujas características são: rebarbas de compósito de resina epóxi (5052) e carbono C200P 3K TR30S (200 g/m²) (Figura 1).



Figura 1. Rebarbas utilizadas do compósito de carbono.

2.2 Métodos

O método de reciclagem empregado foi mecânico, no qual consistiu em reduzir as rebarbas (60,2 g) em um pó, podendo assim ser utilizado na fabricação de outros compósitos. Todo o processamento foi realizado dentro de uma câmara para que o material processado não se dissipasse no ar, contaminando assim o ambiente. Além do pó obtido no processamento mecânico, também foi coletado o pó gerado pelo corte das rebarbas. No entanto, devido ao pó oriundo do corte possuir muitas impurezas, este tem características diferentes do pó processado, restringindo o seu uso.

2.2.1. Construção da câmara: Para a obtenção do pó a partir das rebarbas foi necessário a construção de uma câmara de processamento (Figura 2), com o objetivo de não dispersar o pó gerado pela redução mecânica do material, além de se obter um aproveitamento máximo do material processado, facilitar a aglomeração e a coleta do pó.

Para a elaboração da câmara de processamento foi escolhido um tamanho adequado, com espaço para a mão do operador e a ferramenta, necessário para se realizar o

trabalho. Sendo assim, foi utilizado um engradado de plástico (PET) translúcido de 12 litros com tampa e trava.

Com isso, foram cortadas duas cavidades de formato oval, ambas em uma das laterais, para fornecer acesso a ferramenta e a mão do operador no interior da câmara. Em uma das cavidades foi anexada uma luva de látex para possibilitar ao operador a manipulação da peça a ser processada, sem que este entre em contato com o pó gerado. Na outra cavidade, foi anexado um filme plástico flexível, o qual serviria de proteção para a ferramenta de trabalho, concedendo boa mobilidade e evitando o contato desta com o material obtido. Além disso, a vedação da câmara foi melhorada com o uso de três camadas de fita adesiva crepe, a qual aumentou a espessura da borda, eliminando o espaço existente entre a câmara e sua tampa. Com isso, evita-se o escape do pó devido a diferença de pressão gerada pela manipulação da ferramenta dentro da câmara.



Figura 2. Câmara de processamento fabricada.

2.2.1. Processamento e armazenamento do material:

O processamento de redução das rebarbas foi feito em duas etapas:

- A câmara foi instalada em um local adequado e com boa iluminação. A câmara foi aberta e inserido seis peças e então a tampa foi fechada.
- Utilizando uma máquina da marca Dremel 300® com um cilindro abrasivo foi feito o desgaste da rebarba obtendo-se o pó do compósito. No entanto, cada rebarba processada resultou em um pedaço de

aproximadamente 1 cm² não processado, por ser a área mínima de manipulação. Esse processo foi realizado para todas as seis peças, e ao inserir novas peças na câmara a tampa foi aberta com cuidado, já que o pó gerado pelo processo se dissipa com facilidade no ar.

Após o processamento de todas as rebarbas a câmara ficou em repouso (15 min) antes de ser aberta para que todo pó diluído no ar precipitasse, evitando a dispersão do pó.

Com o auxílio de um pincel de 1½ polegadas com cerdas macias todo o material processado foi recolhido e armazenado e depois pesado em uma balança com resolução de 0,1 g. O pó processado e as sobras foram pesados para se determinar a eficiência do processo.

2.2.3. Análise do pó processado: A caracterização microestrutural do pó obtido através do processo mecânico de reciclagem foi feita utilizando microscopia eletrônica de varredura (MEV). A análise foi feita utilizando um microscópio modelo VEGA3 TESCAN da Shimadzu no modo de elétrons secundários.

2.2.4. Teste mecânico: Foram fabricados corpos de prova (cdp's) de compósito granular, de acordo com uma adaptação da norma ASTM D3039-14 [5] para tração e compressão, sendo três utilizando o pó processado e 3 utilizando carga de aerossil (carga utilizada em colagem de compósitos) para cada teste. Foi utilizado a proporção volumétrica, segundo Campbell [2], de 40% para compósito granulado, que foi misturado com resina epóxi 5052, obtendo assim o compósito a ser testado. O ensaio de tração e compressão foi efetuado para analisar a resistência do material quando submetido a cargas axiais no sentido longitudinal do cdp. Os ensaios mecânicos foram realizados em uma máquina de ensaio universal da marca Time Group Inc, com velocidade de deformação de 2 mm/min em temperatura ambiente até a ruptura do cdp.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O processo de corte das rebarbas gerou um pó com uma grande quantidade de impurezas, já que o processo não foi feito em um ambiente controlado, obtendo-se 39,8 g de pó de compósito de carbono junto com partículas de pó de tinta, madeira, desmoldante e massa de acabamento.

No processamento das 60,2 g de rebarbas dentro da câmara foi produzido 53,7 g de um pó fino sem impurezas (Figura 3) e 6 g de sobras não processadas. Sendo assim, o aproveitamento do processo foi de 89,2% e as 0,5 gramas faltantes representam a quantidade de material dissipada ao retirá-lo de dentro da câmara, e do pó que ficou impregnado nas paredes da câmara.

A sobra de material é igual para cada peça processada, já que consiste na área mínima para manipular a peça. Com isso, utilizando o maior tamanho possível das rebarbas, tem-se uma menor quantidade de partes de rebarbas e consequentemente menos sobras não processadas. E com a utilização de um processamento automático a eficiência do processo aumentaria, diminuindo também o tempo de processo.

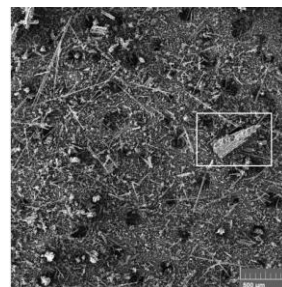


Figura 3. Pó do compósito de carbono após o processamento mecânico.

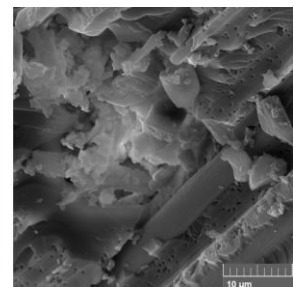
A Figura 4 mostra a micrografia do pó coletado sem impurezas. Pode-se observar (Figura 4a) que o processamento mecânico

gerou uma mistura heterogênea do pó, com glomerados que variam de 150 μm a 500 μm e fibras de 25 μm a 500 μm . Além disso, nos aglomerados maiores observa-se a interação da fibra de carbono com a resina epóxi no qual não foi separado pelo processo de desgaste (Figura 4b). No entanto, pode-se dizer que o processo de reciclagem mecânica utilizado foi eficiente para se obter um pó do material compósito.

Foi analisado também o aerosil (Figura 5), onde na Figura 5a mostra um aglomerado de partículas do aerosil da ordem de 100 μm . Porém, uma região ampliada (Figura 5b) mostra que o aglomerado é formado por partículas menores de 2 μm a 30 μm .

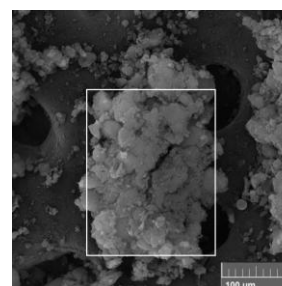


(a)

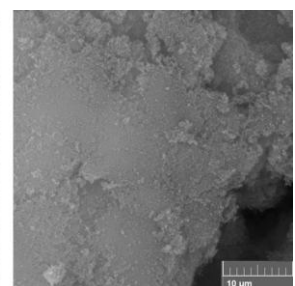


(b)

Figura 4. (a) Pó do compósito de fibra de carbono e (b) detalhe da Figura 4a.



(a)



(b)

Figura 5. (a) Pó do aerosil e (b) detalhe da Figura 5a.

Para um melhor controle do tamanho das partículas do pó pode ser utilizado uma

separação com peneiras. Desta maneira, se obteria um tamanho padrão de partículas possibilitando a fabricação de compósitos com tamanhos específicos de partículas.

Neste trabalho o processo efetuado foi experimental, porém podendo ser escalonado a nível industrial. Com isso, o uso de um maquinário para processamento automático com um sistema próprio de armazenamento poderia suprir uma quantidade de rebarbas produzidas por uma empresa.

A utilização deste processo transforma material que seria descartado em matéria prima, podendo ser utilizado em processos de manufatura como, *hand lay-up* (acabamento), e injeção. Assim, o material de alto custo que seria descartado pode ser reutilizado, diminuindo assim, as perdas da empresa.

Para avaliar a eficiência e as características mecânicas do compósito granular obtido via reciclagem mecânica, foram realizados ensaios de tração e compressão. Os resultados podem ser observados da Tabela 1, possibilitando uma comparação do granulado reciclado e com a adição do aerosil que é um tipo de carga muito utilizado na fabricação de peças e produtos de compósitos.

Tabela 1. Valores de força para os cdp's de carbono e com aerosil.

Teste	Carbono (kN)	Aerosil (kN)
Tração	$1,60 \pm 0,19$	$1,55 \pm 0,20$
Compressão	$4,50 \pm 0,74$	$2,20 \pm 0,79$

Os resultados mostram que os cdp's do compósito granulado submetidos a cargas de tração e compressão são maiores do que o compósito com adição de aerosil. No entanto, o uso de aerosil é para melhorar as características mecânicas da resina, principalmente em tração, e observando os valores obtidos nota-se que os resultados de tração foram similares sem e com a adição de aerosil. Por outro lado, o compósito granular é mais resistente a forças de compressão do que

de tração, isso pode ser devido a interação das partículas (pó reciclado) com a resina.

Com os resultados obtidos foi possível calcular o módulo de elasticidade em tração do novo material, obtendo-se um valor de 6,3 GPa, assim o material pode ser comparado com o Nylon 6 que possui um módulo de elasticidade a tração de 2,6 GPa [6]. Com isso, o compósito obtido por ser utilizado em outras aplicações, como na fabricação de peças de pouca solicitação estrutural, mas que necessitam de uma maior estabilidade dimensional.

4. CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos podemos concluir que:

- O processo de reciclagem mecânica apresentado resultou em um pó que pode ser utilizado para acabamento superficial de compósitos e na fabricação de peças de compósito granular.
- Para o processamento das rebarbas, o processo de reciclagem escolhido é economicamente viável, sendo que, em outros processos o gasto seria muito maior para se obter um produto que não poderia ser empregado em peças de alto valor.
- O processo elaborado neste trabalho, pode ser escalonado para um processamento automático aumentando a eficiência do processo e diminuindo o tempo de processamento.
- O pó obtido por desgaste mecânico resultou em uma mistura não homogênea.
- O compósito granular fabricado a partir do material reciclado possui características mecânicas melhores em compressão do que em tração.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Departamento de Materiais e Processos do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) pela utilização do MEV.

6. REFERÊNCIAS



- [1] AMERICAN SOCIETY FOR THECNICAL AND METHOD. *Standard Test Method for Tensile Properties of plastics (Metric)*. ASTM 1987. (D3878-15).
- [2] CAMPBELL, F. C. *Introduction to Composite Materials*. In: CAMPBELL, F. C. *Structural Composite Materials*. USA: ASM International®, Cap. 1, p. 1-30, 2010
- [3] PICKERING, S. *Recycling and Disposal of Thermoset Composites*. Nottingham: University of Nottingham, 2013.
- [4] PICKERING, S., HORNSBY, P. *Polymer Composites: Recycling and Energy Recovery*. *Materials World*, p. 426-427, 1995.
- [5] AMERICAN SOCIETY FOR THECNICAL AND METHOD. *Standard Test Method for Tensile Properties of plastics (Metric)*. ASTM 1987. (D3039-14).
- [6] OBERG, E., JONES, F. D., HORTON, H. L., RYFFEL, H. H. *27th Edition Machinery's Handbook*. Industrial Press Inc. New York, p. 416, 2004.