

ANALISE MECÂNICA E MICROESTRUTURAL DE COMPÓSITOS POLIMÉRICOS COM ADIÇÃO DE RESÍDUO DE FLOTAÇÃO ORIUNDOS DO BENEFICIAMENTO DE MINÉRIO DE COBRE

Wassim Raja El Banna, wassim@ufpa.br¹

Druscilla Mafalda Zaghetthi, drumf83@gmail.com¹

Valéria Menezes Ramos, vaah_menezes@hotmail.com¹

Suene Oliveira Dias, sueneoliveiradias@gmail.com¹

Deibson Silva da Costa, deibsonsc@yahoo.com.br¹

Iara Ferreira Santos, iaraferreira.eq@gmail.com

José Antônio da Silva Souza, jass@ufpa.br¹

¹Universidade Federal do Pará, Br 422 km 13, s/n. CEP 68464-000

Resumo: O presente trabalho tem como proposta e abordagem a caracterização do compósito composto de resina poliéster Isoftálica (proporção 0,5% Co e 1,5% catalisador) reforçado com carga de resíduo de cobre, assim como análise granulométrica e de densidade do resíduo de cobre. A carga resídua mineral, normalmente utilizada para redução de custos, pode ter influência nas propriedades mecânicas dos compósitos com matriz de poliéster insaturado. Inicialmente foi feito o experimento granulométrico de 100# e de densidade do reforço seguindo a confecção dos compósitos por moldagem manual. Posteriormente, através do ensaio de tração do compósito polimérico com adição de resíduo de flotação do beneficiamento de minério de cobre e da análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV) para a verificação da superfície de fratura, foram determinadas as propriedades mecânicas do compósito, que são resistência e o alongamento em função da força máxima nas concentrações de 10%, 20%, 30% e 40%. O melhor resultado das concentrações volumétricas percentuais acima mencionadas foi obtido na resistência do compósito com matriz poliéster com carga de resíduo de cobre na concentração de 20% em peso. Nas outras concentrações, as cargas testadas tiveram nas propriedades uma razoável queda em relação à de melhor desempenho destacando-se a de 30% que evidenciou a mais baixa resistência. Foram realizadas comparações com outros autores que utilizam outros minerais ou não como reforço de materiais compósitos, visando sua viabilização.

Palavras-chave: Compósito polimérico, Resíduo de cobre, Resina poliéster, Tração

1. INTRODUÇÃO

A ciência dos materiais possui uma grande parcela de importância no desenvolvimento tecnológico por fornecer respostas às necessidades desse processo. Conhecer estruturas e características dos materiais permite que estes sejam combinados para potencializar resultados em diversas situações e contextos. Essa “combinação” deu origem a uma nova classe de materiais conhecida como Compósitos (Conde, 2015).

A “imagem” de um material compósito deve ser vista como uma interação entre duas fases: a matriz (fase contínua) e o reforço (fase dispersa). As propriedades desse material obtido dependem das quantidades dos seus constituintes (Conde, 2015).

Polímero é qualquer material orgânico ou inorgânico, sintético ou natural, que tenha certo peso molecular e com variedades estruturais repetitivas, sendo que normalmente esta unidade que se repete é de baixo peso molecular (Junior, 2006).

O crescimento demográfico da humanidade nos últimos tempos em paralelo a uma urbanização desordenada e ao grandioso desenvolvimento da indústria e do mercado de consumo tem trazido grandes desafios aos governos e à coletividade. Um deles, sem dúvida, é a destinação para o grande volume de resíduos sólidos gerados por uma sociedade altamente consumista. Descobrir maneiras de reaproveitar esses rejeitos é uma exigência ainda maior (Rauber, 2011).

Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

O texto da lei nº 12.305/2010 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos em seu artigo 9º, título III que dispõe diretrizes aplicáveis aos resíduos sólidos, diz que na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser

observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

É notória a importância dos materiais compósitos no âmbito tecnológico e também ambiental. Associar uma matriz polimérica à resíduos sólidos provenientes de atividades minerais obtendo assim, um material compósito, contribui com a sustentabilidade. Procedendo dessa forma, há vantagens econômicas para as empresas, no sentido de demandar menor espaço para armazenagem desses resíduos.

Considerando a importância do compósito polimérico estudado também constituído do reforço de carga mineral, o atual trabalho propõe a utilização dessa carga residual mineral dispersa em matriz de resina poliéster isoftálica comparando o desempenho desses compósitos, produzidos com distintas frações volumétricas e granulometria de 100# através de ensaios mecânicos e microestruturais.

2. Materiais e Métodos

2.1. Materiais

Para a confecção do compósito, foi utilizada como matriz polimérica uma resina poliéster insaturada AM 190, fabricada pela Aerojet Fiberglass, do tipo isoftálico de baixa reatividade, cristal, alta viscosidade, brilho, transparência e rígida (Fig. 1a), acelerador de cobalto 6% (Cat. Metálico Umedecido) conforme Fig. 1b. Utilizou-se como iniciador de cura Butanox BB substância pura, líquida, límpida e incolor de Peróxido de Metil Etil Cetona com sinônimo de MEK-P (Fig. 1c) e desmoldante líquido Desmoljet (Fig. 1d).



Figura 1. Substâncias: a) resina; b) acelerador; c) iniciador e d) desmoldante Desmoljet.

O resíduo de cobre foi utilizado como reforço na composição para fabricação dos compósitos (Fig. 2) proveniente de doação da empresa Vale localizada na cidade de Canaã dos Carajás - PA. O resíduo foi conduzido ao laboratório de Mecânica (LABMEC) da UFPA para caracterização da carga de resíduo do cobre.



Figura 2. Resíduo de cobre.

2.2. Métodos

2.2.1 Confecção dos corpos de prova

Para a realização dos ensaios de tração mecânica, foram produzidas placas de compósito com dimensões de 320 mm de comprimento, 170 mm de largura e 2,5 mm de espessura utilizando o resíduo de cobre como reforço e poliéster isoftálico insaturado como matriz seguindo o processo descrito na Fig. 3.

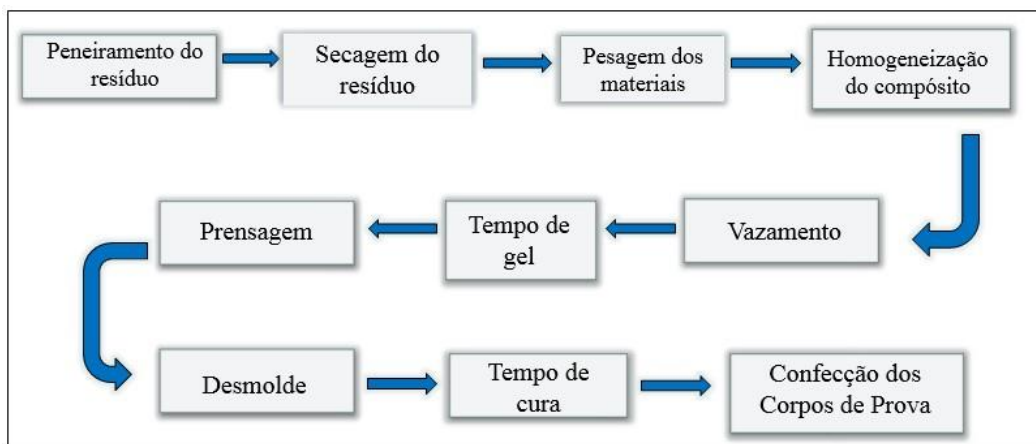


Figura 3. Síntese do processo de confecção dos corpos de prova.

As placas apresentavam composições de 10%, 20%, 30% e 40% de resíduo de cobre e resina pura (Tab. 1).

Tabela 1. Quantidade de resina e resíduo na amostra.

Cobre%	Resina %	Massa resíduo (g)	Massa resina (g)
0	100	0	243,71
10	90	62,23	219,34
20	80	124,46	194,96
30	70	186,7	170,59
40	60	248,93	146,22

A carga mineral foi refinada em uma peneira de 100# da série de Tyler e após uma secagem por um período de 24h. Na sequência, com o auxílio de uma balança de precisão, pesaram-se as quantidades de resíduo e resina. Em seguida, utilizando duas pipetas, foram separadas as frações volumétricas de iniciador e acelerador.

O acelerador foi adicionado no recipiente que continha a resina e com um bastão de vidro foi feita a homogeneização desses componentes por um tempo de trinta segundos. Feito isso, acrescentou-se o iniciador MEK-P. O resíduo, por sua vez, é incorporado gradativamente à mistura para facilitar sua homogeneização.

Depois de homogeneizada, a mistura foi despejada no molde metálico, a Fig. 4 que foi previamente preparado com desmoldante DESMOLJET com a finalidade de facilitar a retirada da placa após a prensagem.



Figura 4. Molde metálico retangular.

O próximo passo é aguardar a mistura atingir seu ponto de gel, o que ocorre por volta de 6 min depois de despejada a mistura no molde. O molde então é fechado e posto na prensa (Fig. 5) por um período de 30 minutos sob uma pressão de 1,5 ton.



Figura 5. Prensa utilizada no experimento.

2.2.2 Ensaio de tração

A máquina de ensaio universal modelo WDW- 100, foi o equipamento utilizado para o ensaio de tração (Fig. 6). O ensaio tem como objetivo determinar a tensão de tração, a força de ruptura e o alongamento do compósito, foram ensaiados os corpos de prova de cada fração volumétrica do resíduo de cobre de 10%, 20%, 30% e 40%.



Figura 6. Ensaio de tração dos corpos de prova.

Os ensaios foram realizados em um ambiente a temperatura de 25°C, utilizou-se a velocidade do deslocamento de: 2 mm/min, de acordo com a norma ASTM 3039. Foram utilizados oito corpos de prova de cada fração volumétrica, esses com dimensões de 250 mm x 25 mm x 2,5 mm (Fig. 7).



Figura 7. Dimensões do corpo de prova conforme norma ASTM D-3039.

2.2.3 Análise da superfície de fratura

Após a realização dos ensaios mecânicos, a superfície de fratura dos corpos de prova foi analisada de forma a se estudar os mecanismos de falha de cada composição fabricada. A morfologia da superfície de fratura foi analisada por microscopia eletrônica de varredura, obedecendo a mesma metodologia de preparação de amostra efetuado para a caracterização microestrutural das fibras e do resíduo (Fig.8).



Figura 8 - Microscópio eletrônico de varredura (MEV).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Confeção dos corpos de prova

Após o período de cura (24h) dos compósitos produzidos, foi iniciada a etapa de corte dos corpos de prova, os mesmos não possuíam irregularidades quanto a sua superfície, pois no processo de fabricação o molde metálico possui uma estrutura regular, plana e lisa, sendo assim após a compressão as possíveis bolhas de ar resultantes da reação química são expulsas da matriz e os compósitos ganham maior resistência, pois as bolhas de ar criariam pontos concentradores de tensão e poderiam levar a fratura do material por conta de defeitos na estrutura do compósito. A Figura 9 mostra os corpos de prova dos compósitos poliméricos adicionados com resíduo de flotação de cobre.

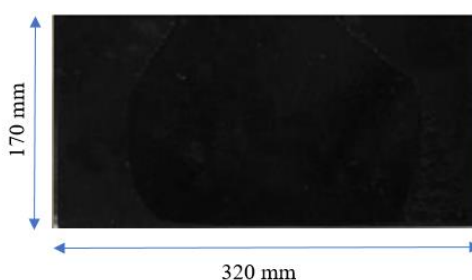


Figura 9. Placa do compósito polimérico adicionado com resíduo de flotação de cobre;

3.2 Ensaio de tração

Na Tabela 2 estão reunidos os valores obtidos no teste de tração mecânica pautado pela norma ASTM D-3039.

Tabela 2. Propriedades mecânicas dos compósitos reforçados com resíduo de cobre.

Resíduo de Cobre (%)	Resistência à Tração (MPa)	Alongamento (mm)
0%	32,6 ± (2,62)	3,0 ± (0,8)
10%	29 ± (9)	2,5 ± (0,6)
20%	39,8 ± (6)	2,8 ± (0,4)
30%	31 ± (7,8)	2,5 ± (0,3)
40%	34,6 ± (9,1)	2,3 ± (0,4)

No geral, a adição de carga mineral tendeu para o aumento da resistência à tração, sendo o material com teor de 20% apresentando maior valor para esta propriedade em relação aos demais. Por terem sido confeccionadas de maneira manual, admite-se que pode haver defeitos superficiais nas placas e que contribuíram para as disparidades nos valores de cada concentração.

Quanto ao alongamento, novamente a fração de 20% de resíduo de cobre inclinou para um melhor resultado. Quando tomando o valor do alongamento para 40% de carga mineral, é percebida uma diminuição no valor dessa propriedade, isto se dá porque à medida que a fração de resíduo adicionado na matriz aumenta, o material se torna mais rígido, ou seja, tem baixo valor de deformação antes da fratura.

Os resultados dos testes de tração de Almeida (2010) e Conde (2015) serviram como base para comparação dos valores de propriedade mecânicas obtidas neste trabalho, qual utilizaram os resíduos com granulometria de 325# e 48#, respectivamente. Os parâmetros utilizados pelos autores são mostrados na Fig. 10.

COMPARAÇÕES ENTRE GRANULOMETRIAS

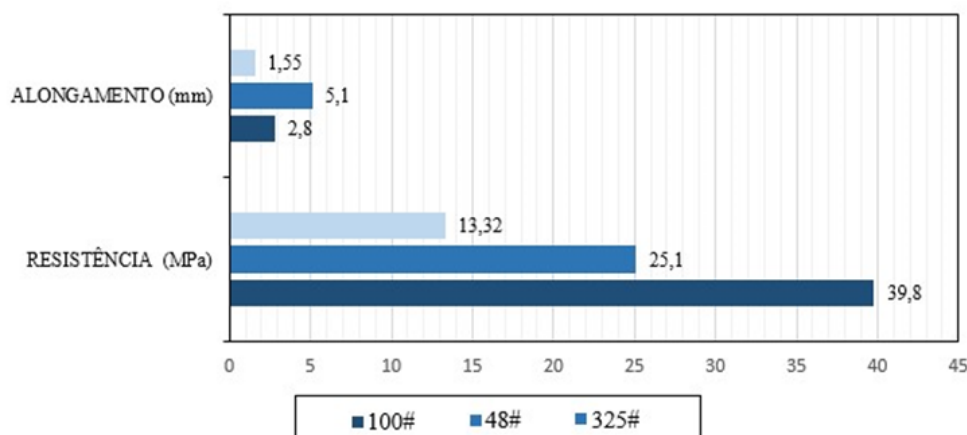


Figura 10. Comparação das propriedades mecânicas entre granulometrias.

Os resultados da comparação entre os trabalhos permitem identificar que o tipo de resina utilizada e a granulometria da carga mineral são fatores determinantes para os valores das propriedades mecânicas dos compósitos. A granulometria de 100# mostrou-se satisfatória quando comparada às demais no que se refere à resistência à tração com pelo menos 58% de diferença entre os valores reforçando a importância do refino da partícula utilizada como reforço, onde partículas com tamanhos menores têm maior facilidade de serem molhadas pelo polímero.

3.3 Análise da superfície de fratura

A Figura 11 mostra as superfícies de fratura após os ensaios de tração dos compósitos com adição do resíduo de cobre nas proporções de 10%, 20%, 30% e 40%.

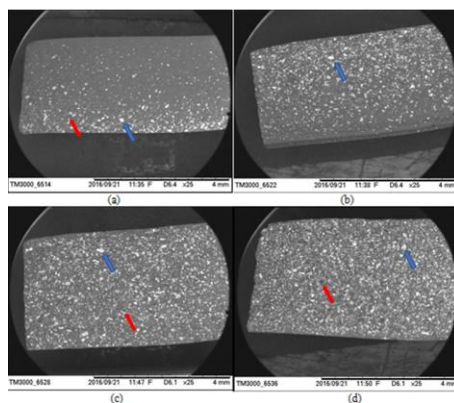


Figura 11 – Microscopia eletrônica de varredura: (a) Cobre 10%; (b) Cobre 20%; (c) Cobre 30%; (d) Cobre 40%.

A superfície de fratura da Figura 11 (a) do compósito com 10% de resíduo de cobre (seta azul) mostra uma superfície fratura da plana com poucos vazios e porosidades (seta vermelha), entretanto observa-se a presença de algumas imperfeições que podem ter contribuído para perda de resistência mecânica, como por exemplo, a irradiação de trincas na direção do esforço solicitado, como também a alta sedimentação do resíduo no compósito não havendo uma boa dispersão do mesmo. A superfície de fratura da Figura 11 (b) mostra a superfície do compósito com 20% de resíduo de cobre, na qual nota-se uma melhor dispersão do resíduo dentro da matriz, havendo uma melhor compactação no compósito melhorando assim suas propriedades mecânicas.

Nas Figuras 11 (c) e (d) dos compósitos com 30% e 40% de resíduo de cobre, respectivamente, mostra um aumento da dispersão dentro da matriz (melhor dispersão), entretanto nota-se algumas imperfeições mais acentuadas, como a presença de vazios ou porosidades oriundas do próprio processo de fabricação ser manual, acarretando assim numa diminuição de sua propriedade mecânica quando comparadas com o compósito com 20% de resíduo de cobre.

4 CONCLUSÕES

O resíduo de cobre se mostrou condizente com outros resíduos minerais já estudados por outros pesquisadores, proporcionando sua utilização como reforço e/ou enchimento em materiais compósitos.

Com relação aos compósitos poliméricos com a adição do resíduo de flotação do minério de cobre, notou-se que para os ensaios de tração apenas os compósitos com as frações de 20% e 40% obtiveram resultados próximo ou superiores à matriz pura, podendo assim ser considerado como um reforço para o compósito.

Além da ocorrência de sedimentação total do resíduo na fração de 10% do resíduo de flotação de cobre, acima destas frações houve uma melhor dispersão das partículas dentro da matriz possibilitando a melhoria de suas propriedades, principalmente para as frações de 20% e 40%.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem a Universidade Federal do Pará e a empresa Vale.

6 REFERÊNCIAS

- ASTM D 3039 - 2000 “Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials”, Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials
- CONDE, N.A.F. Caracterização mecânica do compósito polimérico reforçado com carga de resíduo de cobre. Universidade Federal do Pará-Campus Universitário de Tucuruí. Faculdade de Engenharia Mecânica, Tucuruí-PA, 2015.
- JÚNIOR, G.G.G O Polímero como elemento estrutural: comparativo entre a eficiência mecânica do material e os materiais convencionais de construção civil. Universidade São Francisco-Usf, Itatiba SP, 2006.
- RAUBER, M. E. 2011. Apontamentos sobre a Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída pela Lei Federal 12.305, de 02/08/2010.Revista Eletrônica Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental. v.4.n.4.

7 DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluídos no seu trabalho.