



1º Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade

GRAMADO-RS

12 a 14 de junho de 2018

INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS EM POLIESTIRENO PÓS- CONSUMO PROVENIENTE DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS DESCARTADOS

Juliana Thomaz Lefloch Barbosa (*), Sandro Dommini Mancini 2

* Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – Campus de Sorocaba, E-mail: juthomaz@hotmail.com.

RESUMO

Apesar da inovação em ciência e tecnologia e do aumento da eficiência de processos produtivos, cada vez mais são buscadas soluções para diminuir a quantidade de resíduos industriais. Com a proposta de estudar o reaproveitamento de resíduos resultantes de processos industriais, o presente trabalho foi realizado com resíduos da mineração de alumínio (lama vermelha), resíduos industriais da fabricação de pás eólicas (fibra/resina epóxi), na forma de pó, provenientes do processo de acabamento (lixamento) das mesmas e resíduos do pós-consumo de equipamentos eletroeletrônicos (poliestireno de alto impacto - HIPS). A incorporação do HIPS (utilizado como matriz – 95%) com os resíduos industriais da mineração de alumínio e da fabricação das pás eólicas foi realizada através do processo de extrusão. Os corpos de prova com os percentuais (5%) de resíduos de lama vermelha e dos resíduos das pás eólicas foram avaliados através de ensaios de queima de orgânicos, ensaios de tração e impacto, teor de umidade e índice de fluidez. Os resultados dos ensaios de queima de orgânicos demonstraram que o resíduo da mineração obteve percentual maior de incorporação, em relação ao resíduo da fabricação das pás eólicas. Um ensaio que tem importante função na indústria e pesquisa, o índice de fluidez, teve bons resultados, sendo compatíveis com o HIPS reciclado. Quanto aos ensaios de impacto e tração, os resultados foram inferiores ao do HIPS puro. Conclui-se que a incorporação destes resíduos industriais tendo como matriz o HIPS foram satisfatórios, podendo restringir alguns usos, e contribuem para a redução do descarte dos resíduos em aterros sanitários.

PALAVRAS-CHAVE: resíduos industriais, incorporação, poliestireno.

ABSTRACT

Despite the science and technology's innovation and increasing of production processes's efficiency, solutions are increasingly being sought to reduce the amount of industrial waste. Proposing to study the reuse of residues resulting from industrial processes, the present work was carried out with waste from aluminum mining (red mud), industrial waste from the manufacture of wind turbines (fiber / epoxy resin) in powder form (sanding) and post-consumer electronics (high impact polystyrene - HIPS). The incorporation of HIPS (used as a matrix - 95%) with the industrial waste from the aluminum mining and wind turbine manufacturing was carried out through the extrusion process. The test specimens with the percentages (5%) of red mud residues and the residues of the wind turbines were evaluated through organic burning tests, traction and impact tests, moisture content and flow index. The results of the organic burning tests showed mining residue obtained a higher percentage of incorporation in relation to the residue from production of wind turbines. An important essay on industry and research, the fluidity index, has outstanding results, being compatible with recycled HIPS. About impact and traction tests, the results were lower than pure HIPS. It is reasonable to conclude the incorporation of these industrial residues with HIPS as a matrix were satisfactory, being able to restrict some uses, and contribute to the waste's reduction disposal in sanitary landfills.

KEY WORDS: industrial residues, incorporation, polystyrene.

INTRODUÇÃO

Desde o início do desenvolvimento industrial das décadas de 1930 e 1940, o homem vem seguindo um modelo linear de produção de bens, no qual ocorre a extração de matéria-prima, a fabricação e uso dos produtos e por fim, o descarte dos mesmos. Tal comportamento por tanto tempo e em escala global está, não só provocando a escassez dos recursos naturais, mas também causando outros impactos negativos ao meio-ambiente como a poluição, degradação e a intoxicação de ecossistemas e das pessoas.

Partindo desde contexto, surge o conceito de transformar este modelo linear em um modelo circular de produção no qual os materiais retornam ao ciclo produtivo ao invés de serem descartados como lixo, dentre outras maneiras, por



1º Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade

GRAMADO-RS 12 a 14 de junho de 2018

meio da logística reversa, com a reutilização, a recuperação e a reciclagem de materiais, atingindo assim o chamado ciclo fechado de produção.

Sorocaba, no Estado de São Paulo, é uma das cidades em desenvolvimento econômico do Estado de São Paulo e as principais bases de sua economia são os setores de indústria, comércio e serviços.

Entre outras indústrias, a cidade contempla a empresa Wobben Windpower Indústria e Comércio Ltda, que atua no segmento eólico. Experimentando crescimentos acelerados nos últimos anos, a indústria nacional de fabricação de pás eólicas começa a enfrentar um desafio: a destinação dos resíduos industriais gerados. Somam-se ao problema dos resíduos industriais, o descarte de pás após a vida útil. Calcula-se que a vida útil de uma pá eólica é 20 anos e que em 2020 serão geradas aproximadamente 50 mil toneladas anuais de pás usadas em todo o mundo e que esse número só tende a subir, para atingir, em 2034, cerca de 200 mil toneladas anuais (BRAHMS *et al*, 2007).

Em 2010 a Política Nacional de Resíduos Sólidos estabeleceu a necessidade de que construísse no Brasil um sistema de logística reversa de equipamentos eletroeletrônicos, dado que o aumento na geração desses resíduos é notório (BRASIL, 2010). Aproveitando essa oportunidade, foi criado em 2012, também em Sorocaba, o Centro de Inovação e Tecnologia – Sintronics, que desenvolveu infraestrutura e tecnologia para coletar e transformar eletroeletrônicos em matéria prima e peças para novos produtos. Trata-se provavelmente da primeira reação da indústria à exigência da Política Nacional e o primeiro ecossistema integrado de soluções sustentáveis voltados para o mercado de eletroeletrônicos: integra logística reversa, processamento dos materiais, investimentos em pesquisa e desenvolvimento em busca não só de novos usos para os componentes recebidos, como também para garantir a qualidade do material produzido, e permitir que os clientes tenham acesso a essa infraestrutura para suas pesquisas (SINTRONICS, 2017).

Sabe-se que boa parte de um produto eletroeletrônico é constituída de material polimérico. Por exemplo, numa impressora multifuncional foram catalogados 25 materiais diferentes, sendo 54,7% de sua massa composta de poliestireno de alto impacto (VALÉRIO, 2014). Assim, a confecção de um material compósito tendo como matriz um plástico advindo de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos, como o poliestireno de alto impacto, parece ser uma boa alternativa de investigação. Incorporar resíduos industriais importantes como os citados nos parágrafos anteriores pode trazer bons resultados que diminuam o envio tanto destes quanto de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos a aterros sanitários.

Fazendo parte da Região Metropolitana de Sorocaba, distante apenas 25,1 km, fica o município de Alumínio, que abriga a Companhia Brasileira de Alumínio CBA, que atualmente tem capacidade para produzir 466 mil toneladas anuais do metal, produção que é destinada para atender o mercado interno de bens de consumo, construção civil, embalagens e transportes, e também o mercado externo, principalmente para os Estado Unidos, Europa e América Latina. Somente em 2014, o volume exportado foi de quase 20 mil toneladas (SOTTOVIA, 2015).

A bauxita é um minério de onde se extrai a alumina, que será utilizada principalmente para a produção de alumínio. Na obtenção da alumina, é gerado um resíduo altamente alcalino denominado lama vermelha, um passivo ambiental que ocupa extensas áreas para o seu descarte. Milhões de toneladas de lama vermelha estão estocadas no mundo, e outros milhões são acrescidos a cada ano, já que para uma tonelada de alumina obtida, de 1 a 1,5 toneladas de lama vermelha é gerada (POWER *et al.*, 2011; RATH *et al.*, 2013). A lama vermelha pode causar a contaminação do solo, de águas subterrâneas e superficiais, acarretando danos à flora e à fauna, além do risco do rompimento dos diques de disposição (GELENCSEK *et al.*, 2011; SILVA FILHO *et al.*, 2008). Ainda não há produção em escala industrial que utilize este resíduo, mas já existem projetos-piloto (RED MUD, 2014).

Uma das possibilidades de utilização desses e de outros resíduos, inclusive os das indústrias de aerogeradores, é sua incorporação em matrizes poliméricas. Podem ser gerados assim compósitos, materiais multifásicos que exibem uma proporção significativa das propriedades de ambas as fases que o constituem, de tal modo que é obtida uma melhor combinação de propriedades (CALLISTER, 2002).

Os compósitos representam um grande passo na constante tentativa de otimização de materiais, ou seja, obter maior economia de matéria-prima, ocasionando menor custo de produção, porém sem perda de qualidade do produto final.



1º Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade

GRAMADO-RS

12 a 14 de junho de 2018

Muitos produtos e equipamentos são produzidos com materiais compósitos como, por exemplo, suportes para circuitos impressos, telhado de casas, painéis de automóveis, lanchas, aviões, tubulações e até mesmo artigos esportivos como raquetes de tênis e quadros de bicicleta (GAY *et al.*, 2003). Além destes, materiais bastantes utilizados, como a madeira e o concreto (inclusive o concreto armado), são considerados materiais compósitos (SHACKELFORD, 2008).

OBJETIVOS

O presente trabalho busca propor materiais sustentáveis a partir de resíduos industriais e pós-consumo.

A ideia é a obtenção de compósitos termoplásticos tendo como matriz o poliestireno de alto impacto (HIPS) pós-consumo de equipamentos eletroeletrônicos e como reforço resíduos industriais da mineração de alumínio (lama vermelha) e da fabricação de pás eólicas (constituído de resina epóxi e fibra de vidro). Estes resíduos se constituem como alguns dos mais importantes resíduos industriais da região de Sorocaba-SP.

Será apresentado o resultado de caracterização de propriedades físicas, mecânicas, morfológicas e estrutural de uma formulação matriz/reforço. Tais resultados balizarão estudos subsequentes com outras formulações.

METODOLOGIA

O resíduo da mineração de alumínio (lama vermelha) foi coletado da lagoa de disposição em uma planta de processamento de bauxita, localizada na cidade de Alumínio-SP.

As amostras de resíduos industriais da fabricação de pás eólicas, na forma de pó, são provenientes do processo de acabamento (lixamento) das mesmas e foram coletadas em uma empresa fabricante localizada na cidade de Sorocaba – SP.

A incorporação de 95% de poliestireno alto impacto HIPS na forma de grãos (ou “pellets”) com 5% de resíduos industriais da mineração de alumínio e também com 5% de resíduos da fabricação de pás eólicas foi realizada através do processo de extrusão com dupla rosca, utilizando a Mini Extrusora da marca AX Plásticos, modelo GF_VEDO 104, disponível no Laboratório do Centro de Inovação e Tecnologia - Sinctronics, Sorocaba-SP.

Posteriormente, foi realizado ensaio de queima de orgânicos para verificação da real incorporação. O ensaio foi realizado no laboratório do NATEL da UNESP-Sorocaba-SP. O ensaio seguiu a norma ASTM D 3171 (2009) e foi utilizado forno-mufla marca Quimis modelo Q-318M24 e consiste no aquecimento da amostra para a remoção da parte orgânica e a consequente obtenção da parte inorgânica.

Para tanto foram utilizados três cadinhos, que foram lavados, secados no forno-mufla de 500 a 600°C pelo período de 20 minutos, resfriados em dessecador e pré-pesados. Colocou-se a quantidade de 1g da amostra em cada cadinho e estes foram levados para o forno-mufla pré-aquecido em 500°C. Aumentou-se a temperatura para 565°C e deixou-se durante duas horas e meia. Posteriormente, as amostras foram colocadas no dessecador durante 20 minutos para resfriamento, pesadas e levadas novamente para o forno-mufla para um tempo de residência de 1 hora. Após novos resfriamentos e pesagem, as amostras foram colocadas novamente no forno-mufla por mais 40 minutos, após os quais foram novamente resfriadas e pesadas. No total, foram 250 minutos de forno.

A granulometria utilizada para os resíduos da mineração foi superior a 300 µm, e para os resíduos provenientes da fabricação das pás eólicas foi inferior 75 µm, obtida em peneiras específicas após caracterização granulométrica. Estas granulometrias foram escolhidas, pois representam as melhores frações obtidas em cada um dos resíduos industriais estudados.

Os corpos de prova para os ensaios de tração e impacto foram moldados na máquina injetora Tianjian modelo PL 860/260 de peças plásticas, com temperatura de 200 a 250°C, com pressão de injeção de 45 MPa e com tempo de injeção 2,5s, disponível no Laboratório do Centro de Inovação e Tecnologia – Sinctronics.

Para os ensaios de tração foi utilizado Máquina Universal de Ensaio Mecânicos do fabricante Instron, modelo 3366, equipada com uma célula de carga de 10 kN, de acordo com norma ASTM D 638–10, com velocidade de deslocamento

de 50 mm/min, sob temperatura de 23°C e utilizando corpo-de-prova tipo 1, disponível no Laboratório do Centro de Inovação e Tecnologia - Sinctronics, Sorocaba-SP.

Foi utilizada uma série de cinco corpos de prova para cada proporção.

Para os ensaios de tração foi utilizado equipamento para Teste de Impacto tipo pêndulo Izod e Charpy do fabricante Instron, modelo Ceast 9050 com martelo de 1J, disponível no Laboratório do Centro de Inovação e Tecnologia - Sinctronics, Sorocaba-SP.

Os ensaios de impacto seguiram os procedimentos da norma segundo a norma ASTM D256 e as amostras foram entalhadas em forma de V e aproximadamente 3,2 mm de profundidade. Os ensaios foram realizados numa série de cinco corpos de prova para cada proporção.

Para os ensaios de teor de umidade foi utilizado equipamento Analisador de Umidade do fabricante Mettler Toledo, modelo HS 153, disponível no Laboratório do Centro de Inovação e Tecnologia - Sinctronics, Sorocaba-SP. O método utilizado para calcular o teor de umidade, tem peso inicial da amostra de cerca de 10g, com temperatura de secagem de 100°C e critério de desligamento de 10 minutos, seguindo a norma ASTM D 570.

O analisador de umidade é feito de dois componentes, uma unidade da balança e uma unidade de aquecimento. Para medir o teor de umidade, o peso inicial da amostra é registrado; em seguida, um radiador de halogênio aquece e seca a amostra enquanto a balança integrada continuamente registra o peso da amostra. Quando a amostra já não perde peso, o instrumento é desligado e o teor de umidade é calculado. A perda total de peso é usada para calcular o teor de umidade.

Para os ensaios de teor de índice de fluidez foi utilizado equipamento Plastometro do fabricante Instron, modelo Ceast MF20, disponível no Laboratório do Centro de Inovação e Tecnologia - Sinctronics, Sorocaba-SP.

O índice de fluidez é expresso em g/min, conforme diretrizes da norma ASTM D 1238, onde a temperatura de teste foi fixada em 200 °C e a carga nominal foi de 5Kg. Foram realizadas 4 medidas em cada amostra.

RESULTADOS

Os resultados dos testes de queima estão expostos na Tabela 1. Observa-se que a incorporação do poliestireno de alto impacto (HIPS) com os resíduos industriais pode ser considerada satisfatória.

Tabela 1. Quantidades Medida e incorporada nos compósitos de lama vermelha e resíduos de pás eólica

Material	Quantidade medida (%)	Quantidade incorporada (%)
HIPS com lama (mineração)	5	4,2
HIPS com fibra resina (pá eólica)	5	3,5



Figura1: Ensaio de queima de orgânicos. Fonte: Autor do Trabalho.

A Tabela 2 contempla os resultados dos ensaios de índice de fluidez, tração (alongamento na ruptura, uma das principais propriedades medidas pelo ensaio), teor de umidade e resistência ao impacto nas formulações de 95% de poliestireno de alto impacto (HIPS) e 5% de resíduos da lama vermelha, bem como 5% do resíduo resultante do processo de acabamento de pás eólicas.

Na Tabela 2 também são apresentadas às especificações do HIPS reciclado, bem como as especificações industriais para o HIPS reciclado sem carga. Dados disponibilizados pela empresa Sinctronics.

Tabela 2: Comparativos HIPS reciclado e resíduos industriais – proporção 5%.

Característica	Unidade	Especificação HIPS reciclado	HIPS reciclado sem carga	95% HIPS, 5% lama	95% HIPS, 5% fibra resina
Índice de Fluidez (T=200°C, Carga =5Kg)	g/10 min	4-10	8,6	8,2	7,6
Umidade	%	Máx 0,1	0,05	0,18	0,08
Alongamento na Ruptura	%	>5	46	27	28
Resistência ao impacto Izod (com entalhe) – espessura 3,2 mm. Martelo 1 J	J/m	Min 80	86	60	49

Nota-se que os resultados dos índices de fluidez estão compatíveis com o especificado para o HIPS reciclado, indicando que poderíamos utilizar o material composto para o mesmo processo e tipo de peça que o HIPS se destina.

O índice de fluidez se relaciona com a viscosidade do material fundido e tem importante função na indústria e pesquisa, ao ser indicativo de processabilidade.

Em termos de umidade, nota-se que o compósito com lama vermelha superou o limite máximo, porém não acredita-se que possa ser um fator limitante dependendo do uso ao qual o compósito se destine.

Observamos também que para as resistências de impacto e tração dos compósitos obtidos os resultados foram inferiores ao do HIPS puro, indicando que as incorporações afetaram negativamente as propriedades, o que tende a restringir usos. Porém, usos menos rigorosos podem ser pensados de modo que não somente o plástico reciclado seja reinserido na cadeia produtiva, como também resíduos industriais importantes possam ter destino diferente do atual, que são aterros sanitários.

Outras formulações estão sendo preparadas (10% e 15%) e os mesmos ensaios serão realizados, bem como outros (térmicos e de microscopia, por exemplo) serão realizados nas três proporções e no HIPS puro.



1º Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade

GRAMADO-RS

12 a 14 de junho de 2018

CONCLUSÕES

Os compósitos obtidos mostraram-se com propriedades de processo similares ao HIPS puro, porém com propriedades mecânicas inferiores, o que pode restringir usos futuros. Outras formulações ainda serão estudadas para verificação das propriedades estudadas e outras.

Pretende-se a obtenção de materiais sustentáveis com propriedades próximas ou até mesmo superiores às dos poliestireno de alto impacto (HIPS) pós-consumo provenientes de equipamentos eletroeletrônicos.

Dessa maneira, será obtido um material que indique a viabilidade de incorporação desses resíduos industriais da mineração (lama vermelha) e fabricação de pás eólicas (fibra/resina epóxi) nesse tipo de polímero, o que significaria um potencial uso para dois resíduos industriais importantes para a região de Sorocaba, bem como para os próprios plásticos comumente presentes em resíduos eletroeletrônicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRAHMS, T.; KÜHNE, U.; ALBERS, H.; GREINER, S. **Feasibility Study for the Recycling of Composite Material** (MaVeFa). DEWEK Proceedings, 2007.
2. CALLISTER, W. D. Jr. **Ciência e Engenharia de Materiais: uma introdução**. (Trad.) Sérgio Murilo Stamile Soares. Rio de Janeiro: LTC, 2008.
3. CANEVAROLO, S.V.Jr.; **Técnicas de Caracterização de Polímeros**, São Paulo: Ed. ArtLiber, 2003.
4. GELENCSE, A. *et al.* The red mud accident in Ajka (Hungary): **Characterization and potential health effects of fugitive dust**. Environmental Science & Technology, Veszprém, v. 45, p.1608-1615, 2011.
5. POWER, G.; GRÄFE, M.; KLAUBER, C. Bauxite residue issues: I. Current management, disposal and storage practices. **Hydrometallurgy**, p. 33-45. 2011.
6. RED MUD PROJECT. **Red Mud**. 2016. Disponível em: <<http://redmud.org/>>. Acesso em: 26 mai. 2016.
7. SHACKELFORD, J. F. **Ciência dos Materiais**. São Paulo: Prentice Hall, 2008.
8. SINTRONICS. Portal da empresa. Disponível em <http://www.sintronics.com.br>. Acesso em 10 fev. 2017.
9. SOTTOVIA, Livia. **Utilização de lama vermelha para oxidação eletrolítica assistida por plasma de liga de alumínio**. 2015. 154 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Sorocaba, 2015.
10. TOUBIA, Carim Miguel. **Estudo sobre as possibilidades de recuperação de resíduos provenientes da fabricação de pás eólicas**. 2011. 151 f. Dissertação (Mestrado) – Curso em Ciência e Tecnologia de Materiais, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Sorocaba, 2011.
11. VALÉRIO, Paula Rhunke. **Avaliação de Impactos Ambientais de Equipamentos Eletrônicos Através de Inventário dos Materiais Usados na Fabricação**. 2014. 87 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Sorocaba, 2014.