

## INFLUÊNCIA DA GRANULOMETRIA DE RESÍDUOS DE CINZA VOLANTE NAS PROPRIEDADES MECÂNICA E FLAMABILIDADE DOS COMPÓSITOS\*

Victor Hugo Mafra Monfredo Ferreira<sup>1</sup>  
Eryck Simplício dos Santos<sup>1</sup>  
Mario Henrique Moreira de Moraes<sup>1</sup>  
Brenda Thayssa Figueira Danie<sup>2</sup>  
Denilson da Silva Costa<sup>3</sup>  
Deibson Silva da Costa<sup>4</sup>

### Resumo

Foram confeccionados compósitos de resina polimérica utilizando resíduo industrial da queima do carvão mineral, cinza volante, com proporções de resíduo variando entre 0 %, 10 %, 20 % e 30 % em massa com granulometrias de 100 e 200 mesh. Os constituintes foram homogeneizados com resina polimérica isoftálica juntamente com acelerador de cobalto (1,5 % v/v) e catalisador (1 % v/v). A fabricação seguiu o processo de laminação manual "hand lay up". Realizaram-se ensaios físicos nos compósitos de acordo com a norma NBR 12766, juntamente a ensaios de tração conforme a norma ASTM D 3039, e ensaios de retardância a chama segundo a norma ASTM D 635. As propriedades físicas de porosidade aparente, absorção de água e massa específica aparente variaram conforme as proporções. Para todos os compósitos, o resíduo atuou como agente de reforço na matriz, demonstrando um aumento na sua resistência à tração em relação a matriz plena. Os resíduos atuaram como retardantes de chama nos compósitos nas duas proporções com ênfase para a granulometria de 200 mesh.

**Palavras-chave:** Compósitos; Cinza volante; Resíduo; Retardante de Chamas.

### INFLUENCE OF GRANULOMETRY FLYING WASHES RESIDUES IN MECHANICAL PROPERTIES AND FLAMMABILITY OF COMPOSITES

#### Abstract

Polymer matrix composite materials were made using industrial fly ash waste. The mass proportions of the flying ashes, waste are varied between 0 %, 10 %, 20 % and 30 % with granulometry of 100 and 200 mesh. Isophthalic polyester resin was used with a cobalt accelerator (1.5% v / v) and catalyst (1% v / v). The composites were manufactured based on a manual "hand lay up" lamination process. The composites were tested according to the physical with standards NBR 12766, as well as tensile with ASTM D 3039 and flammability (ASTM D 635) tests. The physical properties water absorption, apparent porosity and bulk density increased as the composites increased. For all the composites, the residue acted as a reinforcement agent on the matrix, demonstrating an increase of their resistance to the traction in relation to the 0 % composites. The wastes acted as flame retardants in composites specially for 200 mesh.

**Keywords:** Composites; Flying Ashes; Residue; Flame Retardant.

<sup>1</sup> Graduando em engenharia de materiais, Faculdade de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Pará (UFPA), Ananindeua – PA, Brasil: hvictor921@gmail.com; eryckeduardo147@gmail.com; demoraesmario@gmail.com.

<sup>2</sup> Mestranda em Engenharia Mecânica – PPGEM, Grupo de Pesquisa em Engenharia de Materiais – GPEMAT, Graduada em Bacharelado em Ciência e Tecnologia – Tecnologia Mineral, Universidade Federal do Pará (UFPA), Ananindeua – PA, Brasil: brendadaniell@yahoo.com.br.

<sup>3</sup> Engenheiro Químico, Douto em Engenharia Metalúrgica e de Minas, Professor Adjunto I, Faculdade de Engenharia de Minas e Meio Ambiente da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (UNIFESSPA), Marabá – PA, Brasil: denilson@unifesspa.edu.br.

<sup>4</sup> Engenheiro Mecânico, Doutor em Engenharia de Recursos Naturais, Professor Adjunto I, Faculdade de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Pará (UFPA), Ananindeua – PA, Brasil: deibsonsc@yahoo.com.br.

## 1 INTRODUÇÃO

Um dos maiores desafios dos tempos modernos é a reutilização de resíduos industriais em materiais úteis a sociedade com a finalidade de evitar a degradação do meio ambiente, mitigando o seu impacto ambiental. Um método eficaz para o seu reaproveitamento é a aplicação em materiais compósitos, tendendo a minimizar estes resíduos.

Atualmente, a cinza volante é o principal resíduo industrial no mundo, gerando por ano cerca de 500 milhões de toneladas, sua geração é impulsionada por países como China, Índia, Estados Unidos, Rússia, Alemanha, África do Sul, e Reino Unido. Pois o crescimento da produção de cinzas é abundante, devido ao carvão possuir fácil extração, tecnologia de queima difundida e inexistência de outras fontes de energia que possam substituir o baixo custo do carvão [1].

Materiais compósitos tem sua origem dada pela combinação macroscópica de dois ou mais matérias com propriedades distintas, cuja suas características se diferem aos dos materiais que o originou. Um dos elementos que constituem um compósito é denominado matriz e os demais são conhecidos como reforço. Os materiais compósitos são usualmente classificados pela natureza dos materiais que os compões e estão divididos em duas grandes categorias: materiais compósitos naturais e sintéticos. Os compósitos naturais têm sua origem na natureza não havendo intervenção humana em sua produção. Já os materiais compósitos denominados de sintéticos são produzidos através da atividade humana industrial [2].

Embora existam vários tipos de resinas usadas em compósitos para indústria, a maioria das partes estruturais é feita principalmente com resina termofixa, ou seja, que necessitam de uma reação de cura. Na moldagem destas duas fases ocorre um “endurecimento” polimérico através de um processo de cura, que acopla as duas fases, proporcionando ao material final, propriedades especiais que definem suas modernas e amplas aplicabilidades [3].

Atualmente a um grande interesse no desenvolvimento de materiais compósitos poliméricos que pode ser fundamentado com base em dois principais fatores: o significativo crescimento da utilização dos polímeros e a possibilidade de, por aditivação, modificar amplamente os seus desempenhos, em termos de propriedades e características finais obtidas [4].

O presente trabalho tem como objetivo averiguar a influência da granulometria do resíduo de cinza volante (CV) em compósitos de matriz polimérica através dos ensaios físicos, caracterização mecânica e resistência a chamas do material fabricado.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Materiais e Métodos

Os compósitos foram fabricados através do método manual *hand lay up* após a cominuição de todo material particulado em peneiras de 100 e 200 mesh da série Tyler.

Em seguida, com massas pré-definidas, foi feita a determinação da massa do resíduo e realizou-se a retirada do excesso de umidade com o auxílio de uma estufa durante 20 minutos em temperatura de 100° C. Juntamente, aplicou-se desmoldante

no molde metálico, com a finalidade de evitar o contato direto e facilitar a sua remoção após a prensagem.

Em seguida, foi realizada a determinação da massa da resina e o volume para o catalisador metílico e catalisador butanox, com as devidas proporções para cada porcentagem. Após a retirada do resíduo da estufa, foi feito o preparo da mistura.

A mistura ocorre seguindo a seguinte ordem: resina, catalisador metílico, resíduo e butanox. Adiciona-se o catalisador a resina e faz-se a mistura com o auxílio de um bastão de vidro até haver apenas uma fase homogênea no recipiente, após isso, incorpora-se o resíduo e no final, para iniciar o processo de cura, é adicionado o butanox.

Em seguida, a mistura é vazada de maneira homogênea no molde metálico e então, após alguns minutos para atingir o ponto de gel, o molde foi levado para a prensa hidráulica. Na prensa, o molde foi fechado e submetido a prensagem com uma carga de aproximadamente 25 kN por 20 minutos. A Figura 1 apresenta o fluxograma da fabricação:



**Figura 1.** Fluxograma de fabricação dos compósitos.

Após a obtenção das placas de formato retangular e dado o tempo de necessário para o seu processo de cura, realizou-se o corte das placas seguindo as recomendações das normas NBR 12766/1992 [5] para os ensaios físicos. Respectivamente ASTM 3039 [6] e ASTM D 635 [7] para tração e flamabilidade (horizontal).

## 2.2 Resultados e Discussões

### 2.2.1 Ensaios Físicos

Os corpos de prova para os ensaios físicos foram confeccionados utilizando a norma NBR 12766/1992 [5]. A Tabela 1 demonstra os resultados de absorção de água (AA), porosidade aparente (PA) e massa específica aparente (MEA), obtidos para os compósitos com resíduo de cinza volante:

**Tabela 1** - Resultados dos ensaios físicos para compósitos com cinza

<b>CINZA VOLANTE (%)</b>	<b>ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)</b>	<b>POROSIDADE APARENTE (%)</b>	<b>MASSA ESPECÍFICA APARENTE (g/cm<sup>3</sup>)</b>
Resina Plena	1,5723	1,8828	1,2279
CV 10% (100#)	0,6453	0,8295	1,2858
CV 20% (100#)	0,7063	0,9560	1,3548
CV 30% (100#)	0,7951	1,1348	1,4278
CV 10% (200#)	0,6350	0,8128	1,2806
CV 20% (200#)	0,8544	1,1538	1,3506
CV 30% (200#)	0,5553	0,7507	1,3521

As partículas de cinzas possuem a particularidade de possuir formatos esféricos, sendo que algumas partículas são maciças e outras são ocas, o que interfere diretamente nos compósitos por elas constituídos [3]. Isso pode explicar o fato de nos resultados obtidos para 200 # haver um decréscimo da Absorção de Água (AA) em 10 % e 30 % de proporção de cinza, porém, para 20 % de proporção de cinza houve um aumento onde pode ter ocorrido uma aglomeração de partículas ocas absorvendo mais água quando comparada as outras proporções.

Na Tabela 1 é possível observar uma diminuição da porosidade aparente (PA) com a inserção de cinza volante em 100 # na matriz polimérica quando comparado com a matriz plena, sendo que há uma diminuição ainda maior quando observado a 200 #, comprovando assim que a cinza em uma granulometria maior está organizada de um modo em que a possibilita fechar os espaços vazios na matriz.

A respeito da inserção de cinzas na matriz polimérica, há um aumento significativo da MEA dos compósitos fabricados, as massas específicas dos componentes, poliéster e cinza são de 1,157 g/cm<sup>3</sup> e 2,70 g/cm<sup>3</sup> respectivamente e podem ter influenciado nesse aumento.

### 2.2.2 Ensaio de Tração

Os ensaios de tração em compósitos são essenciais para a determinação das propriedades mecânicas dos mesmos. Os corpos de prova foram confeccionados conforme a norma ASTM D 3039 [6]. A Tabela 2 ilustra os resultados obtidos para o resíduo e suas proporções.

**Tabela 2** - Resultados obtidos para o ensaio de tração

<b>COMPOSIÇÃO</b>	<b>TENSÃO DE RESISTÊNCIA (MPa)</b>
Resina Plena	13,00±2,76
CV 10% (100#)	30,39±4,70
CV 20% (100#)	26,73±4,78
CV 30% (100#)	22,21±3,34
CV 10% (200#)	25,80±2,77
CV 20% (200#)	26,74±4,41

CV 30% (200#)

33,88±4,28

Verifica-se pelos resultados da Tabela 2 que a resistência a tração dos compósitos com resíduos de cinza volante é maior que a resistência a tração da resina plena, evidenciando assim que o resíduo de cinza volante atua como reforço efetivo, melhorando a resistência a tração dos compósitos.

Nos resultados encontrados para a granulometria de 100 #, há uma tendência de diminuição da resistência a tração conforme aumenta-se a proporção de cinza volante na matriz polimérica. Para essa granulometria, o melhor resultado foi o com 10 % de cinza, e o menor desempenho para o de 30 % de cinza. Essa faixa granulométrica pode ter auxiliado com o surgimento de espaços vazios, bolhas dentre outros fatores que depreciaram a resistência a tração.

Porém, para a granulometria de 200 #, há uma tendência de aumento da resistência a tração conforme aumenta-se a proporção, o oposto do ocorrido a 100 #. Na literatura, como já citado anteriormente, as partículas de cinzas possuem uma particularidade, suas partículas são em formatos esféricos, sendo que algumas são maciças e outras são ocas, o que interfere diretamente na resistência dos compósitos por elas constituídos [3]. Com o aumento da faixa granulometria, pode ter ocorrido uma menor quantidade de impurezas e minerais presentes no passante, uma seletividade no tamanho das partículas da cinza somado ao seu formato esférico, diminuindo a área de superfície e conseqüentemente, o número de espaços vazios no compósito, aumentando assim a sua resistência do material [4].

Esse aumento da resistência à tração dos compósitos com adição de cinzas, pode estar relacionado há outros fatores, entre os quais pode-se destacar que durante o processo de fabricação dos compósitos pode ter ocorrido uma boa dispersão, homogeneização e compactação dos constituintes (resíduos e resina) dos compósitos, o que resulta em compósitos com o mínimo de defeitos e imperfeições, tendo como consequência, o aumento da resistência do material.

### 2.2.3 Ensaio de Flamabilidade

A Tabela 3 mostra os resultados obtidos do ensaio de retardância á chama, realizados de acordo com a norma ASTM D 635 [7].

**Tabela 3** - Resultados do ensaio de flamabilidade horizontal

<b>RESIDUO/PROPORÇÃO</b>	<b>TAXA (mm/min)</b>
Resina Plena	18,67
CV 10% (100#)	20,12
CV 20% (100#)	20,28
CV 30% (100#)	20,67
CV 10% (200#)	20,09
CV 20% (200#)	16,13
CV 30% (200#)	16,11

Resinas poliméricas são susceptíveis aos danos causados pelo fogo, devido à matriz polimérica possuir uma baixa resistência ao fogo. Este assunto torna-se importante quando os compósitos são usados nas aplicações mais susceptíveis à ocorrência de fogos, tais como, cabines de aeronaves, carros de trens, navios e

submarinos [8]. Contudo, como observado na Tabela 3, a resina plena utilizada nos ensaios apresentou resultados adequados quando comparados a norma ASTM D 635 [7], evidente também que, com o acréscimo de resíduo como carga de enchimento em granulometrias maiores, há uma diminuição da taxa de queima.

Observou-se que a taxa média de queima das amostras aumentou nas proporções fabricadas em 100 # quando comparadas a resina plena, ademais, com o aumento da quantidade de resíduo na matriz polimérica, somado ao aumento da granulometria nota-se a diminuição da taxa, mostrando que o resíduo em quantidades e granulometrias elevadas influenciam na diminuição considerável da mesma, atuando como retardante de chamas. Um resultado interessante, pois com o aumento do tempo de queima do material, haverá uma menor velocidade de propagação da chama resultando em mais tempo para que medidas de segurança sejam tomadas.

Todavia, pode-se afirmar que todos os compósitos fabricados podem ser classificados como “HB”, tendo em vista que de acordo com as diretrizes da norma utilizada, taxas inferiores a 40 mm/min são identificadas como tal.

No Brasil a resolução CONTRAN nº 675 [9], exige que os revestimentos internos da indústria automobilística tenham uma velocidade de propagação de chama de 250 mm/min. Já nos países com pesquisa avançadas na área, esse valor é de 80 mm/min [4]. Em comparação com esses dados os compósitos estudados apresentaram valores bem menores do que o exigido.

A Tabela 4 demonstra uma comparação entre as proporções de 30 % nas duas granulometrias trabalhadas (100 e 200 #) e os padrões exigidos pelas normas e diretrizes, na qual é possível observar o desempenho obtido durante os ensaios.

**Tabela 4** - Comparação dos resultados obtidos com parâmetros exigidos.

<b>RESÍDUO/PROPORÇÃO</b>	<b>TAXA (mm/min)</b>
CONTRAN 675	250,00
ASTM D 635	40,00
CV 30% (100 #)	20,67
CV 30% (200 #)	16,11

Relacionando os resultados obtidos no trabalho com os exigidos pelas normas, é explícito que os materiais compósitos fabricados tiveram excelentes resultados, apresentando valores menores que os exigidos, com destaque principal para a proporção de 30 % com granulometria de 200 #. Quando comparados as diretrizes da CONTRAN 675 [9], houve uma redução de 91,73 % para 100 # e de 93,55 % para 200 #. Para o valor estabelecido pela ASTM 635 [7], a redução foi de aproximadamente 51,67 % e 40,27 % para a cinza em 100 # e 200 # respectivamente.

### 3 CONCLUSÃO

Sobre o ensaio mecânico de tração, todos os compósitos fabricados com cinzas apresentaram melhores desempenhos em relação a matriz plena. Além da melhora, com o incremento do resíduo na matriz polimérica, o seu custo foi reduzido, além de funcionar como um reforço efetivo nos resultados de tração.

A respeito dos ensaios de resistência a chama, a taxa de queima dos compósitos apresentou uma taxa de degradação decrescente conforme aumenta-se

a quantidade de resíduo na matriz polimérica, contudo, com o aumento da granulometria do resíduo para 200 #, foi observado uma taxa ainda menor quando comparada com a granulometria inicial de 100 #. Porém, mesmo nas menores quantidades de resíduos juntamente com a menor granulometria, foi observado um resultado menor quando comparada as taxas máximas de queima exigidas pela CONTRAN 675 [9] e ASTM D 635 [7].

Desta forma, dentro das diversas aplicações apresentadas no decorrer do trabalho, a mais eficaz para os compósitos fabricados foi a de retardante às chamas. Onde, juntamente a ótimos resultados, pode-se diminuir os impactos ambientais causados pelo descarte de maneira imprópria do resíduo de cinza volante com o seu acréscimo em maiores quantidades na matriz polimérica, aprimorando essa característica e buscando uma possível aplicação para esses compósitos.

## Agradecimentos

Ao Laboratório de Engenharia Química (LEQ) e a Universidade Federal do Pará.

## REFERÊNCIAS

1 COSTA A.B. Potencial pozolânico da cinza volante como material de substituição parcial de cimento [trabalho de conclusão de curso]. Centro universitário UNIVATES; 2015

2 NETO C. M. Otimização e caracterização de um compósito de matriz polimérica com carga de palha de aço [tese de doutorado]. Natal: Universidade federal do Rio Grande do Norte; 2016.

3 COSTA, D. S. Estudo da influência de resíduos gerados pela indústria de mineração nas propriedades de compósitos de matriz poliéster reforçados com fibras naturais. [tese de doutorado], Pará: Universidade federal do Pará; 2016.

4 CALLISTER, W. Ciência e Engenharia de Materiais - uma introdução. 8 Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

5 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) - NBR 12766 "Determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção d'água aparente." 1992. 2p.

6 ASTM D 3039. "Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials", Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, 2000.

7 ASTM D 635 "Rate of Burning and/or Extent and Time of Burninf of Plastics in a Horizontal Position" Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, 2010.

RIBEIRO, L. M. Flamabilidade e retardância de chama do compósito: poliéster insaturado reforçado com fibra de abacaxi (palf). Holos, ano 29, vol 1, 2013.

8 Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN). Resolução n°. 675 - "Requisitos aplicáveis aos materiais de revestimento interno do habitáculo de veículos e dá outras providências." Diário Oficial da União, Seção 1, página 13534, 09 de setembro de 1986.