FABRICAÇÃO DE COMPÓSITOS POLIMÉRICOS A BASE DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO

Manufacturing polymeric composites based on waste and construction waste

Carina Imaculada Ferreira
Universidade do Estado de Minas Gerais | João Monlevade – MG | carina.0693030@discente.uemg.br

Franciely Benfica Arcanjo
Universidade do Estado de Minas Gerais | João Monlevade – MG | franciely.0693036@discente.uemg.br

Priscila Alves da Silva Machado
Universidade do Estado de Minas Gerais | João Monlevade – MG | priscila.machado@uemg.br

Juscelina Rosiane Ferreira
Universidade do Estado de Minas Gerais | João Monlevade – MG | juscelina.ferreira@uemg.br

Alan Rodrigues Teixeira Machado
Universidade do Estado de Minas Gerais | João Monlevade – MG | alan.machado@uemg.br

Resumo

Devido à crescente preocupação com questões ambientais, a sociedade demanda cada vez mais produtos sustentáveis. Os resíduos de construção e demolição (RCD) são responsáveis por grande parte dos resíduos sólidos urbanos, causando um impacto significativo no ambiente. Nesse contexto, uma pesquisa foi realizada com o objetivo de desenvolver compósitos de matriz polimérica à base de poliestireno expandido reforçado com partículas de RCD. Os resíduos foram caracterizados e incorporados ao poliestireno expandido em diferentes proporções usando o método de "Casting". A mistura foi colocada em moldes e deixada secar por 30 dias. Os resultados mostraram que os compósitos com adição de 25% e 50% de RCD tiveram um aumento médio de resistência à compressão axial de 26% e 36%, respectivamente. Os compósitos com 5%, 10% e 15% de RCD apresentaram valores superiores de massa específica, absorção de água e resistência ao impacto em comparação com o poliestireno puro.

Palavras-chave: Compósitos; Resíduos de construção e demolição; Poliestireno expandido.

ABSTRACT

Due to the growing concern about environmental issues, society increasingly demands sustainable products. Construction and demolition waste (CDW) is responsible for a large part of solid urban waste, causing a significant impact on the environment. In this context, research was carried out with the aim of developing polymeric matrix composites based on expanded polystyrene reinforced with RCD particles. The residues were characterized and incorporated into the expanded polystyrene in different proportions using the "Casting" method. The mixture was placed in molds and allowed to dry for 30 days. The results showed that composites with addition of 25% and 50% RCD had an average increase in axial compression strength of 26% and 36%, respectively. Composites with 5%, 10% and 15% RCD showed higher values of specific mass, water absorption and impact strength compared to pure polystyrene.

Keywords: Composites; Construction and demolition waste; Expanded polystyrene.

1 INTRODUÇÃO

O setor da construção civil é um dos mais importantes para o desenvolvimento do Brasil e para o fortalecimento de sua economia (MONTEIRO FILHA *et al.,* 2010). Por outro lado, a construção civil é responsável por gerar uma grande quantidade de resíduos que causam um impacto significativo no meio ambiente e na sociedade quando são descartados de forma inadequada (CONCEIÇÃO *et al*., 2021). O descarte inadequado de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) frequentemente ocorre de maneira incorreta e inapropriada, como em áreas abandonadas, aterros, ou locais não projetados para receber resíduos de construção, o que pode resultar em danos à saúde pública (ALMEIDA, 2015). Em tempos de alta competitividade no setor e com a conscientização sobre a importância da sustentabilidade, o estudo de novos materiais é essencial. A seguinte pesquisa teve como objetivo de avaliar produção de compósitos fabricados com materiais reciclados da própria construção civil.

2 METODOLOGIA

2.1 MATERIAIS

Na cidade de João Monlevade, MG, foram adquiridos RCD classificados segundo o CONAMA n°307/2011 classe A e poliestireno expandido classificado como classe B. O RCD tipo A foi submetido a um processo de beneficiamento, gerando um particulado agregado, seguindo as diretrizes da NBR 15116 (ABNT, 2021). O objetivo era reduzir o tamanho das partículas coletadas, utilizando um britador de mandíbulas e, posteriormente, um moinho de bolas. O material resultante foi submetido a uma secagem em estufa por 24 horas, peneirado e separado em dois lotes. O primeiro lote consistia em partículas provenientes do processo de beneficiamento que após passar pelo processo de peneiramento ficaram retidos na malha de 600µm, enquanto o segundo lote continha partículas retidas na malha de 150µm e passantes na malha de 300µm. O RCD tipo A passou por uma caracterização morfológica utilizando a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) em conjunto com o Sistema de Energia Dispersiva (MEV/EDS). Foi determinada a massa específica aparente utilizando o método descrito na NM 52/2009 e o teor de umidade superficial seguindo a NBR 9775 (ABNT, 2011).

2.2 PROCESSAMENTO DOS COMPÓSITOS

Os compósitos foram produzidos utilizando o método de evaporação de solvente, também conhecido como "*casting*", conforme ilustrado na Figura 1. Esse método é uma técnica empregada em escala laboratorial, onde o material é solubilizado em um solvente para posterior análise das amostras. O processo de evaporação do solvente resulta na formação de micropartículas através da solidificação da fase interna de uma emulsão. A substância ativa pode ser dissolvida ou suspensa na dispersão polimérica em solvente orgânico volátil (MACHADO, 2010).

Figura 1: Produção dos compósitos de matriz polimérica a base de EPS e RCD de classe A



Fonte: Autores

Dessa forma, a acetona foi utilizada como solvente para o poliestireno expandido, visando a formação da matriz polimérica em cada uma das amostras. Em seguida, o resíduo foi incorporado às amostras em proporções pré-estabelecidas, conforme Tabela 1. As amostras foram moldadas e submetidas a secagem a ar livre, por um período de 30 dias, permitindo a evaporação completa do solvente.

Tabela 1 - Traço utilizado

AMOSTRAS	POLIESTIRENO EXPANDIDO	RCD – CLASSE A
0%	35 g	0 g
5%	33,25 g	1,75 g
10%	31,5 g	3,5 g
15%	29,75 g	5,25 g
25%	26,25 g	8,75 g
50%	17,5 g	17,5 g

Fonte: Autores

2.4 CARACTERIZAÇÕES DOS COMPÓSITOS

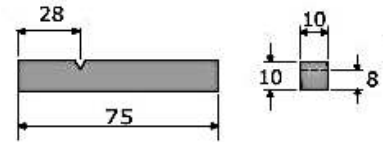
Os compósitos produzidos com 0%, 25% e 50% (m/m) foram submetidos às seguintes caracterizações:

a) Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV): para a análise da morfologia da superfície e a interação entre a matriz do compósito polimérico e a incorporação do particulado com ampliação de 300x. Os corpos de prova foram observados em um microscópio eletrônico de varredura, Shimadzu - 550, com tensão de 15 kV e detecção de imagens de elétrons secundários. A difração de raios X (DRX) foi realizada através o difratômetro Shimadzu XRD – 7000 X – "Ray Diffractometer", existente no laboratório de caracterização do DEMAT/CEFET-MG.
b) Resistência Mecânica: Foi utilizado como método a NBR 8082 (ABNT, 2016). Foi determinado a resistência a compressão a 10% de deformação. Logo, as amostras foram comprimidas em uma prensa à 0,2 cm/min durante 60 segundos para atingir a deformação de 10% da espessura total.

Os compósitos produzidos com 0.5%, 10% e 15% (m/m) foram submetidos às seguintes caracterizações:

a) Absorção de água: seguindo a norma técnica (ABNT NBR 7973- 2007). Foi verificada a massa das amostras secas, e posteriormente, imersas em um recipiente com um volume de água (1 L) por um período de 24 h. Após esse período, as amostras saturadas de água foram pesadas e secas em estufa a temperatura de 100ºC por um período de 3 horas. Após a secagem, verificada a massa final e porcentagem de absorção de água.
b) Impacto de *Izod*: o teste foi realizado de acordo com as normas (ASTM D256 – 2023) e (ASTM E23 – 2018), foram produzidas amostras com entalhe em forma de V, de seção quadrada com 10 mm de lado e comprimento de 75 mm. O entalhe foi realizado a 28 mm da extremidade e as amostras foram testadas quanto ao impacto usando um pêndulo PANTEC configurado para o teste de Izod. A energia de impacto foi medida com um martelo de 11J para os compósitos produzidos.
c)

Figura 2 - Modelo de entalhe



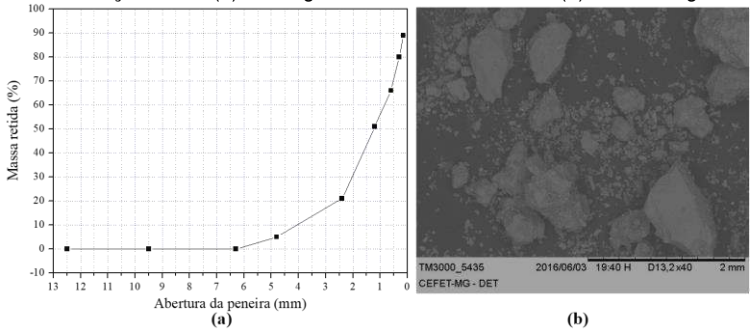
Fonte: Centro de informação Metal Mecânica.

3 RESULTADOS E ANÁLISES

3.1 CARACTERIZAÇÕES DOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD)

A Figura 3 ilustra a curva granulométrica do particulado de RCD classe A com uma fotomicrografia.

Figura 3 - Caracterização RCD- (a) curva granulométrica dos RCDs. (b) Fotomicrografia dos RCDs.



Fonte: Autores

É possível observar que o RCD classe A apresenta uma variação no tamanho das partículas. Além disso, destacam-se diferentes formatos de partículas, incluindo acutângulos, redondos, ortogonais, esféricos e agulhados. A análise de Energia Dispersiva por Raios-X (EDS) revelou a composição do RCD, indicando a presença de Si (59,65%), O (36,58%), Al (2,98%) e Ca (0,56%).

Na Tabela 2 estão disponibilizados os valores referentes à massa específica e à umidade superficial do RCD classe A analisado. A massa específica é calculada como a relação entre a massa do material seco e o seu volume, excluindo os poros permeáveis. Já a umidade superficial representa a quantidade de umidade presente na superfície do material. Conforme mencionado por CABRAL (2007), a massa específica das partículas de resíduos de construção e demolição é próxima a 2,35 g/cm³, enquanto de acordo com HAUS (2015) apresenta que está próxima a 2,01 g/cm³. Essa variação na massa específica dos RCDs pode ser influenciada por diversos fatores, como a composição do resíduo, a técnica de britagem utilizada e a localidade onde o resíduo foi adquirido (John, 2000).

Tabela 2 - Caracterização do RCD

PROPRIEDADE	VALOR
Massa específica	1,921 g/cm³
Umidade superficial	43%

Fonte: Autores

3.2 CARACTERIZAÇÕES DOS COMPÓSITOS PRODUZIDOS A PARTIR DOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD)

Como é apresentado na Tabela 3, a incorporação dos RCDs à matriz de EPS resultou em um aumento médio de 26% e 36% na resistência à compressão dos compósitos, para adições de 50% e 25% (m/m) de RCD, respectivamente.

Tabela 3 - Caracterização do RCD

ADIÇÃO DE RCD	RESISTÊNCIA EM KPa
0%	76,00
25%	103,36
50%	95,76

Fonte: Autores

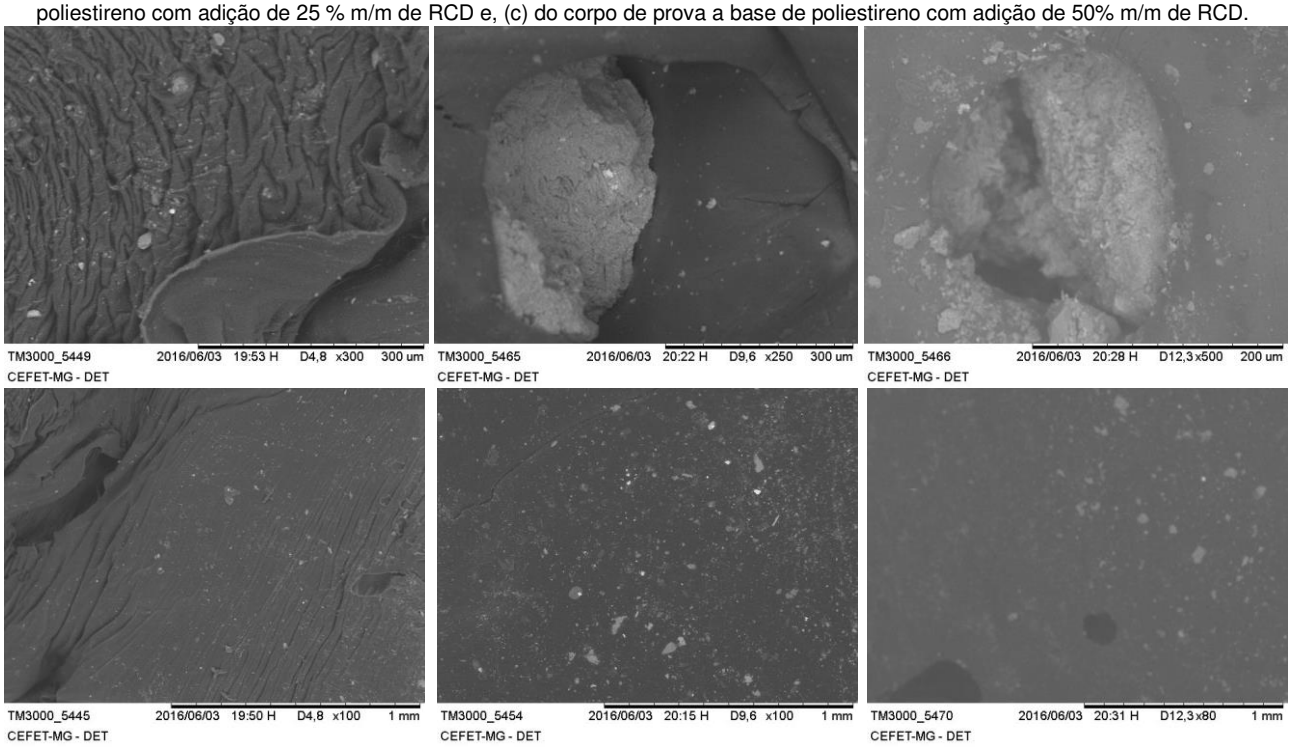
É possível observar que o teor de partículas de reforço de RCD classe A interfere nos resultados de resistência à compressão. Até certo aumento na proporção, existe uma resposta positiva na distribuição das tensões, em que as mesmas a são mais uniformemente distribuídas, aumentando assim a capacidade de suporte do compósito, como também a rigidez do material. Por outro lado, o excesso de particulados ao invés de reforçar, faz com que o material perca resistência. Nesse sentido, é necessário a análise de outras proporções de adições de RCD em compósitos de matriz poliméricas de EPS.

Nas fotomicrografias dos compósitos apresentadas na Figura 3, é possível observar que o corpo de prova sem adição (Figura 4a) apresenta células abertas devido ao processo de expansão do EPS. Já nos compósitos com RCD (Figura 4b), são evidentes as diferenças de dimensões e formatos das partículas.

Um aspecto importante a ser destacado é a interface entre o reforço e a matriz nos compósitos. Para garantir a transmissão adequada de esforços entre as fases, é necessário obter uma forte adesão entre o material utilizado como matriz e o material usado como reforço. Caso essa interação seja fraca, o material estará suscetível a falhas e propagação de trincas em maior escala (SHACKELFORD, 1996). As fotomicrografias dos compósitos com adição de RCD (Figuras 4b e 4c) mostram que os resíduos estão bem aderidos à matriz de EPS, indicando a existência de interação entre eles e resultando em uma boa transferência de força entre as fases.

A Figura 5 apresenta o gráfico dos valores obtidos no ensaio de absorção de água. O ensaio demonstrou uma redução proporcional na absorção de água, o que pode ser atribuído à presença das partículas de RCD classe A incorporadas nos compósitos. COSTA *et al* (2014) analisaram a absorção de água de compósitos produzidos a partir de matriz polimérica de resina de poliéster reforçada com fibras de açaí e concluíram que a absorção de água diminuiu significativamente quando uma grande quantidade de fibras foi adicionada. Já GOMES *et al*. (2017) apud TEIXEIRA *et al*. (2014) produziram compósitos de matriz polimérica a base de resinas de poliéster incorporando resíduos de MDF e observaram aumento proporcional da absorção de água com o aumento da incorporação de resíduos.

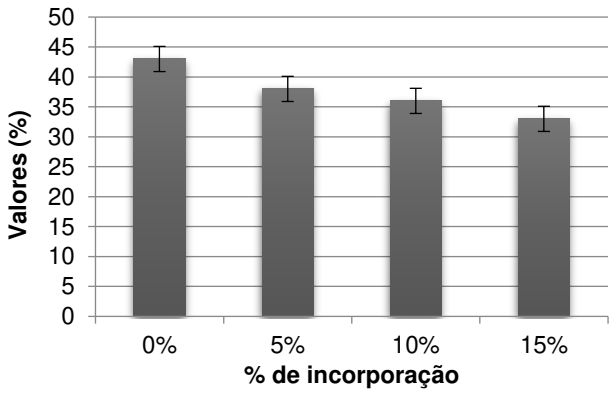
Figura 4 - Fotomicrográficas (a) Fotomicrografias (a) do corpo de prova a base de poliestireno, (b) do corpo de prova a base de poliestireno com adição de 25 % m/m de RCD e, (c) do corpo de prova a base de poliestireno com adição de 50% m/m de RCD.



(a) **(b)** **(c)**

Fonte: Autor

Figura 5 - Absorção de água nos compósitos.



Fonte: Autor

A Tabela 4 apresenta os resultados do teste de impacto Izod. A adição de RCD à matriz polimérica causou um aumento visível na quantidade de força necessária para ocorrer uma fratura.

Tabela 4 – Força de impacto determinada através do ensaio de impacto de Izod aplicada nos compósitos

AMOSTRAS (% INCORPORAÇÃO)	FORÇA (J/m)
0%	21,7
5%	22,6
10%	24,1
15%	26,5

4 CONCLUSÕES

As proporções de RCD utilizadas na fabricação de compósitos foram testadas e verificou-se que isso levou a melhorias em todos os desempenhos mecânicos analisados. O uso de RCD na produção de compósitos é

uma alternativa sustentável para a construção civil. No entanto, mais pesquisas são necessárias para otimizar o percentual de RCD na matriz, bem como as metodologias para produção desses compósitos.

5 AGRACEDIMENTOS

Agradecemos ao Centro Tecnológico da UEMG - João Monlevade, ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais e ao Programa de Vivência Universitária em Empreendedorismo e Inovação (VUEI) pelo suporte a execução da pesquisa.

6 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, J. **Viabilidade técnica do uso e econômica da produção do agregado de RDC em pavimentação de vias urbanas**. 2015, 118p. Dissertação de mestrado em engenharia civil e ambiental. Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15116: **Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland – Requisitos e métodos de ensaios.** Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 52: **Agregado miúdo – Determinação de massa específica e massa específica aparente.** Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9775: **Agregado miúdo – Determinação do teor de umidade superficial por meio do frasco de Chapman** – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7973: **Poliestireno expandido para isolação térmica - Determinação de absorção de água.** Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8082: **Espuma rígida de poliuretano para fins de isolação térmica - Determinação da resistência à compressão.** Rio de Janeiro, 2016.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM 256: **Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics.** West Conshohocken, 2023.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D570: **Standard test method for water absorption of plastics**. West Conshohocken, 2022.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM E23: **Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials**. West Conshohocken, 2022.

CABRAL, Antônio Eduardo Bezerra; SCHALCH, Valdir; DAL MOLIN, Denise Carpena Coitinho; RIBEIRO, José Luiz Duarte. **Modelagem da resistência à compressão de concretos produzidos com agregados reciclados de RCD**. Revista Minerva, São Carlos, v. 4, n. 1, p. 75-84, 2007.

CONCEIÇÃO, M. M. M. et al. **Diagnóstico dos resíduos de demolição e construção no Brasil Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 9, p. 87466-87481, 2021. Disponível: https://doi.org/10.34117/bjdv7n9-080

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução n º 307, de 05 de julho de 2002: **Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 17 jul. 2011.

COSTA, A.S.G, et al. **Ensaios de tração e absorção de água em compósitos de resina poliéster e fibra de açaí**.In: 21º CBECIMAT - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais 09 a 13 de Novembro de 2014, Cuiabá, MT, Brasil.

GOMES. Jailton Weber Gomes,et al. Absorção de água e propriedades mecânicas de compósitos poliméricos utilizando resíduos de MDF. Polímeros, 27, 48-55, 2017.

GOMES, **Jailton** W. et al. **Absorção de água e propriedades mecânicas de compósitos poliméricos utilizando resíduos de MDF**. Polímeros, v. 27, p. 48-55, 16 mar. 2017. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/po/v27nspe/0104-1428-po-0104-14281915.pdf>. Acesso em: 29 jun. 2023.

HAUS, Jason, ABRECON, V. **Reciclagem de resíduos da construção civil e demolição.** In: SEMINÁRIO NACIONAL DA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO, São Paulo 2015. Disponível em: http://www.acquacon.com.br/seminariorcd/index.php. Acesso em: 30 janeiro de 2023.

JOHN, Vanderley; AGOPYAN, Vahan. **Reciclagem de resíduos da construção**. In: SEMINÁRIO RECICLAGEM DE RESÍDUOS DOMICILIARES, São Paulo, 2000. Disponível em: www.reciclagem.pcc.usp.br. Acesso em: 19 abril de 2023.

MACHADO, Alan Rodrigues Teixeira, et al. **Compósitos biodegradáveis a base de polihidroxibutirato-hidroxivalerato (PHB-HV) reforçados com resíduos do beneficiamento do café**, Revista Matéria, 15 (2010) 400-404.

MONTEIRO FILHA, Dulce Corrêa; COSTA, Ana Cristina Rodrigues da; ROCHA, Érico Rial Pinto da. **Perspectivas e desafios para inovar na construção civil**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 31, p. 353-410, mar. 2010.

SHACKELFORD, James (1996). **Introduction to materials Science for engineers**. New York,John Wiley & Sons.