



## EFEITOS DA INCORPORAÇÃO DO RESÍDUO PÓ DE MÁRMORE EM POLIPROPILENO RECICLADO VISANDO APLICAÇÕES NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Pedro H. P. dos Santos<sup>1\*</sup>, Darissa C. B. da Silva<sup>2</sup> e Felipe F. da C. Tavares<sup>3</sup>

1 - Colegiado de Engenharia de Produção, Universidade do Estado do Amapá (UEAP), Macapá-AP

2 - Colegiado de Engenharia de Química, Universidade do Estado do Amapá (UEAP). Av. Presidente Vargas, N° 650, Macapá, CEP 68900-070, AP.

[pedro.santos.p002@gmail.com](mailto:pedro.santos.p002@gmail.com)

### RESUMO

*O resíduo de polipropileno (PP) é extremamente reciclável e tem aplicações em embalagens e na produção de materiais compósitos tendo em vista a afinidade com cargas minerais. Paralelo, outro resíduo que causa preocupação ambiental e tem origem na exploração de rochas ornamentais é o pó de mármore (PM), uma carga mineral. Existem dois tipos de resíduos gerados, grosseiros e os finos, que foram utilizados como objeto de estudo para este trabalho, que apresentam granulometria ultrafina podendo ser aplicada como carga mineral em diversos setores, como, por exemplo na construção civil substituindo a areia natural, e na indústria polimérica, como carga mineral. A geração dos resíduos PP e PM proporcionam agravos ambientais, sociais e econômicos que podem ser solucionados com o desenvolvimento de tecnologias capazes de oferecer soluções economicamente viáveis e sustentáveis. Neste sentido, este trabalho propõem a incorporação do PM em polipropileno reciclado (PPr) para avaliar como a adição da carga mineral pode interferir nas propriedades do produto final visando aplicações na construção civil (telhas e pisos intertravados), que geralmente utilizam o PP puro. Para esta finalidade, quatro composições foram preparadas: a primeira com PPr puro e usada como controle, já nas outras, o PM foi incorporado ao PPr a 30 % em massa, variando-se as granulometrias (PP/PM(1) - entre 180  $\mu$ m e 125  $\mu$ m; PP/PM(2) - entre 125  $\mu$ m e 45  $\mu$ m e PP/PM(3) – inferior a 45  $\mu$ m). Os ensaios realizados foram os testes de Resistência à Flexão (RF), medindo-se a tensão máxima a 5% de deformação (ASTM D 790) e Dureza Shore D - DZ (ASTM D2240). O compósito PP/PM(1) apresentou a maior dureza (74,7 Shore D), sugerindo que partículas maiores conferem maior dureza ao material, enquanto o PPr puro obteve o menor valor (68,33 Shore D) justificado, já que as moléculas de PP resistem menos a perfuração. Quanto a tensão máxima no ensaio de RF, o PPr apresentou a média de 35,6 MPa e foi aperfeiçoada com a adição de do PM, principalmente para o compósito PP/PM(3) o qual apresentou 42 MPa. De tal forma, os compósitos avaliados mostraram-se potencialmente capazes para substituir o PP puro em suas diversas aplicações na construção civil.*

**Palavras-chave:** Polipropileno, resíduos de mármore, materiais compósitos, carga mineral.

## INTRODUÇÃO

Com o avanço da tecnologia e o crescimento do consumo de materiais poliméricos, o Brasil se tornou o 4º maior produtor de lixo plástico no mundo ficando atrás apenas dos Estados Unidos, China e Índia<sup>(1)</sup>. O polipropileno, por ser um termoplástico que atualmente possui inúmeras aplicações. Ele é um dos mais importantes termoplásticos por ser comercialmente mais abundante e barato. Um dos motivos dessa ampla aplicação se dá devido à possibilidade de modificação de suas propriedades em função de cada aplicação específica, tendo em vista que uma das maneiras de ponderar as propriedades do polipropileno é adicionando cargas minerais e fibras <sup>(2)</sup>.

O polipropileno é o segundo polímero mais consumido no Brasil e com 21,6% do consumo total, é um termoplástico produzido a partir do gás propeno ou propileno, tem como principais propriedades o baixo custo, elevada resistência química, fácil moldagem e coloração, atóxico, alta resistência a fratura por flexão ou fadiga, boa estabilidade térmica e boa resistência ao impacto na temperatura ambiente <sup>(3)</sup>.

Outro resíduo com destaque é o proveniente do beneficiamento do mármore. Nesta conjuntura, o Brasil é um dos principais produtores de rochas ornamentais no mundo e um dos principais exportadores <sup>(4)</sup>. Com a crescente extração de rochas, as indústrias de rochas ornamentais começaram a se preocupar pelo fato de mesmo tomando todos os cuidados necessários para extração, os problemas ambientais são visíveis, tais como: o desmatamento, contaminação do solo, geração de resíduo sólido e subsequente poluição visual.

Dentre os resíduos que são gerados é possível identificar dois tipos principais, aqueles grosseiros, gerados pela quebra das peças no processo de corte, e os finos, que aparecem em forma de lama, que é constituída de água, granalha e de rocha moída e apresentam granulometria ultrafina podendo ser aplicada como carga mineral em diversos setores, como, por exemplo na construção civil e na indústria polimérica <sup>(5)</sup>.

Desta forma, fundamentando-se no que foi relatado acima, é evidente a necessidade de pesquisas voltadas para a reciclagem dos resíduos supracitados. Por consequência, este Projeto propõe avaliar a formulação de compósitos tecnicamente viáveis e capazes de diminuir os agravos ambientais decorrentes da geração dos resíduos de polipropileno e pó de mármore.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Materiais

O Polipropileno Reciclado (PPr) foi coletado na forma de copos descartáveis no laboratório da Universidade do Estado do Amapá (figura 1), onde foram higienizados e cortados em placas de 5x5 mm. Em seguida, o material foi encaminhado para estufa de secagem em temperatura de 70°C, Modelo SX 1.0 DTME, Série: 0030, no período de 24h.



Figura 1: PPr, oriundo de copos descartáveis, após lavagem, secagem e corte manual.

O Resíduo do Beneficiamento do mármore (pó de mármore), (figura 2), doado por uma Marmoraria em Macapá-AP, foi obtido em forma de lama.



Figura 2: Coleta da lama gerada no processo de beneficiamento do mármore.

Após a coleta o resíduo foi encaminhado ao Laboratório de Tecnologia dos Materiais (LaMat/UEAP) por onde seguiu por 24h na estufa de secagem em temperatura de 100°C para obtenção da massa seca, adiante foi realizado a classificação granulométrica do pó de mármore para compor a adição de carga mineral na matriz termoplástica.

#### Composições e preparo dos corpos de prova

As composições que serão preparadas neste trabalho estão apresentadas na (Tabela 1). Os teores de cada matéria foram escolhidos com base nos resultados reportados na literatura<sup>(6)</sup>.

Tabela 1: Codificação das composições em função dos teores de material utilizado.

Composições	Teores massa das matérias Primas (%)		Granulometria do PM retido na peneira ( $\mu\text{m}$ )
	PPr	PM	
<b>PP – Controle</b>	100	0	-
<b>PP/PM – R125</b>	70	30	125
<b>PP/PM – R45</b>	70	30	45
<b>PP/PM - Fundo</b>	70	30	<45

Fonte: Arquivo do autor (2022).

Foram preparados dez corpos de prova para cada composição (figura 3), conforme o método encontrado na literatura<sup>(7)</sup>, seguindo os passos: 1 - mistura das matérias-primas em uma extrusora a 194 °C e obtenção de blocos da mistura; 2 - os blocos foram fragmentados em moinho de facas, Modelo SL – 33, marca SOLAB para a obtenção de pellets (uma areia da mistura); 3 – secagem dos pellets em estufa a 80°C por 24h, 4 – alimentação de 5g de pellets sistema de aquecimento e injeção a 194°C e 2t, na prensa hidráulica manual com capacidade máxima de carga de 16t, marca Tecnal.



Figura 3: Corpos de prova ordenados com adição de pó de mármore com granulometria em ordem crescente.

## Caracterização das matérias primas e composições

Os ensaios mecânicos de flexão foram realizados em uma máquina universal de ensaios mecânicos seguindo a ASTM D 790, onde foram determinados os valores da Resistência a Flexão (RF).

O teste de dureza utilizado foi o aplicado em polímeros termoplásticos, Dureza Shore D, seguindo a norma **ISO 48-4:2018**.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Como apresentado na (figura 4) os resultados referente ao ensaio de resistência a flexão pode ser destacar o bom resultado que foi obtido após a adição de carga mineral (pó de mármore) na matriz de polipropileno, tendo em vista que o valor inicial de resistência do PP virgem foi de 35,62 MPa, já o compósito com 70/30 - Fundo, apresentou resistência de 42,065 MPa, isso representa um aumento de 14,7 % em relação ao PP virgem.

Montanari *et al.*<sup>(8)</sup> explicam que uma boa variação quanto ao diâmetro dos grãos, isto é, distribuídas uniformemente por todas as dimensões, faz com que as partículas se acomodem de forma mais compacta, com os grãos menores preenchendo os vazios deixados pelos maiores, proporcionando assim, uma menor existência de poros, com a menor existência de vazios dentro do compósito, quando é aplicado uma carga sobre o material ele tende a absorver mais, com isso resistir mais aos esforços aplicados.

Resultados obtido por Saab<sup>(5)</sup> em seus estudo com compósitos poliméricos com adição de pó de mármore, foi possível observar que com 30% de PM o resultado foi de 43.1 MPa e com 70% de carga mineral a resistência a flexão chegou 51.1 MPa, deixando claro que a adição de carga mineral PM agrega diretamente nas propriedades mecânicas do PP deixando-o ainda mais resistente.

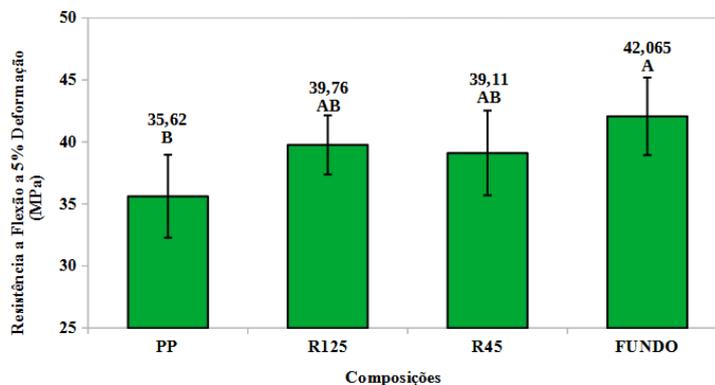


Figura 4: - Resultados da Resistência a flexão dos compósitos com variações de granulometria.

A incorporação do pó de mármore em matriz polimérica PP aumenta a dureza do compósito como é possível observar na (figura 5), haja vista que com a incorporação de PM com granulometria entre 180  $\mu\text{m}$  e 125  $\mu\text{m}$ , a dureza do PP saltou de 68,33 para 74,70 dentre as 4 composições foi a que apresentou a maior dureza, o que explica que com a adição de granulometrias maiores e uma mistura homogênea tendem a resistir mais a perfuração, os testes de caracterização mecânica mostram o aumento dessas propriedades com o aumento da carga.

Miranda *et al.*<sup>(9)</sup> em seus resultados de teste de dureza utilizou três composições em seu estudo sendo PP-puro, PP-talco e PP-silica, onde constatou que com a adição de talco na matriz termoplástica a resistência a dureza do compósito aumentou em 5% em relação ao PP-

puro e em 3% comparando com PP-silica, comprovando que com adição de carga mineral na matriz polimérica ocorre um aumento significativo em relação ao PP-puro.

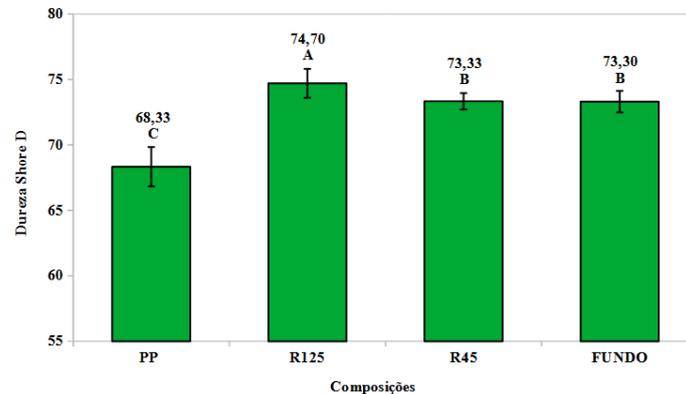


Figura 5: Resultados do teste de Dureza realizado nos compósitos

## CONCLUSÕES

Com o aumento de 14,7% do material compósito em relação ao PP puro podemos destacar que houve o aumento de suas propriedades mecânicas, tendo em vista a viabilidade e afinidade dos resíduos serem utilizados para produção de materiais compósitos, diminuindo a quantidade de insumo para produção de materiais de PP puro. Também foi possível observar que com adição de carga mineral em matriz polimérica a um significativo aumento da resistência a dureza no material compósito sendo uma opção a adição de carga mineral para o melhoramento das propriedades mecânicas do Polipropileno.

## AGRADECIMENTOS

A Universidade do Estado do Amapá (UEAP), ao Grupo de Pesquisa Tecnologia dos Materiais (GPTM), à Linha de Pesquisa Reciclagem de Resíduos para o Processamento de Novos Materiais (RRPM).

## REFERÊNCIAS

1. WWF - WWF Brasil. Disponível em <http://www.wwf.org.br>.
2. DALPIAZ, Giovani. **Estudo dos efeitos de cargas minerais em compósitos poliméricos particulados em matriz de polipropileno**. 2006. 236 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia, Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio do Sul, Porto Grande, 2006. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/13882>.
3. AFINKO. **Plásticos (polímeros): Conheça os 6 mais consumidos no Brasil em 2017 - Afinko**. Disponível em: <https://afinkopolimeros.com.br/6-plasticos-mais-consumidos-em-2017/>.
4. SINDIROCHAS. **Sindirochas Espírito Santo**. Disponível em: <https://www.sindirochas.com/noticias/espírito-santo-e-o-lider-no-pais-em-exportacoes-de-rochas-ornamentais.html>.
5. SAAB, Jaqueline Santana de. **Produção e caracterização de compósitos de rocha ornamental (Mármore) e matriz polimérica**. 2017. 41f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Materiais, Engenharia de Materiais, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais,

Belo Horizonte, 2017. Disponível em: [https://www.demat.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/25/2018/06/TCCII\\_Jaqueline-Santana-Saab.pdf](https://www.demat.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/25/2018/06/TCCII_Jaqueline-Santana-Saab.pdf).

6. SOUZA, L. R.; RIBEIRO, R. C. C.; CARRISSO, R. C. C.. **Aplicação de resíduos oriundos do corte de mármore na matriz do polipropileno**. IN: Simpósio de Geologia do Nordeste, 23, 2009, Fortaleza, CE. Anais... Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2009. p.78-89. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/1481>.
7. PALMERIM, Celino Nobre. **Produção de madeira plástica de polipropileno com resíduos: fibras de açaí, caulim e óleo de fritura**. 2019. 60 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade do Estado do Amapá, Macapá, 2019.
8. MONTANARI, Nicolas *et al.* ESTUDO DO AGREGADO MIÚDO: caracterização e efeitos da granulometria na produção do concreto. Revista Univap, [S.L.], v. 22, n. 40, p. 514, 9 fev. 2017. UNIVAP, Universidade Vale do Paraíba. <http://dx.doi.org/10.18066/revistaunivap.v22i40.1117>.
9. MIRANDA, L. F. De *et al.* ESTUDO COMPARATIVO DO POLIPROPILENO MODIFICADO PELA PRESENÇA DE TALCO E DE SÍLICA. Cbecimat, Natal, v. 2, n. 7, p. 1-7, 13 nov. 2002.

## **EFFECTS OF INCORPORATION OF MARBLE POWDER RESIDUE IN RECYCLED POLYPROPYLENE AIMING APPLICATIONS IN CIVIL CONSTRUCTION**

### **ABSTRACT**

*The Polypropylene (PP) waste is extremely recyclable and has applications in packaging and in the production of composite materials in view of the affinity with mineral fillers. At the same time, another residue that causes environmental concern and originates from the exploitation of ornamental rocks is marble dust (PM), a mineral filler. There are two types of waste generated, coarse and fine, which were used as the object of study for this work, which have ultrafine granulometry and can be applied as mineral filler in various sectors, such as, for example, in civil construction, replacing natural sand, and in the polymer industry, as mineral filler. The generation of PP and MD waste provide environmental, social and economic problems that can be solved with the development of technologies capable of offering economically viable and sustainable solutions. In this sense, this work proposes the incorporation of MD in recycled polypropylene (rPP) to evaluate how the addition of mineral filler can interfere with the properties of the final product aiming at applications in civil construction (tiles and interlocking floors), which generally use the pure PP. For this purpose, four compositions were prepared: the first with pure rPP and used as a control, in the others, MD was incorporated into rPP at 30% by mass, varying the granulometries (PP/PM(1) - between 180  $\mu$ m and 125  $\mu$ m; PP/MD(2) - between 125  $\mu$ m and 45  $\mu$ m and PP/MD(3) - less than 45  $\mu$ m). The tests performed were the Flexural Strength tests (FS test), measuring the maximum stress at 5% strain (ASTM D 790) and Shore Hardness D - DZ (ASTM D2240). The PP/MD(1) composite showed the highest hardness (74.7 Shore D), suggesting that larger particles confer greater hardness to the material, while the pure PP obtained the lowest value (68.33 Shore D) justified, since the PP molecules are less resistant to perforation. As for the maximum stress in the FS test, the rPP presented an average of 35.6 MPa and was improved with the addition of the PM, mainly for the PP/PM(3) composite, which presented 42 MPa. In this way, the composites evaluated were potentially capable of replacing pure PP in its various applications in civil construction.*

**Keywords:** Polypropylene, marble waste, composite materials, mineral filler.