cbecimat26
26° Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais
22 a 26 de novembro de 2026
Costão do Santinho
Florianópolis-SC

Geração de armação de óculos formada com polipropileno e resíduos oriundos da lavra e beneficiamento de rochas ornamentais

Roberto Carlos Ribeiro[1], Fernanda Veloso[1] e Marcia Gomes de Oliveira[2]
1. Centro de Tecnologia Mineral – CETEM rcarlos@cetem.gov.br ; 2. Instituto Nacional de Tecnologia – INT

1. Introdução

Em quarto lugar na produção mundial de rochas ornamentais em 2025 e com produção de mais de 10 milhões de toneladas, a perspectiva do Brasil é aumentar 45% dessa produção em apenas oito anos (ABIROCHAS, 2025). No entanto, atrelado a essa produção, observa-se a geração de uma quantidade significativa de resíduos (Figura 1), gerados durante o corte e o beneficiamento das rochas, que podem acarretar grandes impactos ambientais além de problemas econômicos para o setor, que tem como grande desafio o reaproveitamento racional desses resíduos, tornando-o um subproduto economicamente viável para sua comercialização.



Figura 1: Resíduos gerados na lavra e no beneficiamento do Mármore Bege Bahia.

Atualmente, existem diversos estudos para a aplicação desses resíduos em vários setores industriais, como na produção de cerâmica, de papel, de cosméticos, como fertilizantes, dentre outros. Nesse contexto, aparece a indústria polimérica, que utiliza, anualmente, toneladas de cargas minerais para a geração de compósitos poliméricos, visando à redução de custos e melhora em suas propriedades mecânicas (LIMA, 2007). Baseado nisso, esse setor seria um possível nicho para absorção dos resíduos de rochas em seu processamento.

A escolha correta da matriz polimérica e da carga, bem como a proporção entre ambas é fundamental e, as características finais do produto dependerão das propriedades desses materiais. O tamanho, a forma, bem como sua aderência a matriz são características importantes para serem avaliadas na carga (TRINDADE *et al*., 2004).

2. OBJETIVO

Verificar como a interação dos minerais (quartzo, feldspato, talco, calcita e dolomita) presentes em resíduos gerados no corte de rochas ornamentais com o polipropileno afeta o comportamento mecânico do compósito gerado para geração de armações de óculos.

3. METODOLOGIA

Origem dos Materiais

O polipropileno utilizado apresenta índice de fluidez 11g/10min e densidade 0,90 g.cm^{-3}. Já os resíduos, são oriundos do corte das seguintes rochas ornamentais: um calcário sedimentar do Ceará, um mármore do Espírito Santo, uma pedra sabão de Minas Gerais e um granito do Espírito Santo. Tais resíduos serão identificados com as seguintes nomenclaturas, respectivamente, RCS, RM, RPS, RG.

Análise Química e Mineralógica dos Resíduos

A determinação da composição química e mineralógica dos resíduos foi realizada pela Coordenação de Análises Minerais (COAM) do CETEM.

Tratamento dos Resíduos

Os mesmos foram pulverizados e peneirados à úmido até a obtenção de tamanhos de partícula inferiores à 0,149 mm, 0,044 mm e 0,020 mm. Após o peneiramento, os resíduos foram secos em estufa a 70 °C por 24 horas e, em seguida, desagregados.

Processamento dos Compósitos Poliméricos

O processamento dos compósitos foi realizado por meio da extrusora dupla-rosca, com L/D=26, com velocidade de 200 r.p.m. e zonas de temperatura compreendidas entre 165 e 230 ºC. O teor dos resíduos utilizado foi 10%, em massa, e cada compósito foi moldado por injeção em máquina *Battenfeld* a 230ºC.

Comportamento Mecânico dos Compósitos

O ensaio de flexão em três pontos foi realizado segundo a norma ASTM D 790 e o ensaio de resistência ao impacto de acordo com a norma ASTM D 256.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

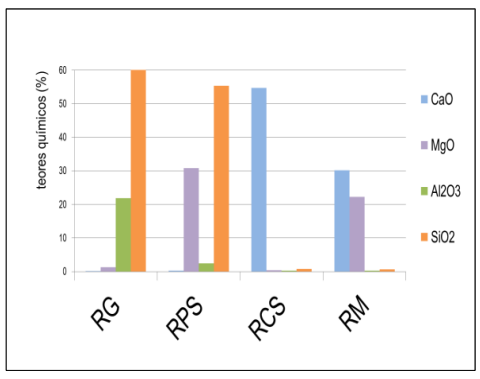
Análises Química e Mineralógica

Na Figura 2 estão apresentados os resultados da análise química dos resíduos, onde se pode verificar que o resíduo de granito apresenta altos teores de sílica, cerca de 60%, possivelmente associado às estruturas do quartzo e do feldspato, além de cerca de 20% de alumina, possivelmente associada, também, à estrutura do feldspato. O resíduo de pedra sabão apresenta altos teores de sílica (50%) e óxido de magnésio (20%), típicos da estrutura desse tipo de rocha. Os resíduos carbonáticos apresentam altos teores de óxido de cálcio, no entanto o calcário sedimentar apresenta mais de 50% desse elemento e o mármore apenas 30%, visto que o teor de óxido de magnésio corresponde a 20%.

Na Figura 3 estão apresentados os resultados da análise mineralógica que corroboram os resultados da análise química, uma vez que o resíduo de granito apresentou picos de quartzo e do feldspato albita, o resíduo de pedra sabão apresentou picos de talco, o resíduo de calcário sedimentar apresentou picos de calcita e o mármore apresentou picos de calcita e dolomita.

Avaliação Mecânica dos Compósitos

A Figura 4 apresenta os resultados da resistência ao impacto dos compósitos onde se pode observar que o menor tamanho de partícula do resíduo (0,02 mm) favorece o aumento da resistência mecânica dos compósitos, independente do tipo de resíduo, visto que o aumento da área superficial propicia maior interação com o polipropileno, refletindo nos maiores valores de resistência ao impacto. Baseado nisso, as discussões serão baseadas nos compósitos onde o tamanho de partícula é 0,02 mm. Com isso, quando se compara os melhores desempenhos entre os compósitos, verifica-se que àqueles formados com resíduos de granito apresentaram maiores valores, em torno de 40 J.m, visto que a elevada concentração de sílica aumenta a dureza do compósito. O compósito contendo resíduo de mármore apresenta a segunda maior resistência ao impacto (33J.m), possivelmente pela presença de dolomita, que é um mineral que confere maior dureza ao compósito, se comparado à calcita, presente no compósito de calcário sedimentar, que apresentou um desempenho em torno de 30 J.m, assim como a pedra sabão, visto que o mineral talco não é responsável em conferir aumento de resistência mecânica. Na Figura 5 apresentam-se os resultados de módulo de resistência à flexão dos compósitos, onde se observa que os compósitos formados por pedra sabão obtiveram os maiores valores (130 MPa), em função das características do mineral talco, que confere menor dureza e maior flexibilidade ao compósito. O mesmo ocorre com o compósito formado por calcário sedimentar, onde a baixa dureza da calcita confere maior resistência à flexão ao compósito (120 MPa). Em relação aos demais compósitos, RG e RM, observa-se uma diminuição da resistência à flexão, devido a presença de minerais quartzo e dolomita



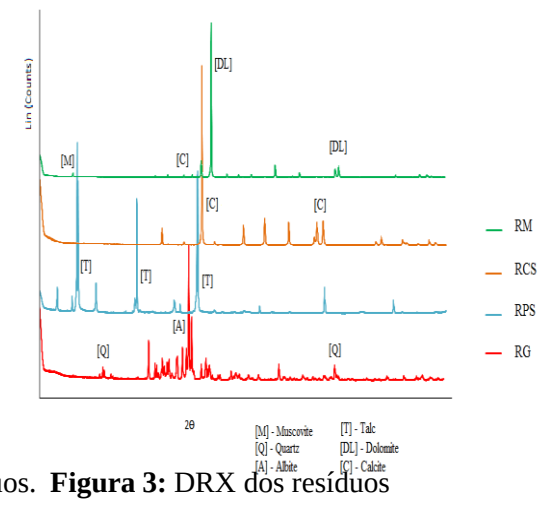
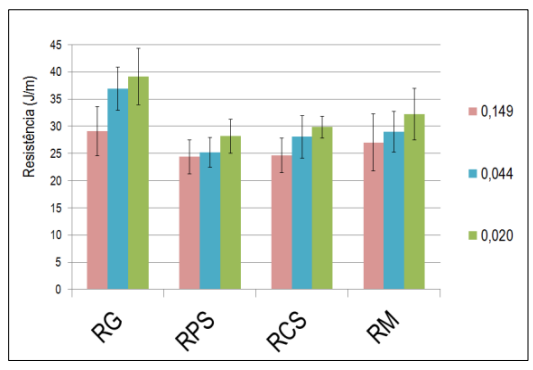


Figura 2: FRX dos resíduos. **Figura 3:** DRX dos resíduos



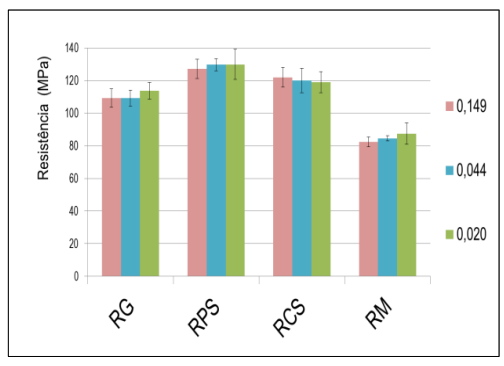


Figura 4 - Impacto Izod. **Figura 5:** Módulo de Resistência à flexão.

Avaliação da Interação Mineral/PP por Modelagem Molecular

Os resultados obtidos no processo de interação PP/Mineral estão apresentados na tabela 1, onde se pode observar que todos os sistemas apresentaram valores de energia potencial inferiores ao valor apresentado pelo PP isolado (19,78 J), indicando que a interação é favorável. Os menores valores obtidos foram na interação do PP com o feldspato (8,21 J) e com quartzo (10,44J) indicando melhores interações com esses minerais, possivelmente, devido às ligações intermoleculares do tipo pontes de hidrogênio, realizadas entre os hidrogênios do PP e os oxigênios desses minerais. No entanto, verifica-se que a presença do alumínio, elemento altamente polarizante, na estrutura do feldspato, contribui no fortalecimento da ligação com o PP. Tais ligações intermoleculares estão diretamente relacionadas com a maior resistência mecânica do compósito. Em relação à interação com os demais minerais com o PP, não se observa a geração preferencial de pontes de hidrogênio, mas sim de ligações dipolo-dipolo. A presença dos carbonatos, extremamente volumosos, dificultam essa interação, porém o magnésio, com menor raio, se comparado ao cálcio, apresenta papel importante na interação com PP. Os efeitos de penetração da blindagem molecular da estrutura da dolomita são mais favorecidos, pois os orbitais 3s do magnésio encontram-se com menor energia que os orbitais 4d do cálcio presente na calcita. No entanto, a sua complexação na estrutura do talco, impede qualquer tipo de ligação intermolecular nesse sítio de interação ou penetração de blindagem.

Tabela 1 - Energia Potencial dos Sistemas PP/minerais.

Sistema	Energia Potencial (J)	Sistema	Energia Potencial (J)
PP/Quartzo	10,44	PP/Calcita	16,87
PP/ Feldspato	8,21	PP/Dolomita	13,94
PP/Talco	14,45		

PROTÓTIPO DO ÓCULOS PRODUZIDO EM ESCALA INDUSTRIAL CONTENDO RESÍDUOS DE ROCHAS E PP



5. CONCLUSÕES

Pôde-se concluir que cada mineral apresenta interação diferenciada com o PP e tal interação refletirá em suas propriedades mecânicas. Dessa forma, conhecendo-se previamente a composição mineralógica de um resíduo, pode-se utiliza-lo com mais precisão na formulação de uma armação de óculos, já patenteada pelo CETEM e INT e em tratativas de transferência tecnológica para uma empresa renomada.

6. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo apoio financeiro, ao CETEM e à Uerj, campus Zona Oeste pela infraestrutura.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIROCHAS – Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais, Informe 06/2025, São Paulo – SP, Brasil.

LIMA, A. B. T., **Aplicações de Cargas Minerais em polímeros**. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil. 2007.

TRINDADE, T., ESTEVES, A. C. e TIMMONS, A. B. **Nanocompósitos de matriz polimérica** – Química Nova, V. 27, N° 5, 2004.