

## **Compósito sustentável de polipropileno pós-consumo e resíduo de rocha ornamental**

### **Sustainable Composite from polypropylene post-consumer and dimension stone waste**

DOI:10.34117/bjdv7n3-103

Recebimento dos originais: 08/02/2021

Aceitação para publicação: 05/03/2021

#### **Gabriella Neto Chagas**

Graduanda em Engenharia de Materiais

Instituição: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ

Endereço: Km 07, Zona Rural, BR-465, CEP: 23890-000, Seropédica – RJ, Brasil

E-mail: gabriellanetoc@gmail.com

#### **Maiccon Martins Barros**

Mestre em Ciência e Tecnologia de Materiais pela Fundação Centro Universitário Estadual da Zona Oeste, UEZO

Instituição: Centro de Tecnologia Mineral – CETEM

Endereço: Av. Pedro Calmon, 900, Ilha da Cidade Universitária, CEP 21941-908, Rio de Janeiro – RJ, Brasil.

E-mail: maiccon.martins@cetem.gov.br

#### **Ariadne Gonçalves de Leão**

Mestre em Ciências em Engenharia Metalúrgica e de Materiais pelo Programa de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Coppe – UFRJ, Brasil

Instituição: Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Coppe/UFRJ

Endereço: Centro de Tecnologia, A. Horácio Macedo, 2030, Bloco: F, Cidade Universitária – UFRJ, RJ/Brasil

#### **Roberto Carlos da Conceição Ribeiro**

Doutor em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos – EQ/UFRJ

Instituição: Centro de Tecnologia Mineral – CETEM

Endereço: Av. Pedro Calmon, 900, Ilha da Cidade Universitária, CEP 21941-908, Rio de Janeiro – RJ, Brasil.

E-mail: rcarlos@cetem.gov.br

#### **Daniele Cruz Bastos**

Doutora em Ciências em Engenharia Metalúrgica e de Materiais pelo Programa de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Coppe - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil

Instituição: Fundação Centro Universitário Estadual da Zona Oeste, UEZO

Endereço: Avenida Manuel Caldeiras de Alvarenga, 1203, Campo Grande, CEP: 23070-200, Rio de Janeiro – RJ, Brasil

E-mail: danielebastosuezo@gmail.com

## RESUMO

Neste trabalho, compósitos com foco ambiental foram preparados através da incorporação de resíduos de mármore Bege Bahia (BB) em polipropileno (PP) pós-consumo. Inicialmente os materiais foram caracterizados quimicamente e o PP pós-consumo foi processado em extrusora dupla-rosca, para maior homogeneização do resíduo, obtendo-se então o PP reciclado (PP-r) em pellets. O processamento das formulações de PP-r/BB (100/0 e 90/10 e 70/30 % m/m) e do PP virgem (100 % m/m), que foi processado para efeito de comparação, foi realizado em misturador Haake. Os ensaios de resistência ao impacto Izod foram realizados conforme a norma ASTM D-256. O aumento da resistência ao Impacto foi observado no compósito com 10 % (m/m) de calcário em comparação ao PP virgem. Sugere-se o uso do material obtido na indústria moveleira e de construção civil.

**Palavras-chave:** Reciclagem, impacto izod, polipropileno.

## ABSTRACT

In this work, composites with an environmental focus were prepared by incorporating dimension stone waste (bege bahia, BB into post-consumption PP. Initially, the materials were chemically characterized and the post-consumption PP was processed in a double-screw extruder, for greater homogenization of the waste, obtaining then the recycled PP (PP-r) in pellets. The processing of the PP-r / BB (100/0 and 90/10, 70/30, weight percentage) and virgin PP (100% w/w) formulations, which were processed for comparison purposes, was carried out in a Haake mixer. The impact resistance tests were carried out according to the ASTM D-256. The increase in impact resistance was observed with 10% (weight percentage) of BB. It is suggested to use the standard material in the furniture and civil construction industry.

**Keywords:** Recycling, Izod Impact, Polypropylene.

## 1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de materiais plásticos com diferentes propriedades, capazes de substituir materiais tradicionais como aço e madeira traz como vantagens o menor custo, leveza, fácil processabilidade, o que tem contribuído muito para o crescimento do consumo desses materiais, implicando em maior descarte destes no meio ambiente. A reciclagem mecânica de plásticos é atraente e ambientalmente correta, minimizando o desperdício e a consequente poluição, com menor consumo de energia do que aquele necessário para produzir o material virgem (Martins *et al.*, 2019; Monteiro *et al.*, 2020; Fernandes *et al.*, 2020).

Um desafio para a reciclagem de termoplásticos é a perda de propriedades mecânicas, químicas e térmicas com aumento dos ciclos de reciclagem. O uso potencial de cargas minerais na matriz polimérica reciclada também tem sido estudado devido ao seu desempenho mecânico, térmico, elétrico, resistência química e ao fogo. Assim, com

a adição de cargas minerais, é possível obter um material reciclado com propriedades semelhantes ao material virgem correspondente, diminuindo o impacto de polímeros commodities no meio ambiente (Gerardo *et al.*, 2020; Curtzwiler *et al.*, 2019; Lapčík *et al.* 2018; Verbeek, 2002; Kuelpmann *et al.* 2005).

Atrelado a isto, o Brasil, como um dos cinco maiores produtores de rochas ornamentais do mundo, busca desenvolver alternativas de reaproveitamento desses resíduos minerais, de modo a diminuir o impacto ambiental (Barros *et al.*, 2020). Os resíduos de serrarias do mármore Bege Bahia apresentam, geralmente, granulometria ultrafina e baixos teores de sílica e ferro, tornando-o com elevado potencial para aplicação como carga mineral, uma vez que não há necessidades de altos custos com seu beneficiamento (Vidal *et al.*, 2009).

Barros *et al.* (2020) produziram um tijolo ecológico à base de resíduos de rocha ornamental, o calcário, com matriz de resina poliéster. O tijolo foi obtido nos moldes do tijolo solo-cimento. Os autores observaram que o tijolo com a composição poliéster/calcário 90/10 % m/m apresentou resistência à compressão de 7,0 MPa, 350 % superior ao valor estabelecido pela norma NBR 8492.

A reciclagem de resíduos de construção e demolição (RCD) que contêm materiais com alto valor de recursos, como plásticos, metais, madeira, vidro e concreto foi objeto de estudo de Hyvärinen *et al.* (2019). Três tipos de compósitos madeira-plástico foram fabricados com diferentes quantidades de RCD. Suas propriedades foram comparadas ao composto de referência fabricado com fibras de madeira virgem e polipropileno como polímero. Verificou-se que a adição do RCD, em geral, como enchimento, enfraqueceu as propriedades mecânicas dos compósitos, exceto pelo fato de que o impacto Charpy melhorou significativamente.

Diante deste contexto, o presente trabalho propõe a obtenção de compósitos à base de resíduos sólidos, contribuindo assim para diminuição do impacto ambiental negativo destes resíduos no meio ambiente. Assim foram utilizados, em diferentes proporções: O resíduo plástico - polipropileno (PP) pós-consumo e o resíduo de rocha ornamental - o mármore Bege Bahia.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 RESÍDUO DE MÁRMORE BEGE BAHIA

O resíduo utilizado neste trabalho foi cedido pelo Centro de Tecnologia Mineral (CETEM), e é proveniente do beneficiamento do mármore Bege Bahia na região de

Ouroolândia (BA). Esta amostra foi analisada em um trabalho anterior conforme método descrito no trabalho de Ribeiro e Oliveira, 2015. O mineral foi classificado granulometricamente apresentando tamanho de partículas inferior a 0,037 mm e apresenta um aspecto bege acinzentado, tal como demonstrado na Figura 1.

Figura 1: Resíduo de mármore Bege Bahia.



## 2.2 POLIPROPILENO VIRGEM E POLIPROPILENO PÓS-CONSUMO

O polímero PP virgem utilizado neste trabalho é da marca Braskem S/A com densidade de  $0,905 \text{ g/cm}^3$  e índice de fluidez  $3,5 \text{ g/10 min}$  ( $230^\circ\text{C}/2,16 \text{ Kg}$ ).

O PP pós-consumo, utilizado como matriz dos compósitos foi obtido a partir de embalagens de bebidas coletadas em lanchonetes da cidade de Angra dos Reis (RJ) e beneficiado.

Após a coleta seletiva dos copos de bebidas, estes foram submetidos inicialmente às seguintes etapas: lavagem, secagem e trituração. As etapas de lavagem (utilizando-se detergente e água corrente) e trituração foram realizadas manualmente, enquanto, a etapa de secagem foi feita em condições ambiente. O material seco e em tamanhos menores está ilustrado na Figura 2.

Figura 2: PP pós-consumo, oriundo de copos de bebidas, após lavagem, secagem e corte manual.



Em seguida, o material foi prensado, para melhor homogeneização, em uma prensa hidráulica aquecida a 200 °C (marca MARCONI), por 5 min a 6 ton., e resfriado em uma prensa a frio, da mesma marca, por 2 min a uma pressão também de 6 ton. A prensagem dispensou molde, utilizando apenas duas folhas metálicas como superfície de contato, com dimensões de 20 cm x 20 cm. O PP pós-consumo prensado foi então triturado, com o auxílio de uma tesoura manual.

Por fim, o polímero pós-consumo, prensado e triturado, foi processado em uma extrusora dupla-rosca da marca TECK TRIL (modelo DCT 20-40), com dez zonas de temperatura variando de 165 à 215°C da alimentação à saída da matriz e rotação de 150 rpm. Após o processamento via extrusão dos materiais, o extrusado (PP-r) foi triturado em pellets, por uma extensão do próprio equipamento, e por fim, acondicionado em sacos plásticos.

### 2.3 PROCESSAMENTO DOS COMPÓSITOS

Na preparação dos compósitos foram utilizados o PP-r, como matriz, e o resíduo de mármore Bege Bahia como carga de reforço, totalizando quatro formulações diferentes, de acordo com a Tabela 1. O PP virgem foi processado puro, para efeito de comparação.

Os compósitos foram produzidos pela mistura no estado fundido do PP-r com diferentes concentrações de cargas em misturador interno (Haake) com rotores do tipo roller, cuja velocidade foi ajustada a 60 rpm, a uma temperatura de 200°C por 7 minutos. Os cálculos das massas das misturas foram feitos com base no volume do misturador que é de 69 cm<sup>3</sup>. Esse valor representa o volume livre da câmara interna equipado com os rotores do tipo ROLLER acoplados ao reômetro de torque, usando o fator de

preenchimento de 70%. A concentração dos materiais foi expressa em porcentagem mássica (%).

Tabela 1 – Formulações obtidas no misturador mecânico:

<b>Materiais (% m/m)</b>	<b>Mistura 1</b>	<b>Mistura 2</b>	<b>Mistura 3</b>	<b>Mistura 4</b>
Bege Bahia (BB)	—	—	30	10
PP-r	—	100	70	90
PPvirgem	100	—	—	—

Em seguida, todas as misturas foram moídas separadamente em um moinho de duas facas da marca MARCONI, obtendo-se o material em pellets.

### 3 CARACTERIZAÇÃO

#### 3.1 ANÁLISE QUÍMICA DO PP-R

O PP-r foi caracterizado por espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR). Por ser um material pós-consumo, foi necessário confirmar se sua composição era majoritariamente de polipropileno.

Os espectros de FTIR foram obtidos no equipamento FTIR modelo Nicolet 6700 da ThermoScientific nomodo ATR, utilizando cristal de ZnSe, na faixa de número de ondas 4000 – 650  $\text{cm}^{-1}$ , com 120 varreduras e resolução de 4  $\text{cm}^{-1}$ .

#### 3.2 ANÁLISE QUÍMICA DO RESÍDUO INORGÂNICO

Para a análise do resíduo de rocha ornamental, por fluorescência de raios-X, as amostras foram preparadas em prensa automática VANEON (molde de 20 mm, pressão de 20 toneladas e tempo igual a 30 segundos), utilizando como aglomerante ácido bórico ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) na proporção de 1:0,6 g do ácido e 2,0 g da amostra seca à 100°C. A pastilha obtida foi analisada em espectrômetro de FRX BRUKER-AXS modelo S4- Explorer, equipado com tubo de Rh. Para obtenção da análise química semi-quantitativa, o espectro gerado a partir da amostra foi avaliado pelo software Spectraplus v.1.6 no modo standerless method, sem curva de calibração específica.

#### 3.3 ENSAIO DE IMPACTO NOS COMPÓSITOS

Os ensaios de resistência ao impacto foram realizados conforme a norma ASTM D-256, em um equipamento analógico, operando com pêndulo de 7,5 J de energia

nominal. Antes do ensaio propriamente dito, foi realizada uma calibração do equipamento medindo a resistência do ar.

Para cada formulação, foram confeccionados quatro corpos de prova para ensaios de resistência ao impacto Izod (conforme a norma ASTM D 256 e ISO 179A). Os resultados foram obtidos a partir de uma média dos quatro corpos de prova, para cada formulação, na temperatura de  $23 \pm 0,3^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa de  $70 \pm 0,5 \%$ .

Com o auxílio de um molde metálico nas dimensões especificadas pela norma adotada, os corpos de prova foram moldados por compressão em prensa hidráulica (MARCONI) à temperatura de  $190^{\circ}\text{C}$ , a 12 ton por 5 min e, em seguida, foram submetidas à prensagem fria durante 3 min sob a mesma pressão.

As amostras foram então cortadas por um entalhador acoplado com faca para entalhe em “V” segundo a norma adotada, medidas separadamente com paquímetro digital e identificadas para o posterior teste de resistência ao impacto.

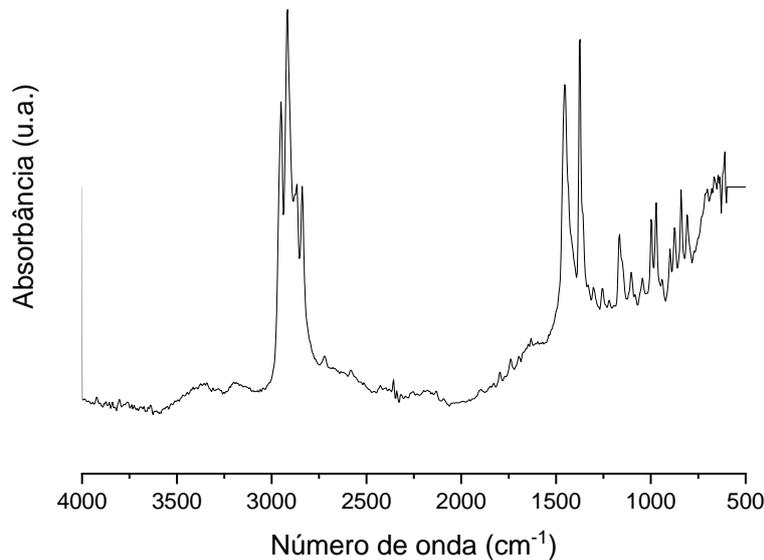
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 ANÁLISE QUÍMICA DO PP-R

A Figura 3 apresenta o espectro de FTIR-ATR do PP-r, que mostra picos de absorção característicos do PP virgem. Observa-se picos moderados de vibrações de deformação do grupo metileno ( $1445$  a  $1485\text{ cm}^{-1}$ ), vibrações dos grupos metil, (entre  $1430$ – $1470\text{ cm}^{-1}$  ou  $1365$  a  $1395\text{ cm}^{-1}$ ), uma banda ampla e intensa em torno de  $2915\text{ cm}^{-1}$  (vibrações da ligação C-H). Bandas de absorção em  $840$ ,  $1000$  e  $1170\text{ cm}^{-1}$  são vibrações características de grupos  $\text{CH}_2$  insaturados presentes nos terminais do PP isotático (Krylova and Dukštienė, 2013).

Outras bandas presentes, possivelmente devem-se ao fato do material ser pós-consumo e por isto, de acordo com a literatura, tem em sua formulação a presença de aditivos (Martins *et al.*, 2019; Gerardo *et al.*, 2020).

Figura 3: FTIR-ATR do polipropileno (PP-r).



#### 4.2 ANÁLISE QUÍMICA DO RESÍDUO INORGÂNICO

Na Tabela 2 verifica-se que o principal componente do resíduo é o cálcio, respondendo por cerca de 50% das amostras, sendo encontrado naturalmente como carbonato de cálcio (calcita), visto que os resultados de perda ao fogo (PF) indicam valores em torno de 40% relacionado com o carbonato. O segundo principal componente é o magnésio, encontrado como carbonato de magnésio (dolomita). Esses resultados são compatíveis aos encontrados na literatura (Varela *et al.*, 2006). O valores encontrados de sílica, alumina e ferro podem estar relacionados com insumos utilizados no corte ou com a presença de argilominerais contendo esses elementos.

A similaridade na composição dos resíduos, nos seis pontos de coleta, possibilitou a mistura dos mesmos em único material, realizando-se uma pilha de homogeneização para produção dos compósitos.

Tabela 2 –Análise química do resíduo de mármore (< 0,037 mm).

Elementos	Amostra Bege Bahia	Amostra Bege Bahia	Amostra Cava 1	Amostra Cava 1	Amostra Travertino	Amostra Travertino
SiO <sub>2</sub>	5,10	5,30	4,20	4,40	5,90	5,90
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,40	0,40	0,46	0,51	0,51	0,51
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,22	0,21	0,28	0,22	0,24	0,89

CaO	50,20	49,50	50,70	48,20	47,40	47,10
MgO	4,60	4,90	2,40	2,70	5,60	4,70
PF	39,48	39,69	41,96	43,97	40,35	40,9

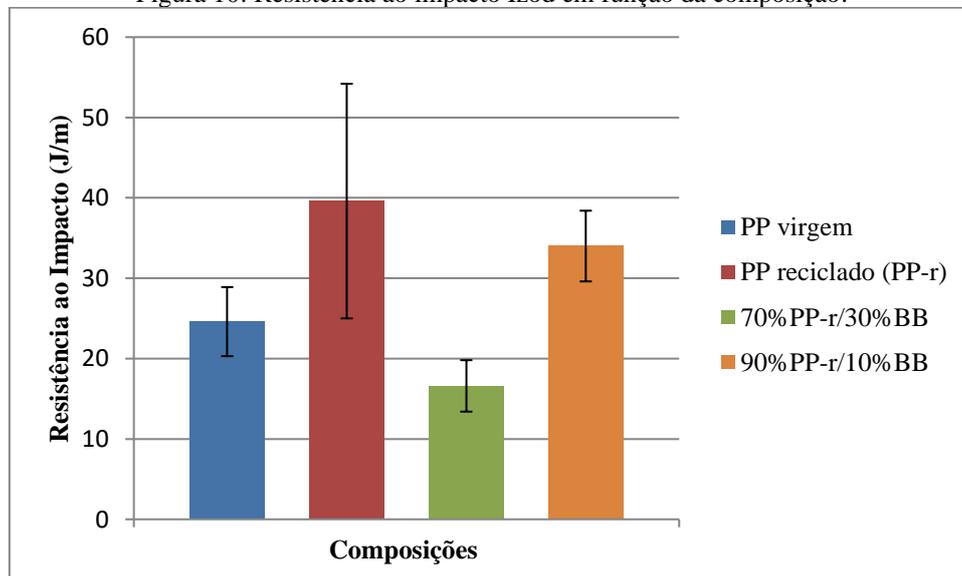
### 4.3 ENSAIO DE IMPACTO IZOD

A Figura 4 ilustra os resultados obtidos no ensaio de resistência ao impacto Izod para cada composição (PP virgem, PP-r e PP-r/BB).

O desvio padrão elevado na amostra de PP-r, em comparação ao PP virgem, deve-se ao fato do material ser reciclado. Monteiro *et al.* (2020) observaram aumento da viscosidade em amostras de PEAD após três ciclos de processamento, o que foi atribuído à cisão de cadeias seguida por reações de reticulação, decorrente do reprocessamento.

Quando comparado ao PP virgem, foi possível observar um aumento na resistência ao impacto Izod que o compósito 90/10 suportou em função da adição da carga de 10% de Bege Bahia. Entretanto o ensaio de impacto confirmou a fragilização do PP com 30% de BB, o que foi observado no trabalho de Hyvärinen *et al.* (2019), utilizando matriz de PP e resíduos de construção civil.

Figura 10: Resistência ao impacto Izod em função da composição.



## 5 CONCLUSÃO

Foi possível obter novas formulações de compósitos a partir de resíduos sólidos, utilizando PP pós-consumo como matriz e mármore Bege Bahia, sendo os materiais obtidos por métodos tradicionais de processamento de polímeros.

Diante dos resultados, o compósito que apresentou resistência ao impacto superior ao PP virgem, foi o PP-r/BB: 90/10 (% m/m). A substituição do polímero virgem pelo polímero pós-consumo com uso de cargas inorgânicas oriundas de resíduos, diminui o gasto com a extração de matéria-prima e também proporciona um destino ecologicamente correto para estes resíduos. O material obtido pode ter possíveis aplicações na indústria moveleira e de construção civil, entre outras.

### **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem à Faperj e ao CETEM.

## REFERÊNCIAS

BARROS, M.M.; DE OLIVEIRA, M.F.L.; DA CONCEIÇÃO, R.C.R.; BASTOS, D.C.; DE OLIVEIRA, M.G. Ecological bricks from dimension stone waste and polyester resin. **Construction and Building Materials**, v. 232, p. 117-252, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117252>

CURTZWILER, G.W.; SCHWEITZER, M.; LI, Y.; JIANG, S.; VORST, K.L. Mixed post-consumer recycled polyolefins as a property tuning material for virgin polypropylene. **J. Cleaner Prod.**, v. 239: p. 117978, 2019. Doi: [10.1016/j.jclepro.2019.117978](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117978)

FERNANDES, A.B.; PEREIRA, P.S.C.; BASTOS, D.C.; LIBANO, E.V.D.G. Wood-plastic composite based on post-consumer HDPE and vermiculite. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, p. 82980-82687, 2020. Doi: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n10-653>

GERADO, C.F.; FRANÇA, S.C.A.; SANTOS, S.F.; BASTOS, D.C. A study of high-density polyethylene with mica addition: Influence of mica particle size on wetting behavior, morphological, physical, and chemical properties. **International Journal of Development Research**, v. 10 (06), p. 37223-37228, 2020. Doi: <https://doi.org/10.37118/ijdr.19110.06.2020>

HYVÄRINEN, M., RONKANEN, M., & KÄRKI, T. The effect of the use of construction and demolition waste on the mechanical and moisture properties of a wood-plastic composite. **Composite Structures**, v. 210, p. 321–326, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2018.11.063>

KRYLOVA, V. and DUKŠTIENĖ, N. Synthesis and Characterization of Ag<sub>2</sub>S Layers Formed on Polypropylene. **Journal of Chemistry**, v. 2013, Article ID 987879, 11 p., 2013. Doi: <https://doi.org/10.1155/2013/987879>.

KUELPMANN, A.; OSMAN, M.A.; KOCHER, L.; SUTER, U.W. Influence of platelet aspect ratio and orientation on the storage and loss moduli of HDPE-mica composites. **Polym.**, v. 46, p. 523-30, 2005. Doi: [10.1016/j.polymer.2004.09.056](https://doi.org/10.1016/j.polymer.2004.09.056).

LAPČÍK, L.; MAŇAS, D.; LAPČÍKOVÁ, B.; VAŠINA, M.; STANĚK, M.; ČÉPE, K.; VLČEK, J.; WATERS, K.E.; GREENWOOD, R.W.; ROWSON, N.A. Effect of filler particle shape on plastic-elastic mechanical behavior of high density poly(ethylene)/mica and poly(ethylene)/wollastonite composites. **Composites Part B.**, v. 141, p. 92-99, 2018. Doi: [10.1016/j.compositesb.2017.12.035](https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.12.035).

MARTINS S., BARROS M.M., PEREIRA P.S.C., BASTOS D.C. Use of manufacture residue of fluidized-bed catalyst-cracking catalysers as flame retardant in recycled high-density polyethylene. **J. Mater. Res. Technol.**, v. 8(2), p. 2386-2394, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2018.11.015>

MONTEIRO, J.R.G., SIRELI, L., LIBANO, E.V.D.G., BASTOS, D.C. and PEREIRA, P.S.C. Recyclability by extrusion molding of high-density polyethylene from plastic bags. **International Journal of Development Research**, v. 10 (6), p. 36709-36713, 2020. Doi: <https://doi.org/10.37118/ijdr.19105.06.2020>

RIBEIRO, R.C.C. and OLIVEIRA, M.G. **Aproveitamento de resíduos oriundos da lavra e do beneficiamento do mármore bege bahia, visando a geração de compósitos poliméricos.** Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2015.

VARELA, J. J., WOTRUBA, H. ; PETTER, C. O. **Optical sorting applied for Brazilian carbonate rock.** In: XXIII International Mineral Processing Congress, Istanbul, 2006.  
VERBEEK, C.J.R. Highly filled polyethylene/phlogopite composites. *Mater. Lett.*, v. 52, p. 453–57, 2020.

VIDAL, F. W. H., RIBEIRO, L. D., ALVES, E., BARRETO, E., PINHO, R., Apoio técnico ao arranjo produtivo do mármore bege-Bahia. **Relatório de Andamento de Realizações**, Salvador – BA, 2009.