

15º Congresso Brasileiro de Polímeros
27 a 31 de outubro de 2019

FILAMENTO PRODUZIDO A PARTIR DE RESÍDUO DE MÁRMORE COM PLA APLICADO A IMPRESSÃO 3D.

Marceli do N. da Conceição^{1,2*}, Roberto C. da C. Ribeiro², Rossana M. da S. M. Thiré¹

*1 - Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais - PEMM do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia – COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. Endereço: Av. Horácio Macedo 2030, Prédio do Centro de Tecnologia da UFRJ, Bloco F, sala F-214 Cidade Universitária, Ilha do Fundão, CEP: 21941-972, Rio de Janeiro – RJ,
marcelipoliqui@gmail.com*

2 - Centro de Tecnologia Mineral – CETEM, Rio de Janeiro – RJ

Resumo: Apesar da grande difusão da tecnologia de impressão 3D em especial a do tipo Deposição Por Extrusão (FDM) há ainda necessidade de melhoramento da técnica em especial em relação à matriz polimérica utilizada como fonte de matéria-prima. Este trabalho teve como objetivo o estudo do melhoramento das propriedades das peças pela inserção de resíduo em pó oriundo do beneficiamento do corte das chapas do mármore Bege Bahia na matriz polimérica de Poliacido Láctico (PLA) bem como propor uma aplicação ao resíduo mineral. A granulometria indicou que cerca de 70% do resíduo foi passante na malha de 20µm e a análise mineralógica indicou elevado teor de calcita. O aumento no teor de resíduo proporcionou aumento no módulo elástico quando comparada com o PLA puro e aumento significativo se comparado com o filamento comercial de PLA além de diminuição da rugosidade superficial que foi medida pelas alturas dos filamentos depositados. Assim, o filamento se mostrou adequado para peças onde se deseja maior módulo elástico e melhor acabamento superficial.

Palavras-chave: Resíduo de rocha, Impressão 3D, FDM, PLA.

FILAMENT PRODUCED WITH MARBLE WASTE WITH PLA APPLIED IN 3D PRINTING .

Abstract: In spite of the great diffusion of the 3D printing technology, in particular the Extrusion Deposition (FDM) type, there is still a need to improve the technique especially in relation to the polymer matrix used as source of raw material. The objective of this work was to study the improvement of the properties of the pieces through the insertion of powdered waste from the cutting of the Bege Bahia marble plates in the polymeric matrix of the Poly Acid Lactic (PLA), as well as to propose an application for the mineral waste. The granulometry indicated that about 70% of the waste was passed through the 20µm mesh and the mineralogical analysis indicated a high calcite content. The increase in the waste content provided an increase in the elastic modulus when compared to the pure PLA and a significant increase when compared to the commercial filament of PLA in addition to decrease of the surface roughness that was measured by the heights of the deposited filaments. Thus, the filament was suitable for pieces where greater elastic modulus and better surface finish are desired.

Keywords: Waste rock, 3D printing, FDM, PLA.

Introdução

A Manufatura Aditiva (MA) vem apresentando uma tecnologia disruptiva pela inserção de novo modelo de fabricação. Peças com elevado nível de complexidade somente são possíveis de serem obtidas por meio do modelo de construção de camada a camada. Dentre as muitas técnicas que estão englobadas na MA a Impressão 3D do tipo Deposição Por Extrusão (FDM) atualmente é a mais difundida [1]. Sendo isso atribuído ao baixo custo do equipamento e da matéria-prima, quando comparadas com outras técnicas. Apesar disso, ainda há necessidade de melhoramento, como a matriz polimérica do filamento utilizado na construção das peças [2-3]. Desta forma, este trabalho

teve como objetivo o estudo de um filamento com resíduo do pó de mármore oriundo dos cortes das chapas gerados durante o beneficiamento das rochas do mármore Bege Bahia. Considerando que sua composição é predominante carbonato de cálcio, estas partículas apresentam baixa dureza e posteriormente sua decomposição permite correção de acidez no solo [4-5], ideal para fabricação de peças que posteriormente poderão passar pelo processo de biodegradação como peças fabricadas com Poliláctico (PLA).

Experimental

Preparação do resíduo

O resíduo de mármore Bege Bahia foi submetido à análise por Fluorescência de Raio-X para avaliação da composição mineralógica. Do montante do resíduo recebido em sacas foi retirada uma alíquota pelo sistema de pilha para garantir homogeneidade e representatividade na fração que passou por análise granulométrica com as peneiras de malha 150, 106, 270, 38, 20 μ m. Foi necessário peneiramento à úmido devido ao tamanho da manha para auxiliar no arraste das partículas. A fração passante na peneira de 20 μ m retida na água de arraste foi selecionada para estudo neste trabalho. Após ser filtrado e seco o resíduo, contido na água, aglomerou sendo necessário uma etapa de desaglomeração que foi realizada no pulverizador elétrico da marca *Ika* 10 e no moinho de bolas do tipo Moinho Planetário P-6 *Classic Line*, da marca *Fritsch*. As partículas à seco foram medidas pelo analisador de partículas *Mytos* já as partículas retidas na água de arraste foram medidas pelo *Marven* devido ao meio dispersante ser água.

Preparação do compósito

A mistura nas frações mássicas de 5, 10, 20 e 30% de resíduo com o *PLA 2003 Ingeo* foi realizado na extrusora dupla rosca da marca *Teck Tril* com 9 zonas de aquecimento variando de 140 até 170°C e mais o cabeçote com 170°C. Como a homogeneização com o *pellet* e o pó por vezes não é eficiente, devido à diferença de tamanho, a alimentação na extrusora para cada composição foi realizada em pequenas porções.

Fabricação do filamento

O processo de formação do filamento, matéria-prima para a impressão 3D, foi obtido na extrusora AX 16:26 da AX Plásticos com as temperaturas variando de 160, 175 e 170°C nas 3 zonas de aquecimento. Somente com a composição de 30% foi necessário diminuir para a temperatura da última zona devido a maior fluidez.

Parâmetros de impressão 3D

As peças foram fabricadas na impressora 3D *Cloner ST* (Microbrás, Brasil) com bico de 0,4mm de diâmetro utilizando os seguintes parâmetros: 0,1mm de camada, 40mm/s, 220°C, duas voltas de perímetro e 45° de ângulo de deposição.

Avaliação das peças impressas

Foram fabricados corpos de prova do tipo 5 da norma ASTM 638 D de todas as composições incluindo o PLA puro e um filamento de PLA comercial que foram tracionadas na *Instron* com 1mm/s de velocidade e célula de carga de 5N. A rugosidade dos filamentos depositados no sentido transversal foi analisada pelo equipamento da marca *Taylor Hobson* nos modos perfilômetro e rugosímetro com apalpador de modelo 112-2011 calibrado com esfera de raio 12,4941 mm, modelo 112-2062-02, *cut-off* de 2,5, segundo a norma ABNT 42882:2008. Por fim, foi impressa um objeto com determinada complexidade e fotografada para análise qualitativa do produto impresso.

Resultados e Discussão

A análise mineralógica conduzida por Fluorescência de Raio-X indicou que 50,2% do resíduo é de CaO e 4,6% de MgO indicando ser uma rocha carbonatada constituída de calcita e dolomita. O peneiramento a úmido realizado com o jogo de peneiras de 150, 106, 270, 38 e 20 μ m indicou que predominantemente o resíduo está abaixo de 20 μ m visto que cerca de 70% foi retido na água de arraste. A recuperação do resíduo na água foi realizada por meio de filtragem e secagem onde ocorreu a aglomeração do resíduo. Assim, foram realizadas tentativas de desaglomeração de partículas pelo moinho de bolas e pelo pulverizador elétrico. A amostra retida na água de arraste também foi analisada, sendo a amostra anterior a etapa onde ocorreu aglomeração tal amostra foi considerada como tendo a curva de granulometria real, ao seja, sem aglomerados. Como indica a Fig. 1 a desaglomeração total da amostra foi possível com o pulverizador elétrico indicando que 100% do resíduo apresenta granulometria abaixo de 20 μ m, semelhante a curva da amostra úmida, o que não ocorreu com o moinho de bolas.

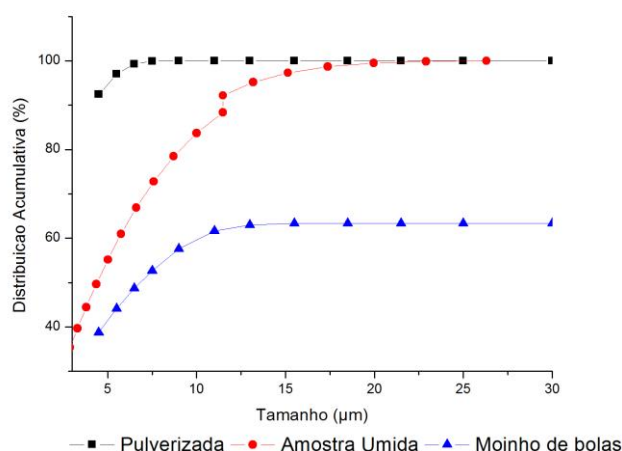


Fig.1 Tamanho de partículas da amostra úmida, após moinho de bolas e pulverizador elétrico

À medida que houve aumento no teor de resíduo inserido no compósito houve aumento do módulo elástico das peças impressas quando comparadas com o PLA puro, Fig.2. Em relação ao resultado obtido das peças confeccionadas com filamento de PLA Comercial o módulo elástico foi abaixo mesmo quando comparadas com os resultados de PLA puro, fato este que poderia ser atribuído a quantidade de aditivos que são adicionados nestes filamentos para melhoria da processabilidade dos mesmos.

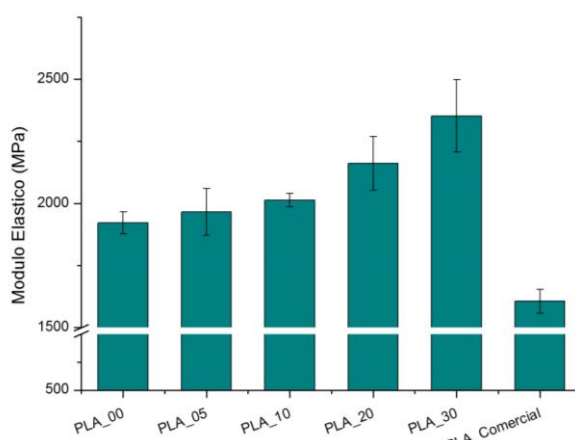


Fig.2 Módulo elástico das amostras impressas

A rugosidade medida está relacionada com a diferença de altura dos filamentos depositados, na Fig.3 se observa um esquema representativo do caminho feito pela ponteira do perfilômetro. As rugosidades médias das amostras impressas permaneceram iguais, dentro do erro estatístico quando comparadas todas as amostras com resíduo. Se for considerando a média dos valores, teor acima de 10% de resíduo não apresentou alteração na rugosidade média. Em relação às amostras impressas com PLA puro, o resíduo proporcionou diminuir na rugosidade. Tal rugosidade está relacionada às alturas dos filamentos depositados para formar a superfície do produto final, o que indica qualidade de impressão devido a maior uniformidade na superfície.

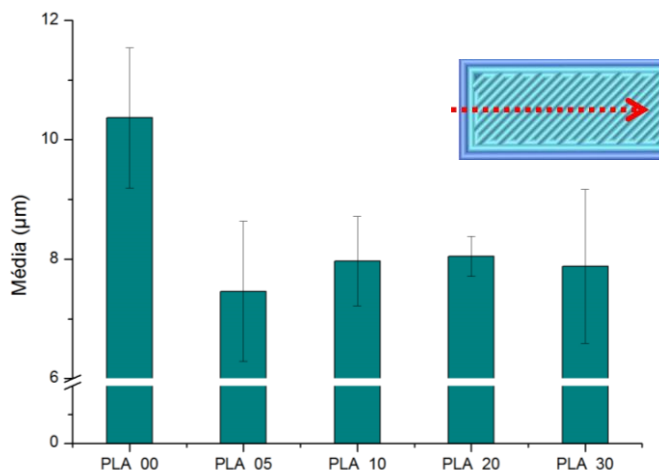


Fig.3 Rugosidade média das amostras e esquema representativo da medida

Por fim, fotografias de uma peça impressa com filamento produzido com o resíduo de mármore podem ser vistas na Fig.4. Diferentes partes da peça foram fotografadas tendo como parâmetro dimensional uma régua para avaliação qualitativa da superfície. A superfície apresenta boa qualidade de impressão, pois as linhas de deposição quase não são observadas, concordando com as medidas realizadas na Fig.3. Tal comportamento foi da mesma forma observada na região da rosca onde há mais reentrâncias e as camadas são depositadas com pouca sustentação devido ao ângulo de deposição estar fora da camada anterior. De igual forma, na parte interna da tampa a superfície apresentou boa qualidade.



Fig.4 Fotografia da peça impressa com PLA_20% de resíduo

Conclusões

Foi possível concluir que a inserção das partículas na matriz de PLA proporcionou melhoramento no acabamento das peças finais indicado pela diminuição da rugosidade dos filamentos depositados. O aumento do módulo indicou que as partículas auxiliam em casos onde a peça deva ser submetidas a tensão e a deformação esteja no regime elástico. As partículas oriundas do corte das chapas de mármore são indicadas para aplicação em impressão 3D por apresentar baixa granulometria. Foi possível sugerir uma aplicação ao pó de mármore oriundo dos cortes das chapas que por não ter destino final são considerados como resíduos. Por fim, por ser um filamento biodegradável com partículas constituída de carbonato de cálcio sugere aplicação onde há necessidade de correção de acidez durante o processo de decomposição.

Agradecimentos

Agradecimento à agência de fomento CNPq.

Referências

1. C.M.González-Henríquezab; M.A.Sarabia-Vallejoscd; J.Rodriguez-Hernandez. Progress In Polymer Science, 2019.
2. H.L. Tekinalp, et al. Compos. Sci. Technol. 105, 144, 2014.
3. J. Cerneels; A. Voet at al. COMPOSITES WEEK. <https://doi.org/10.1016/j.bmc.2013.07.012>. 2013
4. J.C. Alcarde; A.A. Rodella. *Scientia Agricola*.1996,53,1-3.
5. A. S. Lopes.; M. de C. Silva;L. R.G. Guilherme. Boletim Técnico nº1 ANDA, 22 p. 1990.