

Efeito da adição do resíduo de mármore e granito com fibras de sisal nas propriedades de compósitos poliméricos**Effect of adding marble and granite residue with sisal fibers on the properties of polymer composites**

DOI:10.34117/bjdv6n2-171

Recebimento dos originais: 30/12/2019

Aceitação para publicação: 17/02/2020

Karla Suellen Lino Barbosa

Mestranda em Engenharia Química, Bacharela Interd. em Ciência e Tecnologia com ênfase em Mecânica pela Universidade Federal do Pará.

Instituição: Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química.

Endereço: Universidade Federal do Pará, 66075-110, Belém, PA, Brasil.

E-mail: karllaslb@gmail.com

Ingrid Moreira Reis

Bacharela Interd. em Ciência e Tecnologia com ênfase em Mecânica pela Universidade Federal do Pará.

Instituição: Universidade Federal do Pará, campus Ananindeua.

Endereço: Universidade Federal do Pará, 67130-660, Ananindeua, PA, Brasil.

E-mail: ingridmoreira@outlook.com

Willam Rayplam Pereira Coelho

Graduando Interd. em Ciência e Tecnologia com ênfase em Mineral pela Universidade Federal do Pará.

Instituição: Universidade Federal do Pará, campus Ananindeua.

Endereço: Universidade Federal do Pará, 67130-660, Ananindeua, PA, Brasil.

E-mail: williamatl96@gmail.com

Gabrilly Monteiro Melo

Graduanda Interd. em Ciência e Tecnologia com ênfase em Mineral pela Universidade Federal do Pará.

Instituição: Universidade Federal do Pará, campus Ananindeua.

Endereço: Universidade Federal do Pará, 67130-660, Ananindeua, PA, Brasil.

E-mail: gabrillymonteiro@yahoo.com..br

Iara Ferreira Santos

Doutoranda em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia, Mestra em Engenharia Química pela Universidade Federal do Pará.

Instituição: Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia.

Endereço: Universidade Federal do Pará, 66075-110, Belém, PA, Brasil.
E-mail: iaraferreira.eq@gmail.com

José Antônio da Silva Souza

Doutor em Engenharia de Recurso Naturais da Amazônia pela Universidade Federal do Pará.
Instituição: Universidade Federal do Pará, Professor do magistério superior, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia.
Endereço: Universidade Federal do Pará, 66075-110, Belém, PA, Brasil.
E-mail: jass@ufpa.br

Deibson Silva da Costa

Doutor em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia pela Universidade Federal do Pará.
Instituição: Universidade Federal do Pará, Professor do magistério superior, Faculdade de Engenharia de Materiais, campus Ananindeua.
Endereço: Universidade Federal do Pará, 67130-660, Ananindeua, PA, Brasil.
E-mail: deibsonsc@yahoo.com.br

RESUMO

Com base na intensa produção de resíduos, provenientes dos processos de beneficiamento de rochas ornamentais, pesquisadores buscam alternativas de reutilização deste material. Portanto, foram confeccionados materiais compósitos com objetivo de avaliar propriedades físico-mecânicas. Foi utilizado o método de fabricação *hand lay up* associado à prensagem em molde fechado, nos quais foram confeccionados materiais compósitos de resíduo de mármore e granito nas frações mássicas de 5 %, 10 %, 15 % e 20 % na granulometria de 200 Mesh da série Tyler adjunto com fibras vegetais de sisal no comprimento de 15 mm na fração fixa de 3 %. A matriz polimérica utilizada foi à resina poliéster isoftálica em conjunto com o acelerador de cobalto (1,5 % v/v) e o catalisador MEK-P (1 % v/v). Foram realizadas análises mineralógicas no resíduo, a fim de identificar as fases cristalinas do material. Ademais, foram feitas caracterizações físicas nos compósitos por meio da massa específica aparente (ASTM D 792), absorção de água (ASTM D 570) e porosidade aparente (ASTM D 2734), além do ensaio de resistência à tração (ASTM D 3039). As análises da superfície de fratura foram analisadas através do microscópio eletrônico de varredura. Os compósitos apresentaram variação de acordo com o teor de resíduo e fibra na matriz para as propriedades físicas. Referente ao comportamento à tração o compósito com mármore e granito 10 % e fibra 3 % obteve significância estatisticamente em relação as demais frações de resíduo e fibra. A análise de fratura evidenciou os mecanismos de falhas como *pull-out* e fibras rompidas. A vista disto, a utilização desses materiais possui potencial como carga em compósito em revestimentos internos, o que alternativa viável e sustentável na redução das problemáticas ambientais.

Palavras – chave: Reciclagem. Resíduos Industriais. Mármore. Granito. Fibras Vegetais.

ABSTRACT

Based on the intense production of residues from the processing of ornamental rocks, researchers are looking for alternatives to reuse this material. Therefore, composite materials

were made in order to evaluate physical and mechanical properties. The hand *lay up* manufacturing method associated with closed mold pressing was used, in which composite materials of marble and granite residues were made in the mass fractions of 5%, 10%, 15% and 20% in the 200 mesh granulometry of the series Tyler adjunct with 15 mm long sisal vegetable fibers in the fixed fraction of 3%. The polymeric matrix used was the isophthalic polyester resin together with the cobalt accelerator (1.5% v / v) and the MEK-P catalyst (1% v / v). Mineralogical analyzes were performed on the residue, in order to identify the crystalline phases of the material. In addition, physical characterizations were made in the composites by means of the apparent specific mass (ASTM D 792), water absorption (ASTM D 570) and apparent porosity (ASTM D 2734); in addition to the tensile strength test (ASTM D 3039). The fracture surface analyzes were analyzed using a scanning electron microscope. The composites varied according to the residue and fiber content in the matrix for physical properties. Regarding the tensile behavior, the composite with marble and granite 10% and fiber 3% obtained statistical significance in relation to the other fractions of residue and fiber. The fracture analysis showed failure mechanisms such as pull-out and broken fibers. In view of this, the use of these materials has potential as composite filler in internal coatings, which is a viable and sustainable alternative in reducing environmental problems.

Keywords: Recycling. Industrial Waste. Marble. Granite. Vegetable fibers.

1 INTRODUÇÃO

O setor industrial brasileiro possui uma crescente produção de rochas ornamentais, com destaque os minérios de mármore e granito. Em razão disso, as empresas de beneficiamento de minérios geram um elevado acúmulo de resíduos provenientes dos processos de corte, serragem e polimento das peças, no qual a destinação inadequada acarreta em problemáticas ambientais. Dessa forma, a existência de pesquisas relacionadas ao aproveitamento dos resíduos produzidos é ansiada.

Do ponto de vista comercial, as rochas ornamentais são divididas em dois grupos, mármore e granitos. Sendo mármore considerado um conjunto de rochas carbonáticas, enquanto granito engloba um conjunto de rochas silicáticas que apresentam condições de desdobramento e de beneficiamento para fins ornamentais e de revestimento (BEZERRA, 2017).

Chiodi Filho e Rodrigues (2009), afirmam que a utilização dos resíduos oriundos do beneficiamento das rochas ornamentais traz benefícios tanto para o meio ambiente quanto para a empresa produtora do resíduo, uma vez que, quando o material passa a ser reutilizado e comercializado, reduz as perdas sofridas durante o processo de beneficiamento, acarretando no aumento da lucratividade e fornecendo uma alternativa para o setor industrial.

De acordo com Santos *et al.* (2014) existem variadas formas da reutilização do resíduo proveniente dos beneficiamentos, como por exemplo, a admissão em vidros, cerâmica

vermelha e produções de cosméticos. Além dessas alternativas, uma aplicação promissora desses resíduos é a utilização como carga em compósitos, sendo um material de baixo custo e com fonte altamente disponível na indústria brasileira, ademais por apresentarem boas propriedades mecânicas. De acordo com Callister (2016), a busca por materiais com combinações de propriedades trouxe reconhecimento para uma nova classe distinta dos materiais convencionais.

Atualmente o interesse no uso das fibras vegetais como reforço nos compósitos vem intensificando-se, em comparação as fibras sintéticas. Isso ocorre devido ao custo benefício e as vantagens ambientais, por serem biodegradáveis e não tóxicas. As fibras vegetais ou partículas resultam, muitas vezes, no aumento da rigidez e resistência do material.

Em meio à abundância das fibras vegetais existentes, pode-se destacar a fibra de sisal de natureza celulósica, constituinte da planta *Agave sisalana*. De acordo com Joseph, Medeiros e Carvalho (1999) as propriedades presentes nas fibras correspondem as necessidades da fabricação dos compósitos poliméricos. Sendo elas, a elevada resistência ao impacto e a moderada resistência a tração e flexão. Além de apresentar facilidade desde o cultivo ao beneficiamento.

Por conseguinte, este trabalho busca avaliar o comportamento físico-mecânico de compósitos de matriz polimérica incorporados com resíduo e fibras vegetais. Com o intuito de promover uma alternativa viável de reutilização/reciclagem do resíduo, acarretando na redução de impactos socioambientais.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 MATERIAIS UTILIZADOS

A matriz polimérica consistiu em uma resina poliéster insaturada isoftálica, proveniente da empresa Centerglass Ind, Com. R. e Fibras Ltda e com densidade de 1,15 g/cm³ (dados fornecidos pelo fabricante). Além de um sistema catalítico, em volume, constituídos por acelerador de cobalto (1,5 %) e iniciador peróxido de metil cetona (MEK-P 1,0 %), ambos produzidos pela empresa AEROJET Brasileira de Firbeglass Ltda.

Os resíduos de Mármore e Granito (MG) foram fornecidos pela empresa Brilasa Britagem e Laminação de Rochas S/A, localizada no Estado do Pará. A densidade adotada para o resíduo foi de 2,7 g/cm³, segundo o trabalho de Spala *et al.* (2017). As fibras de sisal foram adquiridas da empresa SISALSUL, localizada no Estado de São Paulo. A densidade

adotada foi de $1,42 \text{ g/cm}^3$, conforme o trabalho de Costa (2016). A Figura 1 apresenta o resíduo e a fibra.

Figura 1 – Resíduo (a) e fibras de sisal (b)



(a)

Fonte: Autoria própria (2019)

(b)

2.2 MÉTODOS

2.2.1 Desagregação dos resíduos de mármore e granito

Para o beneficiamento dos resíduos, esses passaram pelo processo de secagem em estufa por aproximadamente 24 horas a uma temperatura de 105°C . Após este processo foi realizada a etapa de cominuição e peneiramento manual do resíduo em peneira com granulometria de 200 Mesh ($0,074 \text{ mm}$) da série Tyler.

2.2.2 Corte das fibras de sisal

As fibras foram utilizadas na forma como adquiridas, não passaram por nenhum tratamento químico. Dessa forma, foram cortadas com auxílio de uma escala milimétrica em comprimento de 15 mm . O processo do corte consistiu na organização dos feixes de fibras sobre uma tira de papel com as dimensões desejadas.

2.2.3 Difração de Raios –X (DRX)

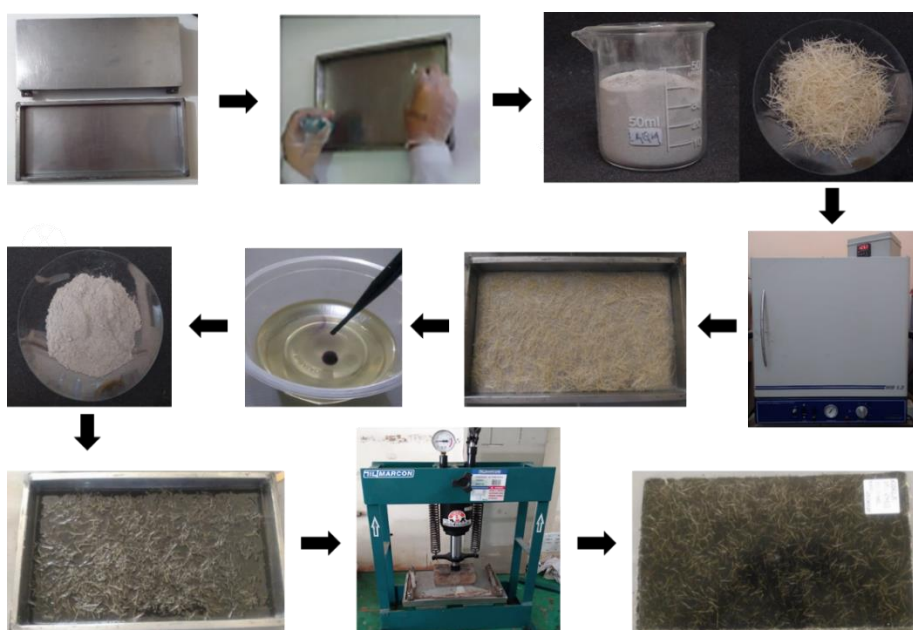
As análises mineralógicas foram feitas em um Difratorômetro de Raios –X, que permite identificar as fases cristalinas do material. Para a análise do material foi realizado a redução das amostras mediante ao quarteamento, seguida da homogeneização e diminuição dos grãos a serem analisados.

2.2.4 Compósitos

Para a produção dos compósitos, em formato de placas retangulares, foi utilizado o método *land lay up* associado à prensagem em um molde fechado (320 mm x 172,5 mm X 5 mm). As frações mássicas dos materiais foram determinadas em 3 % de fibra de sisal (comprimento de 15 mm), variando as frações em massa de 5 %, 10 %, 15 % e 20 % do resíduo com granulometria de 200 Mesh, considerando a fração de 0 % de fibra e 0 % de MG como método comparativo.

Para a produção das placas, tanto a fibra quanto o resíduo foram pesados e colocados na estufa a uma temperatura de 105 °C por um período de 30 minutos, para retirar a umidade superficial do material. Após esse período, as fibras foram dispostas de forma aleatória dentro do molde, paralelo a isso, foi homogeneizado a mistura polimérica na sequência de resina isoftálica, acelerador de cobalto, resíduo e, por fim, iniciador MEK-P, durante 5 minutos. Na sequência, a mistura foi despejada dentro do molde. Depois da mistura atingir o ponto de gel no período de 10 a 15 minutos, o material foi prensado com carga de 25 kN durante 20 minutos. A Figura 2 ilustra o processo de produção dos compósitos.

Figura 2 - Processo de produção dos compósitos



Fonte: Autoria própria (2019)

Após a confecção de todas as placas, foram realizados processos de corte de acordo com as recomendações das normas para cada ensaio realizado.

2.2.4.1 Caracterização física

As caracterizações físicas dos compósitos fabricados foram feitas por meio de Massa Específica Aparente - MEA (ASTM D 792), Absorção de Água - AA (ASTM D 570) e Porosidade Aparente - PA (ASTM D 2734), onde foram preparados 5 corpos de prova, nas dimensões de 25 mm x 25 mm, de acordo com as frações mássicas estabelecidas. Após a obtenção dos corpos de prova, o material foi colocado na estufa durante 24 horas a uma temperatura de 105 °C, após esse período cada amostra foi pesada em balança de precisão para determinação da massa seca - m_s . Em seguida, foi realizada a imersão desses corpos de prova em água destilada por 24 horas para determinação da massa úmida - m_u e seguidamente os corpos foram pesados hidrostáticamente, com ajuda de aparato adaptado, para obtenção da massa imersa - m_i . Após as determinações das massas secas, úmidas e imersas, fez-se o uso das Equações 1, 2 e 3 para obtenção das propriedades físicas.

$$MEA = \frac{m_s}{m_u - m_i} (g / cm^3) \quad (1)$$

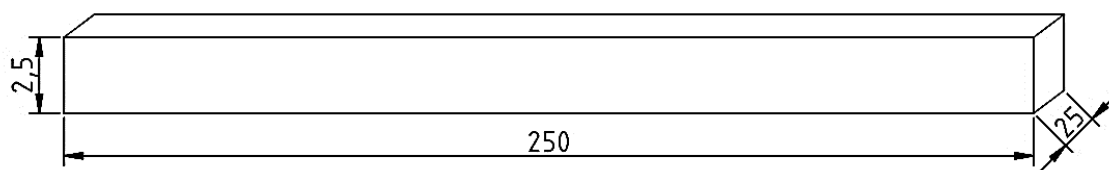
$$AA = \frac{m_u - m_s}{m_s} \times 100 (\%) \quad (2)$$

$$PA = \frac{m_u - m_s}{m_u - m_i} \times 100 (\%) \quad (3)$$

2.2.4.2 Caracterização mecânica

Para a realização dos ensaios mecânicos de tração foram fabricados 9 corpos de prova de acordo com a norma ASTM D 3039, com as dimensões conforme mostrado na Figura 4.

Figura 4 – Dimensões, em mm, dos corpos de prova para ensaio de tração



Fonte: ASTM D 3039 (2008)

Foram utilizados nas extremidades dos corpos de prova *tabs*, que tem por objetivo criar uma aderência na fixação, devido sua rugosidade, na região das garras da máquina de ensaio. Os ensaios de tração foram realizados por meio da máquina universal de ensaios, marca KRATOS, modelo IKLC3, com célula de carga de 5 kN e velocidade de ensaio de 2 mm/min. Essa máquina consiste na aplicação de esforços até obtenção da deformação plástica do material.

2.2.4.3 Fractografia

As análises das superfícies de fratura foram realizadas através do microscópio eletrônico de varredura. Essa técnica consiste na identificação de fenômenos de fratura de materiais após falha. A amostra analisada consistiu no material que apresentou melhor desempenho mecânico.

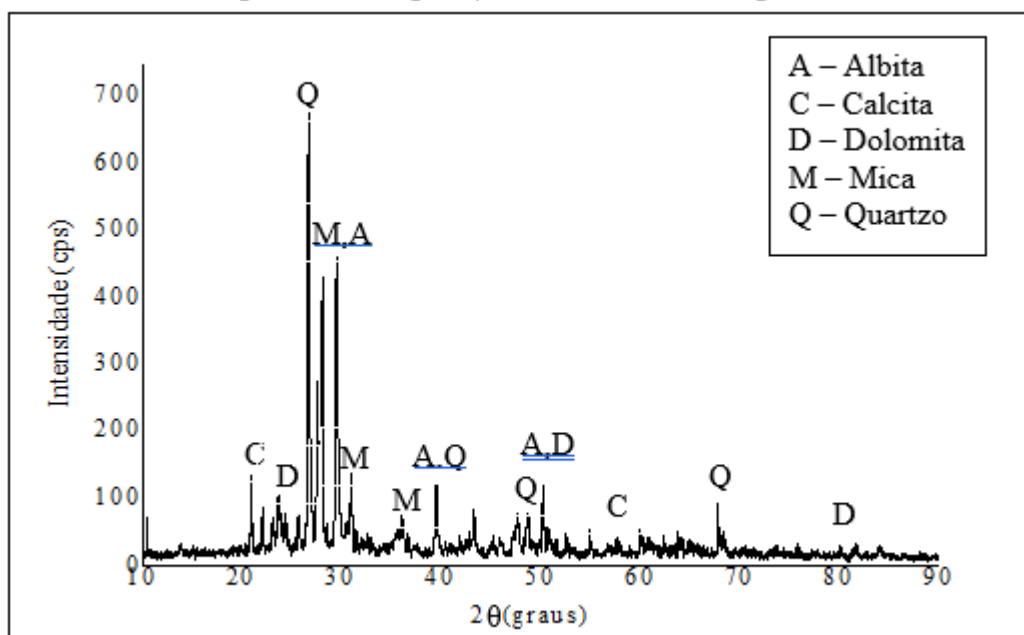
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 DIFRAÇÃO DE RAIOS-X

A caracterização mineralógica do resíduo de mármore e granito foi realizada por meio da técnica de Difração de Raios-X. O difratograma da Figura 3 apresenta os principais componentes mineralógicos presentes no resíduo, nos quais se observam picos de elevada intensidade de componentes como Quartzo, Albita e Mica, constituintes estes presentes nos granitos, além de picos de baixa intensidade de minerais como Calcita e Dolomita, referentes ao mármore.

Tais resultados estão em conformidade com trabalhos de Rodrigues (2016), Santos *et al.* (2014) e Mello (2006).

Figura 3 – Difratoograma do resíduo de mármore e granito



Fonte: Autoria própria (2019)

3.2 COMPÓSITOS

Os compósitos foram avaliados de acordo com as propriedades físicas de massa específica aparente, absorção de água e porosidade aparente, além do comportamento mecânico à tração juntamente com a análise da superfície de fratura.

3.2.1 Propriedades físicas

As caracterizações físicas dos compósitos foram realizadas através das propriedades de Massa Específica Aparente (MEA), Absorção de Água (AA) e Porosidade Aparente (PA) sobre recomendações das normas ASTM. A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos.

Tabela 1 – Propriedades físicas dos compósitos

Fração Mássica (%)	MEA (g/cm ³)	AA (%)	PA (%)
PI	1,2159 (±0,0052)	1,2816 (±0,4395)	1,5569 (±0,5277)
MG5F3	1,2623 (±0,0029)	1,3372 (±0,1023)	1,6879 (±0,1292)
MG10F3	1,3162 (±0,0057)	1,3434 (±0,1588)	1,7679 (±0,2042)
MG15F3	1,4123 (±0,0119)	1,1872 (±0,1172)	1,6775 (±0,1767)
MG20F3	1,4917 (±0,0029)	1,1876 (±0,1397)	1,7711 (±0,2056)

Fonte: Autoria própria (2019)

É notório, na Tabela 1, que a propriedade de MEA sofreu aumento de acordo com o acréscimo de resíduo, a qual a carga de mármore e granito 20 % com fibra 3 % (MG20F3)

obteve aumento de 18,48 % em comparação à matriz plena (PI). Tal comportamento relaciona-se a regra da mistura, na qual a densidade do mármore e granito apresenta 2,70 g/cm³ e a fibra de sisal 1,42 g/cm³, valores acima da densidade da resina (1,15 g/cm³).

A propriedade de AA apresentou maiores resultados nas frações MG5F3 e MG10F3, esse resultado pode ser explicado devido o alto teor hidrofílico presente nas fibras vegetais, no entanto, as frações MG15F3 e MG20F3 apresentaram valores inferiores, tal comportamento relaciona-se ao aumento de resíduo na matriz e seu teor hidrofóbico. Em relação à porosidade aparente, nota-se a relação dessas duas propriedades (AA e PA), onde a variação de uma influencia diretamente a outra. Conforme Santos *et al.* (2014), essas propriedades estão diretamente ligadas e apresentam sensibilidade quanto à variação de teor de carga na mistura.

Os resultados apresentaram similaridade aos trabalhos de Santos *et al.* (2014) e Carvalho *et al.* (2019).

3.2.2 resistência à tração

A Tabela 2 apresenta os dados dos comportamentos mecânicos obtidos através dos ensaios de tração nos compósitos de acordo com sua fração mássica.

Tabela 2 – Comportamento mecânico de tração

Fração Mássica (%)	Resistência à Tração (MPa)	Alongamento (mm)	Módulo de Elasticidade (GPa)
PI	16,61 (±1,45)	1,37	2,18
MG5F3	15,85 (±2,12)	4,43	0,64
MG10F3	19,13 (±1,10)	4,70	0,73
MG15F3	15,22 (±1,21)	4,11	0,66
MG20F3	15,83 (±1,89)	3,80	0,74

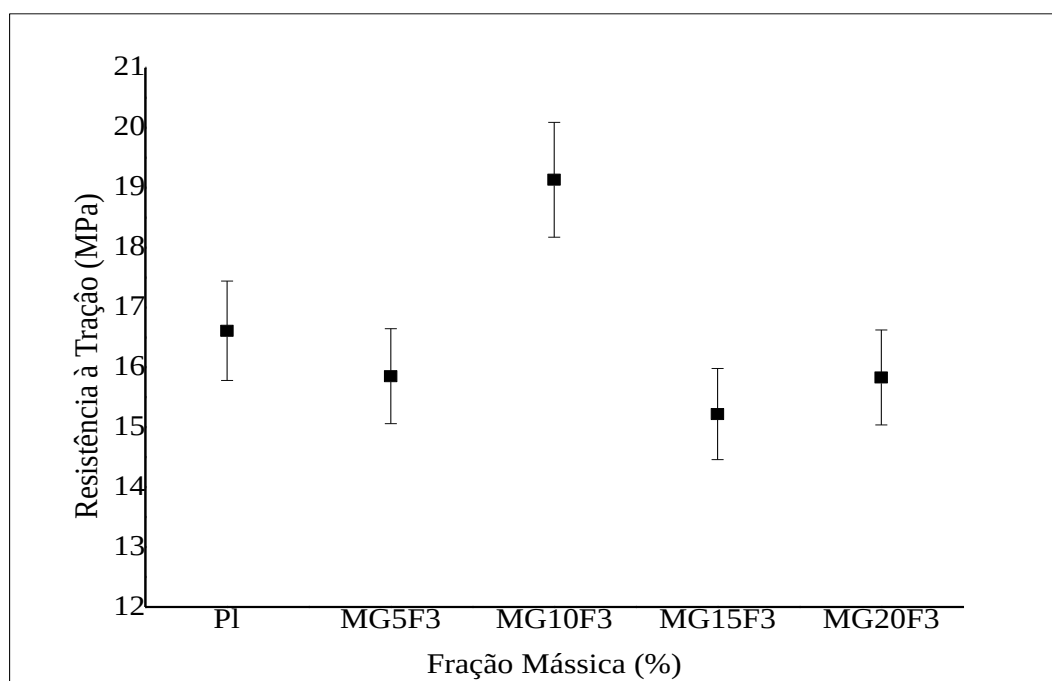
Fonte: Autoria própria (2019)

É possível observar na Tabela 2 que a resistência mecânica do compósito com a fração mássica MG10F3 apresentou o melhor desempenho mecânico à tração quando comparado aos compósitos com outras frações mássicas de resíduo e fibras na matriz, aproximadamente 15 %. Entretanto, nota-se que os compósitos nas demais frações apresentaram valores semelhantes à matriz plena. De acordo com Costa (2016) as propriedades mecânicas dos compósitos diminuem de acordo com o aumento da fração mássica dentro da matriz, devido surgimento de porosidade. Fato este, segundo ele, pode dificultar a impregnação das fases e a molhabilidade.

Referente ao módulo de elasticidade nota-se uma diminuição em comparação a matriz plena. Esse feito ocorre em virtude das características frágeis presentes na matriz plena, tornando o material menos dúctil, ou seja, o material se rompe sem sofrer grande deformação. Segundo Callister (2016) quanto maior o módulo de elasticidade, mais rígido será o material, ou menor será sua deformação elástica mediante a aplicação de uma dada tensão.

A Figura 4 apresenta o gráfico de dispersão comparativo dos compósitos confeccionados.

Figura 4 – Gráfico comparativo da resistência à tração dos compósitos



Fonte: Autoria própria (2019)

Por meio da Análise de Variância (ANOVA), para testar as médias populacionais das variâncias amostrais, e o Teste de Tukey foram realizadas comparações entre as frações mássicas dos materiais estudados com a finalidade de evidenciar diferenças significativas entre as resistências mecânicas à tração das amostras de matriz plena e de compósitos com incorporação de mármore e granito adjunto a fibras.

Utilizando o *software* PAleontological STastiscs (PAST) versão 4.0, na função “ANOVA: único fator” se obtém a tabela de análise de variância para uma confiança de 95 %. A Tabela 3 apresenta os dados gerados pela ANOVA.

Tabela 3 – Dados da Análise de Variância (ANOVA)

Fonte de variação	F	Gl	MQ	F	Valor-P
Entre grupos	50,7459	4	12,6865	5,315	0,004405
Dentro dos grupos	47,7363	20	2,38682	-	-
Total	98,4822	24	-	-	-

Fonte: Autoria própria (2019)

Com base na Tabela 3, nota-se que uma das amostras possui desempenho significativo, tendo em vista que o valor-P (0,004405) é menor que o nível de significância estabelecido de 0,05. Além disso, foi realizado o teste de Tukey que permite a comparação das médias uma a uma. A Tabela 4 apresenta o resultado do teste Tukey.

Tabela 4 – Resultado do teste de Tukey

Fração		A	B	C	D	E
PI	A	-	0,9341	0,1122	0,6198	0,7437
MG5F3	B	-	-	0,02315	0,9653	0,9919
MG10F3	C	-	-	-	0,005563	0,00891
MG15F3	D	-	-	-	-	0,9995
MG20F3	E	-	-	-	-	-

Fonte: Autoria própria (2019)

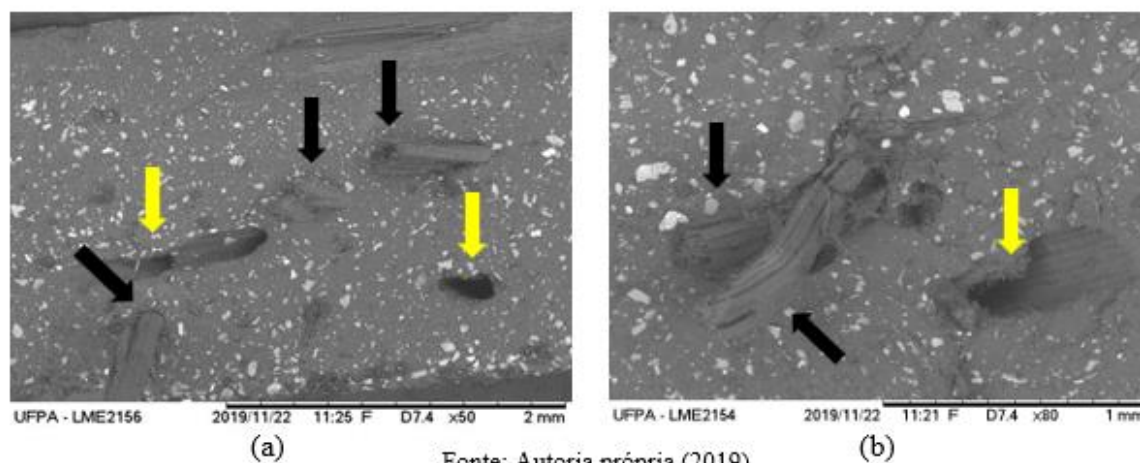
O resultado do teste Tukey apresentado na Tabela 4 mostra que o compósito com mármore e granito 10 % com fibra 3 % (MG10F3) apresentou melhora significativa em relação aos compósitos nas diferentes frações mássicas de resíduo.

3.2.3 Análise da superfície de fratura

A superfície de fratura da fração mássica analisada no microscópio eletrônico de varredura consistiu no compósito MG10F3 (mármore e granito 10 % com fibra 3 %), devido apresentar melhor desempenho mecânico quando comparado às outras frações de resíduo e fibra no compósito.

Com bases nas análises das micrografias da superfície de fratura do corpo de prova presente na Figura 5, em diferentes aumentos, nota-se a presença de descolamento da fibra matriz (*pull out*) (seta amarela), além da existência de fibras de sisal rompidas (setas pretas) e aglomerados de resíduo na superfície amostral. Fenômenos esses que implicam na resistência mecânica do material.

Figura 5 - Fractografia do compósito MG10F3: aumento de x50 (a) e aumento de x80 (b)



4 CONCLUSÃO

A análise mineralógica realizada foi eficiente para evidenciar as fases cristalinas presentes nos resíduos de mármore e granito.

Com base no comportamento físico dos compósitos observa-se que houve um aumento na propriedade de massa específica do compósito de mármore e granito 20 % com fibra 3 %, bem como uma variação nos valores para as propriedades de porosidade aparente e absorção de água dos compósitos estudados.

Em relação ao comportamento à tração dos compósitos, pode-se dizer que a fração de mármore e granito 10 % com fibra 3 % obteve diferenças significativas no desempenho mecânico quando comparado às demais frações de resíduo e fibra, contudo se manteve estatisticamente semelhante à matriz plena.

A análise da superfície de fratura foi eficiente para identificar os fenômenos de falha presentes nos materiais como *pull-out* e fibras rompidas.

Dessa forma infere-se que a reciclagem do resíduo de mármore e granito e fibra de sisal possuem potenciais utilizações como carga em compósitos para revestimentos internos, no qual a reutilização do resíduo, especificadamente, sinaliza bons impactos econômicos e ambientais.

REFERÊNCIAS

ASTM D 2734. **Standard Test Method for Water Absorption of Plastics**. Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, 2009.

ASTM D 3039. **“Standard Test Method for Tensile Properties of Plastic (Metric)”**. Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, EUA, 2017.

ASTM D 570. **Standard Test Method for Water Absorption of Plastics**. Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, 1998.

ASTM D 792. **Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement**. Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, 2008.

BEZERRA, Francisco Diniz. **Rochas ornamentais: Novas perspectivas de investimento**. ETENE Nº 21, 2017.

BRUKER. **Fontes de raios X**, 2019 Disponível em: <<https://www.bruker.com/pt/products/x-ray-diffraction-and-elemental-analysis/x-ray-diffraction/components/xrd-components/sources.html>>. Acesso em 15 de outubro de 2019.

CALLISTER JR, W.; RETHWISCH, D. **Ciência e Tecnologia de Materiais: Uma Introdução**. Tradução Sergio Murilo Stamile Soares. 9ª Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

CHIODI, Filho Cid; RODRIGUES Eleno Paula. **Guia de aplicação de rochas em revestimento**, 2009.

COSTA, Deibson Silva da. **Estudo da influência de resíduos gerados pela indústria de mineração nas propriedades de compósitos matriz poliéster reforçados com fibras naturais**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia- Belém, 2016.

RODRIGUES, Diego Nery. **Influência da adição de resíduo de mármore e granito em compósitos de matriz polimérica reforçados com fibra de coco**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, 2016.

SANTOS, I. F. *et al.* **Reciclagem de resíduos de mármore e granito em matrizes poliméricas**. XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química-COBEQ, 2014.

SPALA, S. T. *et all.* **Caracterização tecnológica de resíduos de beneficiamento de rochas ornamentais para seu uso em concreto**. XXV Jornada de Iniciação Científica em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação, 2017.