



REUTILIZAÇÃO DE POLIESTIRENO (COPO DESCARTÁVEL) E DE CELULOSE (FILTRO DE CAFÉ) EM COMPÓSITOS POLIMÉRICOS

Dias, R.Y.C.¹; Soares, R.V.²; Rocha, T.O.S.³; Junior, W.G.P.⁴; Maia, P.V.M.⁵;
Fujiyama⁶, R.T.

Universidade Federal do Pará – Instituto de Tecnologia

Faculdade de Engenharia Mecânica, 66075-110, Belém – PA

yuricostad@gmail.com¹, vilhenarafael007@gmail.com², thosmane6@gmail.com³,
wpaschoal.jr@gmail.com⁴, eng.pedromendonca@hotmail.com⁵,
fujiyama.ufpa@gmail.com⁶

RESUMO

É crescente a demanda por novos materiais que possuam determinadas propriedades que atendam a solicitações específicas na área das engenharias, além do crescimento exponencial da comercialização de bens de consumo é verificado também um alto índice de descarte de resíduos. Portanto, o presente trabalho visa avaliar o comportamento mecânico de compósitos de matriz poliéster reforçados por filtro de café pós-consumo e poliestireno (PS), proveniente de copos descartáveis. Para a fabricação foram utilizados moldes de silicone padronizados a partir da norma ASTM D638 e resina poliéster. Os materiais de reforço foram utilizados da seguinte forma: 100% PS, 100% filtros cortados nas dimensões da norma. Os corpos de prova foram submetidos a ensaios de resistência à tração, para a obtenção de suas propriedades. Os valores médios de resistência à tração para os compósitos reforçados por 100% PS e 100% filtro na dimensão da norma foram, respectivamente: 19,53 MPa ($\pm 5,21$) e 17,91 MPa ($\pm 2,58$).

Palavras-chave: Descarte de resíduos, novos materiais, propriedades.

INTRODUÇÃO

Diante do panorama do consumo global, verifica-se o crescimento acelerado de bens de consumo, agregado a este fato, tem-se uma produção de resíduos

elevada, tais substratos, muitas vezes são descartados de maneira irregular, além disso, também é avaliado o desenvolvimento tecnológico a partir das demandas atuais por novos materiais. Tais circunstâncias são relacionadas com a valorização da sustentabilidade, tendo em vista a disponibilidade de recursos e os impactos ambientais pelo acúmulo de resíduos (1).

Dentre os materiais amplamente consumidos mundialmente, plásticos se destacam pela sua versatilidade e evolução quanto a aplicabilidade e propriedades mecânicas. Nesse sentido, tem-se a produção e o consumo em larga escala de materiais plásticos. Entretanto, também são avaliados o descarte inadequado destes materiais, bem como o elevado tempo para sua degradação e o baixo rendimento de sua reciclagem (2).

Avalia-se que apesar do Brasil apresentar uma evolução no que tange coleta seletiva, com avanços na reciclagem, ainda há uma defasagem na educação ambiental. Pereira & Curi, 2012 (3) apresentam a ideia da perpetuação de que a cidadania dos indivíduos estava relacionada ao seu consumo e na obtenção de produtos, dessa forma, agravando a poluição nos ambientes sociais.

Diante deste contexto, questões ambientais têm tido grande relevância na atualidade, sob um viés perspectiva preservacionista, diante da imprudência na conservação dos recursos naturais. O resultado culminou em problemas ambientais verificados ao redor do mundo.

Assim, almeja-se a obtenção de materiais alternativos, proveniente de fontes naturais, renováveis ou do aproveitamento de resíduos, siando a substituição de materiais convencionais. Nesta pauta, o estudo na área dos compósitos tem apresentando grande relevância na utilização de substratos sem funcionalidade.

Um compósito pode ser definido como um material multifásico, formado pela combinação de componentes distintos, os quais apresentam características distintas. Costumeiramente esta classe de materiais é dividida em duas fases, matriz e reforço (4). A matriz tem como função promover a distribuição de tensões provenientes de carregamentos externos, enquanto o reforço contribui na resistência mecânica do compósito (5).

É crescente a utilização de compósitos reforçados por fibras naturais, a partir da valorização de um ideal sustentável (6). Vislumbra-se a de fibras sintéticas, de tal modo a reduzir de impactos ambientais e reduzir custos (7).

O aproveitamento de materiais também tem sido amplamente abordado, visa-se apresentar uma mescla entre rendimento mecânico e sustentabilidade. Pesquisas já foram produzidas visando a utilização de resíduos de madeira e de café conhecido como borra, além da utilização de fibras naturais.

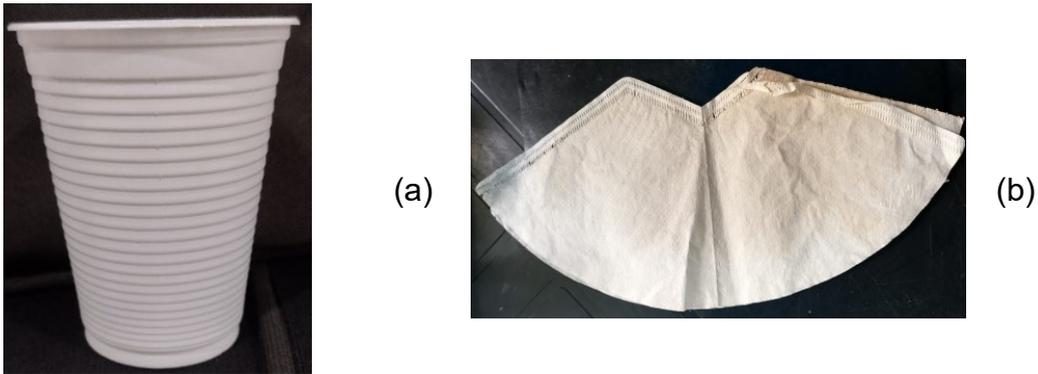
Ferreira *et al.*, 2021 (8) produziram pesquisa utilizando resíduos de café como reforço em compósito de matriz polimérica isoftálica e obteve os valores médios de resistência à tração de: 17,06 (\pm 2,12) MPa e 13,13 (\pm 3,38) MPa para 10% e 20% de fração mássica de reforço. Enquanto, Santos *et al.*, 2018 (9) objetivaram a confecção de compósitos poliméricos de matriz poliéster reforçados com diferentes resíduos de madeira na forma de lascas: marupá, maracatiara e angelim pedra, obtendo, respectivamente, os valores médios de resistência: 9,43 (\pm 1,71) MPa, 9,17 (\pm 1,52) MPa, e 8,81 (\pm 0,97) MPa, para uma mesma fração mássica de 12,68. Maia *et al.*, 2024 (10) avaliou a resistência mecânica de compósito de resina poliéster tereftálica e reforço de resíduo de madeira na forma de pó teve como resultado médio de resistência à tração 11,76 (\pm 1,70) MPa. Apesar de não existir uma variedade de pesquisas utilizando PS proveniente de copos descartáveis, de Jesus, 2014 (11) utilizou PS reciclado e obteve um valor médio de tensão a partir de teste de resistência à tração de 29,72 (\pm 2,01) MPa.

Portanto, o presente trabalho visa avaliar o comportamento mecânico de compósitos de matriz poliéster reforçados por filtro de café pós-consumo e poliestireno (PS), proveniente de copos descartáveis. Para tal avaliação, foram fabricados corpos de prova padronizados a partir da norma ASTM D638, com matriz de resina poliéster. Os materiais de reforço foram utilizados da seguinte forma: 100% PS, 100% filtros cortados nas dimensões do molde. Os corpos de prova foram submetidos a ensaios de tração para obtenção de suas propriedades.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais necessários para a confecção dos corpos de prova foram cedidos pelo Laboratório de Materiais Compósitos (LABCOM) da Universidade Federal do Pará (UFPA), campus Belém. O Poliestireno (PS) foi obtido a partir do reaproveitamento de corpos descartáveis e conforme apresentado na figura 1 (a), enquanto a figura 1 (b) ilustra um dos filtros de café reutilizados, ambos selecionados como reforço do compósito.

Figura 1. (a) Copo descartável (poliestireno) (b) Filtro de café



Os corpos de prova foram fabricados utilizando moldes de silicone com dimensões estipuladas pela norma ASTM D638, as cotas estão apresentadas na figura 2. Os materiais de reforço foram utilizados em diferentes formatos, os copos foram triturados para a obtenção de PS particulado com geometria aleatória, conforme figura 3 (a), enquanto os filtros de café foram cortados de acordo com as dimensões da norma, sendo visualizado os resultados do processo na figura 3 (b). Foram quantificadas as massas de reforço necessárias: 4,25 g e 0,96 g para, PS e Filtro de café.

Figura 2. Dimensões do corpo de prova a partir da norma ASTM D638

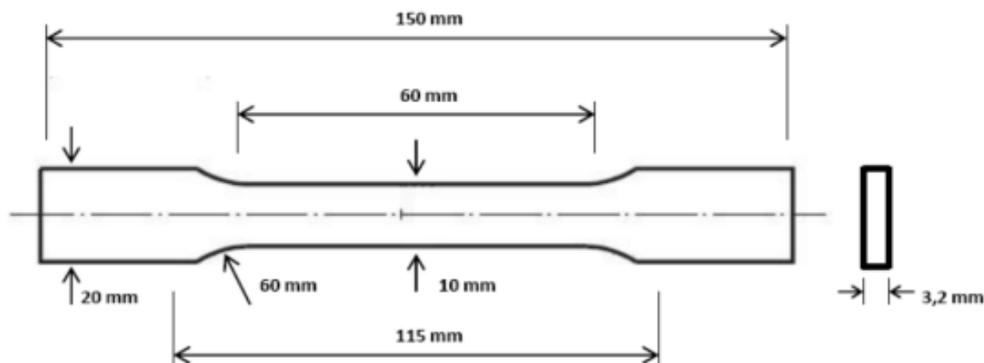


Figura 3. (a) Poliestireno (PS) Particulado (b) Filtros de café padronizados com as dimensões da norma ASTM D638



(a)



(b)

A matriz selecionada para a confecção do compósito foi resina poliéster tereftálica insaturada pré-acelerada, na quantidade de 61,5 g, valor obtido a partir de experimentos anteriores para quantificar a quantidade necessária de resina para o preenchimento de um molde, e para acelerar o processo de cura do material foi utilizado o catalisador MEK V388. A proporção foi de, aproximadamente, 0,3 g de catalisador, equivalente a 0,5% da quantidade de matriz presente no compósito. Diante disso, as frações mássicas dos compósitos foram: 6,43% e 1,53% para os compósitos reforçados por PS e filtro, respectivamente. A figuras 4 (a) e 4 (b) ilustram, respectivamente, a resina utilizada e o catalisador.

Figura 4. (a) Resina poliéster (b) catalisador MEK



(a)

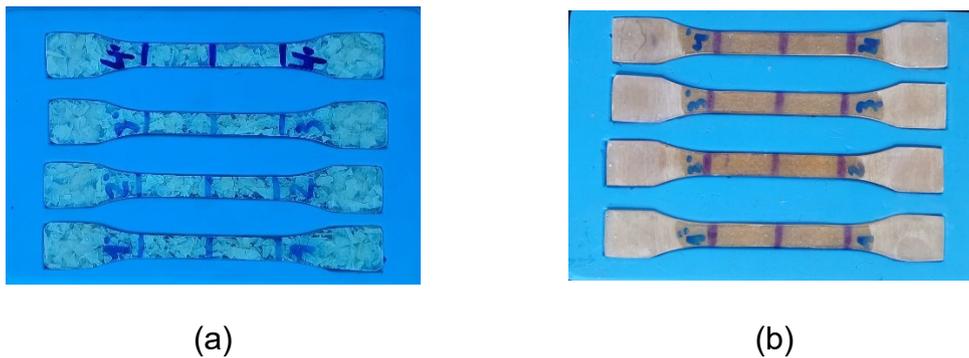


(b)

Os corpos de prova com as diferentes composições de reforço foram fabricados, utilizando 100% PS particulado e 100% filtros cortados nas dimensões do molde. Para a confecção dos compósitos com reforço particulado, o procedimento de

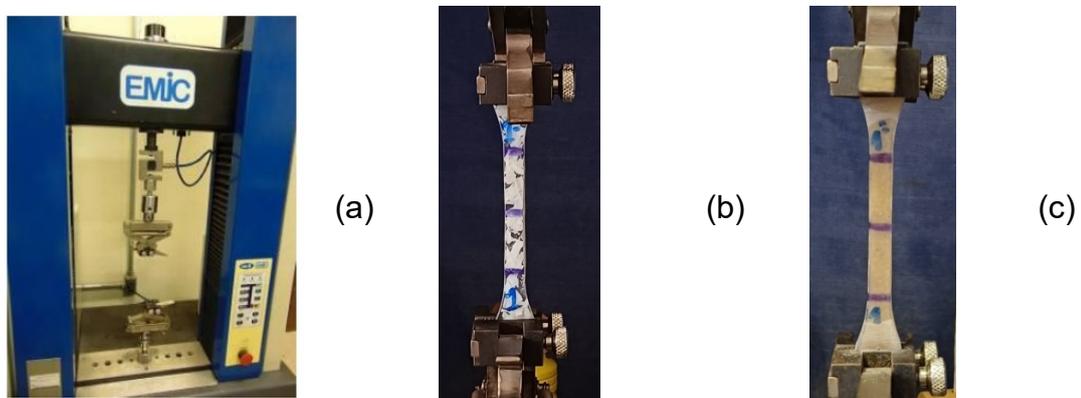
vazamento nos moldes consistiu em separar a quantidade de resina necessária em determinado recipiente, adicionar a quantidade de catalisador estipulada, promover a mistura destes componentes, adicionar o reforço, misturar novamente e executar o vazamento. As figuras 5 (a) e 5 (b) os resultados da fabricação dos corpos de prova.

Figura 5. Corpos de prova com reforços de (a) 100% PS (b) 100% filtros cortados nas dimensões do molde



De posse dos corpos de prova plenamente solidificados, estes foram submetidos a ensaios de resistência à tração realizados na máquina universal modelo EMIC DL 10000, apresentando os seguintes parâmetros de execução: 5 kN célula de carga a uma velocidade de 5 mm/ min, de acordo com a norma ASTM D638 a figura 6 (a) apresenta a máquina, enquanto as figuras 6 (b) e 6 (c) ilustram um dos ensaios realizados para os compósitos reforçados por filtro de café e PS, respectivamente.

Figura 6. (a) Máquina universal de ensaios e ilustração de realização dos testes para os compósitos reforçados por (b) PS e (c) Filtro



RESULTADOS E DISCUSSÃO

Lixas foram fixadas nas extremidades dos corpos de prova, visando evitar escorregamentos durante os ensaios. Após a realização dos testes foi verificado que os corpos de prova apresentaram falha, região do comprimento útil, sendo assim, validando os resultados do ensaio. A figura 7 (a) e 7 (b) representam, respectivamente, as fraturas de corpos de prova dos compósitos reforçados por filtro de café e PS.

Figura 7. Fratura no comprimento útil dos corpos de prova com reforço de (a) PS e (b) Filtro



(a)



(b)

Em se tratando da técnica de laminação manual, sendo esta, integralmente artesanal, há uma maior probabilidade da ocorrência de defeitos nos materiais, sendo mais comum a presença de vazios, isto é, pontos nos quais não houve o preenchimento de material, nesse caso, devido a presença de bolhas resultantes da reação de cura, estas acabam retidas em pontos específicos do compósito. Tais defeitos podem reduzir consideravelmente a eficiência mecânica do material, tendo em vista que podem atuar como concentradores de tensão.

Estes concentradores são áreas ou pontos nos quais ocorrem acúmulo de tensão, tal ocorrência se dá por conta de fatores como: irregularidades na superfície, descontinuidades, entalhes, furos, dentre outros, o concentrador tua de forma a facilitar o surgimento e propagação de trincas, tendo em vista que, neste caso, tratam-se de pontos nos quais não há material para resistir ao esforço externo (12, 13). A

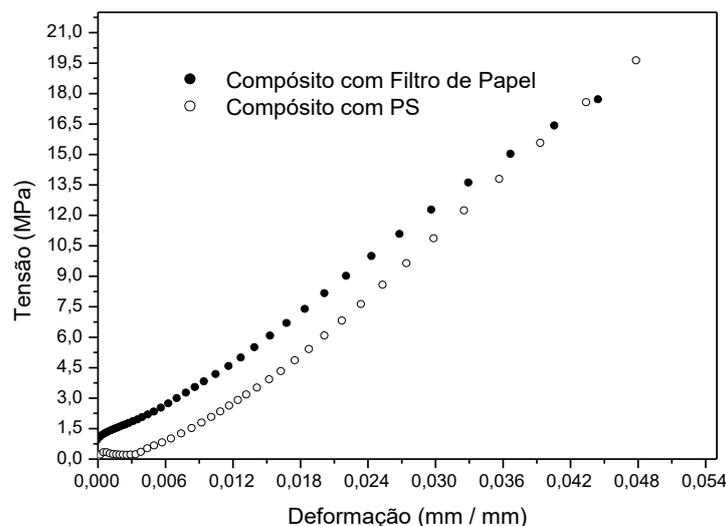
tabela 1 apresenta a média das propriedades mecânicas dos materiais obtidas após os ensaios.

Tabela 1. Resultados do ensaio

| Material | Tensão (MPa) | Deformação (mm/mm) | Módulo de Elasticidade (MPa) |
|-------------|---------------------|----------------------|------------------------------|
| 100% PS | 17,91 (\pm 2,58) | 0,049 (\pm 0,027) | 439,90 (\pm 36,07) |
| 100% filtro | 19,53 (\pm 5,21) | 0,056 (\pm 0,010) | 452,72 (\pm 38,95) |

A partir da análise do desvio padrão, observa-se que compósito polimérico reforçado por filtro de café apresentou maior variabilidade na sua tensão na carga máxima. Também, verifica-se que o uma resistência à tração média, aproximadamente, 8,3% maior em relação ao compósito polimérico reforçado pelo PS triturado. Além de apresentar maiores deformação na carga máxima e rigidez. A faixa de deformação utilizada para o cálculo do módulo de elasticidade foi de 0,012 a 0,030 para ambos os compósitos. A figura 8 apresenta as curvas Tensão x Deformação representativas dos compósitos fabricados.

Figura 8. Gráfico Tensão x Deformação dos compósitos poliméricos reforçados por Filtro de café e PS triturado



Verifica-se que os dados obtidos e apresentados na tabela 1 estão de acordo com o comportamento das curvas apresentadas na figura um. Observa-se certa semelhança no comportamento Tensão x Deformação dos compósitos, bem como a linearidade a partir da zona de reologia. A tabela 2 apresenta a comparação percentual entre o valor médio de resistência à tração dos materiais do presente trabalho e os da literatura, nos quais valores positivos indicam que o material do presente trabalho superou a resistência do material da literatura apresentada, enquanto os valores negativos indicam a não superação da resistência. Devido a escassez de trabalhos com estes tais materiais apresentados, foram utilizadas pesquisas semelhantes na área.

Tabela 2. Comparação percentual entre os valores de literatura e o do presente trabalho

| Material | Fração mássica (%) | Tensão máxima (MPa) | Variação (%) | | Autor |
|--------------------------|--------------------|---------------------|--------------|--------|-------------------------------|
| | | | F | PS | |
| Resíduo de café | 10 | 17,06 (\pm 2,78) | +12,64 | +4,74 | Ferreira <i>et al.</i> , 2021 |
| Resíduo de café | 20 | 13,13 (\pm 0,44) | +32,77 | +26,68 | Ferreira <i>et al.</i> , 2021 |
| Resíduo de Marupá, | 12,68 | 9,43 (\pm 1,71) | +51,71 | +47,34 | Santos <i>et al.</i> , 2018 |
| Resíduo de Maracatiara | 12,68 | 9,17 (\pm 1,52) | +53,04 | +48,79 | Santos <i>et al.</i> , 2018 |
| Resíduo de Angelim Pedra | 12,68 | 8,81 (\pm 0,97) | +54,88 | +50,80 | Santos <i>et al.</i> , 2018 |
| Resíduo de Jatobá | 11,33 | 11,76 (\pm 1,70) | +39,78 | +34,33 | Maia <i>et al.</i> , 2024 |
| PS reciclado | - | 29,72 (\pm 2,01) | -52,17 | -65,94 | De Jesus, 2014 |

| | | | | | |
|-------------------|------|---------------------|---|---|---------|
| Poliestireno (PS) | 6,43 | 17,91 (\pm 2,58) | - | - | O autor |
| Filtro (F) | 1,53 | 19,53 (\pm 5,21) | - | - | O autor |

Não foram encontradas literaturas específicas da utilização de compósitos poliméricos reforçados por celulose na forma de filtro de café e por poliestireno (PS) proveniente de copos descartáveis triturados. A partir da análise da tabela 2, verifica-se que para a maioria dos materiais apresentados, com uma fração de reforço ligeiramente menor, houve a superação dos valores médios de resistência à tração, variando de +4,74% para o compósito reforçado com PS até +54,88% para o compósito reforçado por filtro de café.

CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o comportamento mecânico de compósitos de matriz poliéster reforçados por filtro de café pós-consumo e poliestireno (PS), proveniente de copos descartáveis. Foram obtidos os valores médios de resistência à tração de 17,91 (\pm 2,58) MPa e 19,53 (\pm 5,21) MPa, para os reforços de PS e filtro, respectivamente. Os resultados apresentaram superaram a maior parte dos valores encontrados em pesquisas semelhantes na literatura.

O aproveitamento de resíduos é de grande relevância na atualidade, visando redução de impactos ambientais, valorização de um ideal sustentável e objetivando gerar valor agregado a materiais que não apresentariam mais funcionalidade. Sendo assim, pesquisas com tal direcionamento são necessárias na tentativa de serem produzidos novos materiais competitivos, no caso do presente trabalho, vislumbra-se aprimoramento dos materiais produzidos para serem aplicados estruturalmente suportando cargas de baixa intensidade.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio da PROPESP/UFPA pela bolsa de Iniciação Científica, Faculdade de Engenharia Mecânica-UFPA, Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica-UFPA e a CAPES e CNPq.

REFERÊNCIAS

- 1- FARUK, O., BLEZKI, A. K., FINK, H. P., Sain, M. Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010. *Progress in Polymer Science*, v. 37, n. 11, p. 1552-1596, 2012.
- 2- BOTAN, R., NOGUEIRA, T. R., LONA, L. M. F., “Síntese e caracterização de nanocompósitos de po-liestireno/hidroxissal lamelar”, *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v. 37, n. 01, pp. 18-21, 2014.
- 3- PEREIRA, S. S., CURI, R. C (2012). Meio ambiente, impacto ambiental e desenvolvimento sustentável: conceituações teóricas sobre o despertar da consciência ambiental. *Reunir Revista de Administração Contabilidade e Sustentabilidade*, 2, (4), 35-57.
- 4- CALLISTER JÚNIOR, W. D; RETHWISCH, D. G., 2018. *Ciência e Engenharia dos Materiais - uma Introdução*. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC.
- 5- MARINUCCI, G., 2011. *Materiais compósitos poliméricos: fundamentos e tecnologia*. São Paulo: Artliber.
- 6- KOTIK, H. G., 2019. “Fibras naturais e compósitos reforçados com fibras naturais: a motivação para sua pesquisa e desenvolvimento”. *Revista Matéria*, v. 24, n.3.
- 7- MAHIR, F. I., KEYA, K. N., SARKER, B., NAHIUN, K. M., KHAN, R. A., 2019. “A brief review on natural fiber used as a replacement of synthetic fiber in polymer composites”. *Materials Engineering Research*, v. 1, n. 2, pp. 86-97.
- 8- FERREIRA, V. H. M. M., SANTOS, E. E. S., EL BANNA, W. R., COSTA, D. S., DA COSTA, D. S., 2021. Uso da borra de café em compósitos poliméricos: tração e flambabilidade. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v.7, n.5, p.45242-45249.
- 9- SANTOS, R.; RIBEIRO, M. M.; FUJIYAMA, R. T.; BRANCO, C. T. N. M.. Placas laminadas de compósito poliéster, tecido de juta e resíduos de madeira. *ESTUDOS TECNOLÓGICOS (ONLINE)*, v. 12, p. 68-77, 2018.
- 10- MAIA, P. V. M. ; DIAS, R. Y. C. ; SOARES, R. V. ; MENDONCA, A. G. S. ; SILVA, S. C. ; FUJIYAMA, R. T. . Polyester and Hymenaea Courbaril Residue for Sustainable Composite Manufacturing'. *RGSA (ANPAD)*, v. 18, p. 01-11, 2024.
- 11- DE JESUS, L. C. C. (2014). Obtenção e caracterização de compósitos de poliestireno expandido pós-consumo reforçados com celulose de bagaço de

cana-de-açúcar (Dissertação de Mestrado). Universidade de Brasília.

12- NASSEH, J., 2021. Processo de infusão à vácuo em composites. Rio de Janeiro: Barracuda Advanced Composites.

13- NORTON, R. (2020), "Machine design: An integrated approach". 6°ed., Upper Saddle River, Pearson.

REUSE OF POLYSTYRENE (DISPOSABLE CUP) AND CELLULOSE (COFFEE FILTER) IN POLYMER COMPOSITES

ABSTRACT

There is a growing demand for new materials that have certain properties that meet specific demands in the area of engineering, besides the exponential growth of the commercialization of consumer goods, a high rate of waste disposal is also observed. Therefore, the present work aims to evaluate the mechanical behavior of polyester matrix composites reinforced by post-consumer coffee filter and polystyrene (PS), from disposable cups. For the manufacture were used standardized silicone molds from ASTM D638 and polyester resin. The reinforcement materials were used as follows: 100% PS, 100% filters cut to standard dimensions. The specimens were subjected to tensile strength tests, to obtain their properties. The average tensile strength values for composites reinforced by 100% PS and 100% filter in the standard dimension were, respectively: 19.53 MPa (± 5.21) and 17.91 MPa (± 2.58).

Keywords: Waste disposal, new materials, properties.