

## CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DO COMPÓSITO POLIMÉRICO: POLIESTIRENO (PS) RECICLADO COM FIBRA DE CANA-DE-AÇÚCAR

Daniel Fernando da Silva<sup>1</sup>, Cristiane Marques de Freitas Loiola<sup>2</sup>, Matheus Azevedo Prado<sup>3</sup>,  
Antonino Custódio Martins Júnior<sup>4</sup>

### Resumo

Este artigo objetivou analisar as características mecânicas do compósito polimérico poliestireno (PS) reciclado com adição da fibra da cana-de-açúcar e compará-las com as características mecânicas do PS puro definidas em literatura, a fim de evidenciar a importância de pesquisas nesta área, e também do desenvolvimento de novos compósitos poliméricos com fibras vegetais, com o propósito de diminuir os impactos ambientais ocorridos devido ao descarte constante deste material no meio ambiente. Para a caracterização mecânica do novo compósito polimérico formado, foram fabricados 3 corpos de prova (CP) com o PS reciclado e 3 corpos de prova do compósito formado entre o PS reciclado e a fibra de cana-de-açúcar, logo após foram feitos os ensaios de tração para a obtenção dos valores de tensão de ruptura máxima (Mpa) e do alongamento (%) para comparar com os valores dados em literatura do PS puro. Verificou-se que os valores obtidos das propriedades mecânicas não foram compatíveis com as do PS puro, visto que a ductilidade do PS reciclado se manteve proporcional a do PS puro. Conclui-se que não é indicado o uso do compósito polimérico desenvolvido neste estudo em substituição ao PS puro para determinados projetos.

**Palavras-chave:** Propriedades mecânicas. Compósitos. Caracterização mecânica. Fibras Vegetais.

### Abstract

This article aimed to analyze the mechanical characteristics of recycled Polymeric Polystyrene (PS) composite with addition of sugarcane fiber and to compare them with the mechanical characteristics of pure PS defined in literature, in order to highlight the importance of research in this area, and also the development of new polymeric composites with vegetable fibers, in order to reduce the environmental impacts due to the constant disposal of this material in the environment. For the mechanical characterization of the new polymer composite, three specimens (CP) were fabricated with the recycled PS and 3 specimens of the composite formed between the recycled PS and the sugar cane fiber, (Mpa) and elongation (%) values to compare with the values reported in the pure PS literature. It was verified that the obtained values of the mechanical properties were not compatible with those of the pure PS, since the ductility of the recycled PS remained proportional to the pure PS. It is concluded that the use of the polymer composite developed in this study is not indicated instead of pure PS for certain projects.

**Key words:** Mechanical Properties. Composites. Mechanical characterization. Vegetable Fibers.

<sup>1</sup> daniel\_fernando@univ.edu.br Universidade de Rio Verde, Faculdade de Engenharia Mecânica.

<sup>2</sup> cristiane.marques@univ.edu.br Universidade de Rio Verde, Faculdade de Engenharia Mecânica.

<sup>3</sup> matheus.azevedo@gmail.com Universidade de Rio Verde, Faculdade de Engenharia de Produção.

<sup>4</sup> salesecustodio@hotmail.com Universidade de Rio Verde, Faculdade de Engenharia de Produção.

## Introdução

Hoje em dia existe uma busca constante por materiais que apresentem vantagens, tais como, boa resistência à corrosão, resistência à deterioração por decomposição e microrganismos, baixo peso específico, resistência mecânica e facilidade de processamento. Tudo isso associado a baixos custos de aquisição e manutenção, proporcionou o desenvolvimento de materiais, dentre estes, destacam-se os polímeros (plásticos) devido à sua alta variedade (ABIPLAST, 2018).

Mano e Mendes (1999) definem que os plásticos são materiais sólidos à temperatura ambiente, porém quando aquecidos acima da temperatura de “amolecimento”, tornam-se fluidos e passíveis de serem moldados por ação isolada ou conjunta de calor e pressão.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2008) regulamenta os termoplásticos em siglas, são eles: Polietileno tereftalato - PET, Polietileno de alta densidade - PEAD, Policloreto de Vinila - PVC, Polietileno de baixa densidade - PEBD, Polipropileno - PP, Poliestireno - PS e outros. Sua simbologia é representada conforme Figura 1.



Figura 1 – Simbologia Técnica Brasileira de identificação de materiais plásticos segundo a Norma ABNT 133230  
Fonte: ABNT (2008).

Mano e Mendes (1999) ainda afirmam que termoplásticos são moldáveis a quente e possuem baixa densidade, boa aparência, são isolantes térmicos e elétricos, são resistentes ao impacto e possuem baixo custo, portanto, apresentam uma larga faixa de aplicações.

De acordo com Doak (1986), o poliestireno ou PS é um polímero que possui propriedades termoplásticas, podendo ser reprocessado diversas vezes, sendo utilizado para dissolver-se em vários solventes. Logo, sua reciclagem é possível, característica bastante desejável atualmente, sendo objeto de estudo deste trabalho a aplicação do PS juntamente a fibra da cana-de-açúcar.

A Associação Brasileira da Indústria do Plástico - ABIPLAST (1997) relata que o PS é produzido pelos monômeros de estireno, sendo sua comercialização estimulada exponencialmente nos últimos quinze anos no Brasil, conquistando um grande espaço na disputa pelo mercado de resinas termoplásticas. Devido, principalmente, às suas excelentes propriedades associadas ao seu baixo custo de produção e consequente aperfeiçoamento de seu processo de fabricação, o PS é um dos principais plásticos da atualidade, mudando seu antigo status de plástico de engenharia para commodity.

Mano e Mendes (1999) afirmam que o PS possui baixo custo, menor peso e boas propriedades elétricas (como baixa condutibilidade), transparência, alto brilho e boa resistência a alguns ácidos fortes. Suas propriedades podem ser verificadas conforme demonstra a Tabela 1:

Tabela 1 – Propriedades físicas, químicas e mecânicas do PS

Propriedade	PS
Tensão máxima de tração (Mpa)	35,9 – 51,7
Alongamento máximo (%)	1,2 - 2,5
Ponto de Fusão (°C)	240
Densidade kg/m <sup>3</sup>	1050

Fonte: Adaptado de Askeland e Wright (2015).

Os processos empregados na reciclagem de Polímeros recicláveis são relativamente simples, conforme o modelo de Schwantes (2006), ilustrado na Figura 2. Os aproveitamentos dos rejeitos industriais juntamente aos recursos ambientais agregam valor aos materiais, pois permitem a preservação do meio ambiente e propiciam um desenvolvimento sustentável. Nesse contexto, a reciclagem de polímeros, tal como o PS, faz-se essencial, haja vista que os recursos são finitos.

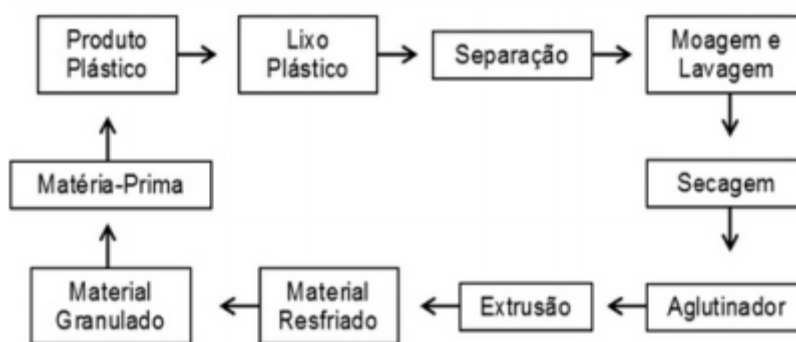


Figura 2 – Fluxograma de reciclagem do plástico

Fonte: Schwantes (2006).

Conforme afirma Bullionset *al.* (2006), a adição de fibras vegetais como reforços de compósitos poliméricos em termoplásticos tem sido desenvolvida nos últimos anos por parte dos vários pesquisadores no Brasil e no mundo, de maneira a contribuir para a preservação ambiental.

A primeira vantagem do uso de fibras vegetais é a introdução de propriedades desejáveis ao material final, além de um menor custo de processo e dos efeitos socioeconômicos. Segundo Carashi e Leão (2001), por serem recursos renováveis e biodegradáveis, as fibras vegetais vêm se destacando em novos segmentos de mercado, devido ao seu baixo custo, não possuir propriedades tóxicas e de suas ótimas propriedades

mecânicas. Entre as fibras vegetais que podem ser utilizadas nessa aplicação estão: sisal, juta, fibra de coco, fibra de bagaço de cana-de-açúcar, etc.

A cana-de-açúcar é de origem Indiana e é cultivada em vários países, mas com o passar do tempo houve uma expansão de sua cultura para o mundo todo. No Brasil a cultura da cana-de-açúcar foi introduzida após o seu descobrimento (PAIVA, 1997).

Mesmo sendo uma planta simples, hoje estão sendo feitos inúmeros investimentos para o seu cultivo, pois suas características ambientais e a competitividade exigem produtividade, com menores custos e impactos ao meio ambiente. Os altos números de áreas cultiváveis, além de solo fértil e altos índices de radiação solar, propiciaram a instalação de inúmeras usinas de processamento de cana-de-açúcar para fabricação de etanol na região estudada, gerando grande quantidade de resíduos de bagaço (CASTRO *et al*, 2007).

Este estudo objetivou analisar as características mecânicas do compósito Polimérico Poliestireno (PS) reciclado com adição da fibra da cana-de-açúcar e compará-las com as características mecânicas do material (PS) puro definidas em literatura, afim de evidenciar a importância de pesquisas na área e do desenvolvimento de novos compósitos poliméricos. De maneira específica, o artigo buscou verificar se o compósito demonstra tensão de ruptura igual ou superior ao PS puro e analisar, através de ensaios de tração, se a fibra de cana-de-açúcar adicionada ao PS reciclado tem propriedades mecânicas melhoradas ou inferiorizadas ao material puro, a fim de substituir o material puro em determinadas aplicações de projetos.

### Material e métodos

Esta pesquisa foi realizada no laboratório de fabricação da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade de Rio Verde e para este estudo foram utilizados os seguintes materiais: Poliestireno (PS) reciclado e fibra de cana-de-açúcar.

Para melhor entendimento da metodologia utilizada neste estudo, faz-se necessária a apresentação do fluxograma (Figura 3) abaixo, para se definir cada etapa desenvolvida.

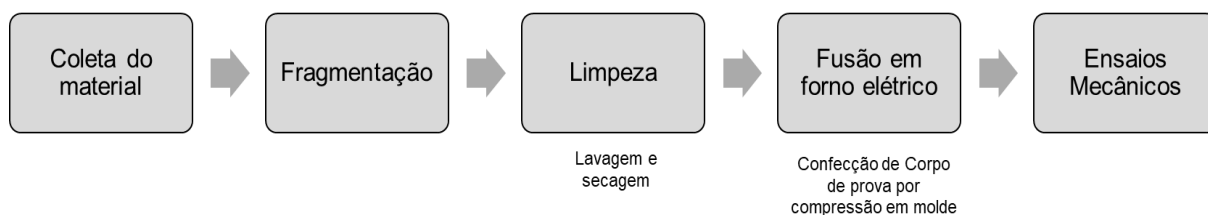


Figura 3 – Fluxograma da metodologia empregada no estudo  
Fonte: Próprios Autores (2018).

Para a preparação dos compósitos de PS com fibra de cana-de-açúcar, foram utilizados copos plásticos fabricados em Poliestireno oriundos de descarte. Após a coleta, os copos foram lavados em solução composta de água e detergente, e secados em temperatura ambiente. Em seguida, as amostras foram fragmentadas manualmente em dimensões de 1 x 1 cm (Figura 4), na tentativa de reduzir a granulometria do material e melhorar a homogeneidade da mistura do material compósito formado.



Figura 4 – Poliestireno cortado nas dimensões 1x1 cm  
Fonte: Próprios autores (2018).

As fibras de cana-de-açúcar (Figura 5) in natura foram obtidas a partir da lavagem com água e secagem a temperatura ambiente. Em seguida, as fibras passaram por um processo de retirada da umidade no forno, na temperatura de 40 °C, por cerca de 4 horas, para evitar a porosidade do corpo de prova a fim de melhorar a homogeneidade do compósito (plástico + fibra da cana-de-açúcar) facilitando, conseqüentemente, o processo de compressão do corpo de prova.



Figura 5 – Fibra de cana-de-açúcar in natura  
Fonte: Próprios autores (2018).

Para confecção dos corpos de prova, foi escolhido o processo de compressão. Foi fabricada uma matriz que obedeceu às dimensões padrão da norma americana ASTM D 638 (03) Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics (Padronização de métodos para testes e ensaios de propriedades de tração em plásticos), conforme ilustra a Figura 6.

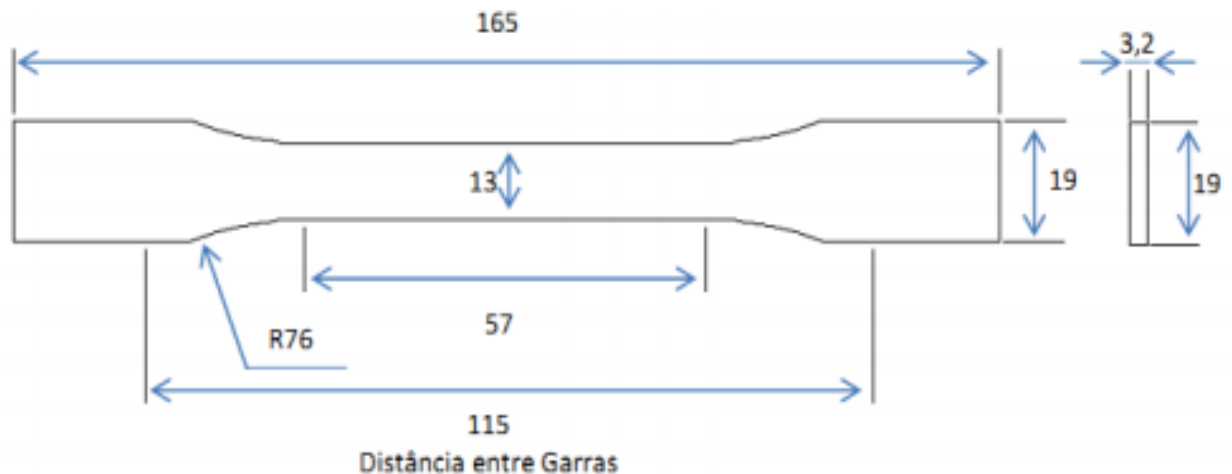


Figura 6 – Modelo Corpo de prova para ensaios de tração com plásticos segundo norma ASTM D 638-03  
Fonte: ASTM D 638-03 (2003).

A partir da matriz (Figura 7), o material picotado foi espalhado sobre o molde para a prensagem. Em seguida, o polímero foi prensado contra chapas metálicas aquecidas na Compressora térmica com aquecimento elétrico através de resistência de 2000 W e ajuste manual de temperatura, bem como do controle da pressão aplicada.



Figura 7 – Matriz corpos de prova  
Fonte: Próprios autores (2018).

Foram obtidos 3 corpos de provas utilizando o material PS reciclado no peso de 80 g (quantidade média necessária para preenchimento do molde), conforme ilustra a Figura 8. Foram confeccionados também 3 corpos de provas com o material compósito, com a adição da fibra do bagaço da cana-de-açúcar nas proporções de 10%, totalizando 80 g de PS reciclado e 8g de fibras, medidas em balança eletrônica disponibilizada no laboratório. Para melhor aglutinação do corpo de prova compósito (Figura 9), foram feitas 3 camadas de PS reciclado e três camadas de fibra de cana-de-açúcar.



Figura 8 – Corpo de prova Poliestireno reciclado  
Fonte: Próprios autores (2018).



Figura 9 – Corpos de prova material compósito  
Fonte: Próprios autores (2018).

O material foi fabricado em uma compressora plástica na temperatura de 245 °C, cinco graus acima do seu ponto de fusão (240 °C). Em seguida, o material ficou em descanso com a máquina desligada até atingir a temperatura de 45 °C para ser retirado do molde. A temperatura adotada difere-se do que se é estabelecido em literatura devido ao estudo trabalhar com material em sua forma reciclada, o qual muitas vezes tem sua propriedade térmica alterada devido à adição de corantes de pigmentação durante o processamento industrial.

Dalcin (2007) afirma que o ensaio de tração consiste na aplicação de carga de tração uniaxial crescente em um corpo de prova específico até a ruptura. Trata-se de um ensaio amplamente utilizado na indústria de componentes mecânicos, devido às vantagens de fornecer dados quantitativos das características mecânicas dos materiais. Os ensaios de tração e flexão permitiram avaliar os corpos de prova através de uma MÁQUINA DE ENSAIO UNIVERSAL Oswaldo Filizola BME capacidade 20 kN (Figura 10). Foram comparados com a literatura a deformação sofrida pelo corpo de prova (em %) e o limite de resistência a ruptura (tensão máxima em Mpa) com os desvios padrões respectivos.



Figura 10 –Máquina de Ensaio  
Fonte: Próprios autores (2018).

## Resultados

Para a discussão dos resultados, foram gerados os gráficos dos ensaios de tração. No primeiro gráfico (Figura 11), apresenta-se os dados de três corpos de prova identificados como CP1, CP2 e CP3, fabricados em PS reciclado. Para melhor visualização dos valores



obtidos, demonstra-se na Tabela 2 os valores de Resistência à tração na ruptura (Mpa), Alongamento (%) e também os cálculos estatísticos (média, desvio padrão e variância) entre os CP1, CP2 e CP3.

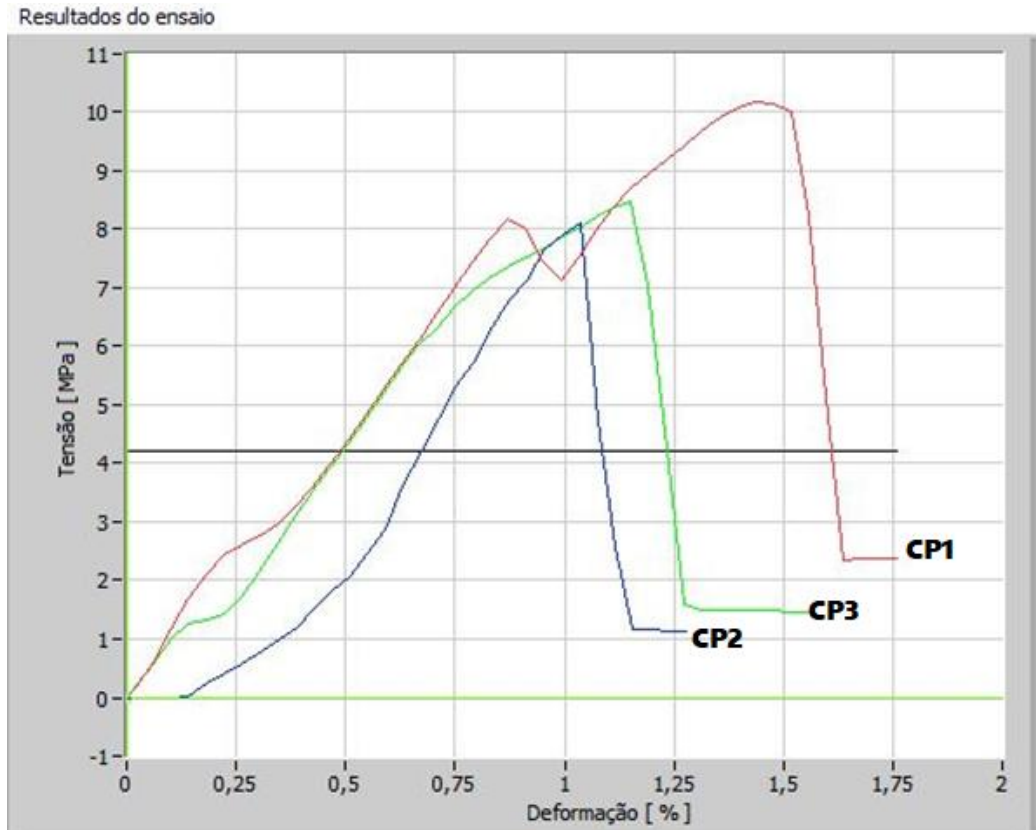


Figura 11 – Gráfico tensão x deformação (Material reciclado)

Fonte: Próprios autores (2018).

Tabela 2 – Resultados do ensaio de tração do PS reciclado

Propriedade	Literatura PS	CP1	CP2	CP3	Média	Desvio Padrão	Variância
Resistência à tração na ruptura (Mpa)	35,9-51,7	10,000	8,101	8,462	8,854	1,009	1,017
Alongamento (%)	1,2-2,5	1,517	1,036	1,152	1,235	0,251	0,063

Fonte: Próprios autores (2018).

Os resultados da Tabela 2 mostram que a média da resistência à tração na ruptura do PS reciclado foi igual a 8,854 Mpa, abaixo do campo de tolerância (35,9 - 51,7 Mpa) definido em literatura de um PS puro, mas em relação ao alongamento (%) o PS reciclado apresentou características dentro da tolerância (1,2 – 2,5) de um PS puro, com isso, obtendo uma ductilidade dentro da margem de tolerância de um PS puro. Observou-se também que inúmeros fatores podem ter contribuído para o material não ter atingido os valores de resistência à tração na ruptura (Mpa) estabelecidos em literaturas, dentre os

quais se pode destacar a quantidade de vezes que o material foi reprocessado, a presença de contaminantes no material e o procedimento utilizado na moldagem, que podem ter influenciado na queda da tensão de ruptura, tornando o PS reciclado mais frágil que o PS virgem.

Os testes dos corpos de prova do material compósito tiveram seus resultados demonstrados no Gráfico da Figura 12 e também na Tabela 3, na qual são representados os valores de resistência à tração na ruptura (Mpa) e alongamento (%) dos Corpos de prova CP4, CP5 e CP6.

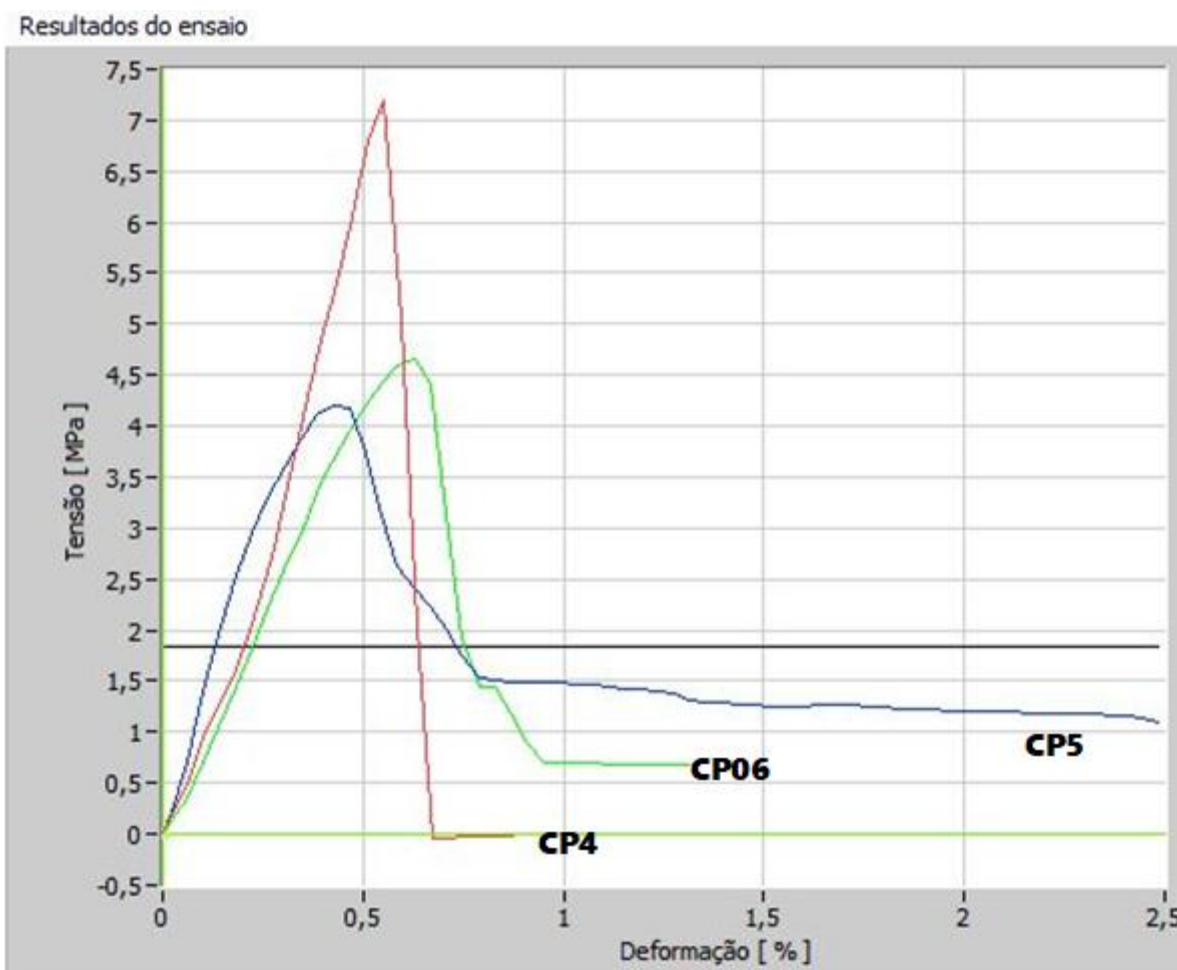


Figura12 – Gráfico tensão x deformação (Material Compósito).

Fonte: Próprios autores (2018).

Propriedade	Literatura PS	CP4	CP5	CP6	Média	Desvio Padrão	Variância
Resistência à tração na ruptura (Mpa)	35,9-51,7	7,187	4,183	4,663	5,345	1,614	2,605
Alongamento (%)	1,2-2,5	0,553	0,465	0,627	0,548	0,081	0,07

Tabela 3 – Resultados dos ensaios de tração do PS compósito.

Fonte: Próprios autores (2018).

Quanto ao compósito polimérico formado entre o PS reciclado e a fibra de cana-de-açúcar, representados pelos CP4, CP5 e CP6, pode-se analisar que em relação à resistência à tração na ruptura, este apresentou valor médio (5,345 Mpa) inferior à tolerância (35,9Mpa – 51,7 Mpa) de um PS puro definido em literatura, demonstrando que o material ficou frágil quando tracionado. Quanto ao alongamento do material compósito formado, pode-se analisar que este também teve um alongamento inferior ao valor tolerado para um PS puro, ou seja, o compósito formado possui uma ductilidade menor do que a do material puro.

Percebeu-se que o PS reciclado apresentou resultados melhores que o material compósito e maior uniformidade dos dados, pois seu desvio padrão foi menor que o do material compósito. Um dos fatores que podem ter influenciado nos resultados foi a porosidade apresentada pelo compósito polimérico formado.

### **Conclusões**

Dentro da proposta de obtenção e caracterização mecânica de um compósito polimérico feito com PS reciclável e fibra de cana-de-açúcar, pôde-se analisar que os corpos de provas formados pelo PS reciclado e pelo compósito polimérico (PS reciclado + fibra de cana-de-açúcar) não tiveram propriedades mecânicas compatíveis em relação ao PS puro. Vale destacar que a única propriedade compatível foi o alongamento (%) do PS reciclado em relação ao PS puro, podendo o PS reciclado substituir em projeto o PS puro, quando o projeto exigir ductilidade do material, mas de maneira geral não é aconselhável o uso do compósito polimérico formado na substituição de projetos que exigem materiais com características mecânicas de um PS puro.

As dificuldades do trabalho concentraram-se no uso da máquina (compressora plástica) que limitou a fabricação do número superior de corpos de prova e, conseqüentemente, a obtenção de dados estatísticos mais específicos. Sugere-se para estudos futuros o uso do processo de extrusão plástica para a fabricação e análise de um maior número de corpos de provas.

### **Agradecimentos**

A Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade de Rio Verde (UniRV) pela disponibilização dos recursos físicos do Laboratório do Bloco VII.

### **Referências**

ABIPLAST - Associação Brasileira da Indústria do Plástico. Disponível em: <<http://www.abiplast.org.br/>>. Acesso em 12 de maio de 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 13230:2008 - Embalagens e acondicionamento - plásticos recicláveis: Identificação e simbologia. Rio de Janeiro, 2008.

ASKELAND, D. R.; WRIGHT, W. J. Ciência e engenharia dos materiais. 2ª Ed, São Paulo, 2015.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. D638-03: Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics, 2003.

BRANCO, L. de M. Desenvolvimento de Metodologia para identificação do limite de escoamento em termoplásticos semicristalinos. 2015. Projeto de Graduação (Curso de Engenharia de Materiais) - Escola Politécnica - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2015

BULLIONS, T. A.; HOFFMAN, D.; GILLESPIE, R. A.; PRICE-O'BRIEN J.; LOOS, A. C. Contributions of either fibers and various cellulose fibers to the mechanical properties of polypropylene matrix composites. Composites Science and Technology 66 (2006) 102–114.

CARASHI, J. C.; LEAO, A. L. - Congresso Brasileiro de Polímeros, in: Anais do 6º Congresso Brasileiro de Polímeros, 2001, Gramado, RS., p.566, 2001.

CASTRO, S. S. DE; BORGES, R. O., SILVA, R. A. A., BARBALHO, M. G. S. Estudo da expansão da cana-de-açúcar no estado de Goiás: subsídios para uma avaliação do potencial de impactos ambientais. In SBPC, II Fórum de C&T no Cerrado. Goiânia: SBPC, 2007.

DOAK, K. W. – Ethylene Polymers. Em: Mark, H. M.; Bikales, N. M.; Overberg, C. G.; Menges, G. – Encyclopedia of Polymer Science and Engineering, John-Wiley & Sons, New York, Volume 6 (1986).

MANO, E. B.; MENDES, L. C; Introdução a polímeros, 2a ed., Edgard Blücher Ltda., São Paulo, 1999.

PAIVA, J. M. F. de. Compósitos Lignocelulósicos: Matrizes Poliméricas de Resina Fenólica Reforçadas com Fibras de Bagaço de Cana-de-açúcar. 1997. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia de Materiais). Instituto de Química de São Carlos (Área Interunidades), Universidade de São Paulo.

SCHWANTES, D. Reciclagem Química do PET proveniente de filtros industriais pós-consumo. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Centro de Ciências Exatas, Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 2006.