

Processo de fabricação de um material compósito com reaproveitamento de polietileno verde reforçado com fibras de sisal

Bruno Dorneles de Castro (Universidade Federal de Minas Gerais) brunodorn_92@hotmail.com

Paulo Eustáquio de Faria (Universidade Federal de Minas Gerais) paulo.faria@ufmg.br

Luciano Machado Gomes Vieira (Universidade Federal de Minas Gerais) lucianomgv@yahoo.com.br

Claudia Victoria Campos Rubio (Universidade Federal de Minas Gerais) claudia.campos.rubio@gmail.com

Julia Amaral dos Santos (Universidade Federal de Minas Gerais) jaamaral42@gmail.com

Resumo:

Uma constante preocupação com relação à fabricação de novos materiais é o impacto gerado por eles ao meio ambiente. Nesse sentido, os plásticos, como o polietileno, tem sido cada vez mais reaproveitados, de modo a evitar o descarte indevido desses materiais na natureza. Além disso, o uso de plásticos considerados verdes, ou seja, oriundos de fontes renováveis ou biodegradáveis, estão sendo fortemente empregados, a fim de diminuir o impacto gerado ao planeta pelo uso de combustíveis fósseis, como o petróleo. Por outro lado, o uso de fibras naturais em materiais compósitos, como as fibras de sisal, em detrimento das fibras sintéticas, tem aumentado consideravelmente, devido a algumas características, como baixo custo, baixo peso e biodegradabilidade. Assim, este estudo tem como objetivo caracterizar o processo de fabricação e o comportamento mecânico de compósitos com reaproveitamento de sacolas de polietileno, feito a partir do etanol da cana-de-açúcar (polietileno verde), reforçadas com fibras de sisal. Para a caracterização do comportamento mecânico do compósitos, foram realizados ensaios de tração, que mostraram a boa aplicabilidade deles como materiais estruturais.

Palavras chave: Compósitos, Polietileno, Fibras.

Manufacturing process of a composite material made of polyethylene green reused, reinforced with sisal fibers

Abstract

A constant concern about the manufacture of new materials is the impact they generate on the environment. In this sense, plastics, such as polyethylene, have been increasingly reused, in order to avoid incorrect discard of these materials in nature. In addition, the use of plastics considered green, i.e. from renewable source or biodegradable, are being used in order to decrease the impact generated by the use of fossil fuels such as oil. On the other hand, the use of natural fibers in composite materials, such as sisal fibers, instead of synthetic fibers, has increased considerably due to some characteristics such as low cost, low weight and biodegradability. Thus, this study aims to characterize the manufacturing process and the mechanical behavior of composites with reuse of polyethylene bags, made of ethanol from sugarcane (green PE), reinforced with sisal fibers. For the characterization of the mechanical behavior of the composites, tensile tests were performed, showing their good applicability as structural materials.

Key-words: Composite, Polyethylene, Fibers.

1. Introdução

A busca por novos materiais surge diante das constantes necessidades que a humanidade vivencia ao longo do tempo. Uma vez que muitos dos recursos naturais não são utilizados de forma consciente pelo homem, torna-se essencial a busca por inovações que considerem o conceito de sustentabilidade em seus princípios. Nesse contexto, os materiais compósitos têm sido uma ótima alternativa, devido à diversidade de materiais que podem constituirlos e as ótimas combinações de propriedades que os mesmos podem apresentar.

Com relação ao meio ambiente, o alinhamento dos novos materiais compósitos reside no objetivo de garantir que os recursos atuais perdurem para as próximas gerações, diminuindo a pegada de carbono durante todo seu ciclo de vida, desde as fases iniciais, como extração e fabricação, até as fases finais, como descarte e reciclagem. Marinelli et al. (2008) que tal opção pode trazer, inclusive, ganhos financeiros para a cadeia produtiva, como no caso da utilização de fibras naturais em compósitos poliméricos, as quais contribuem para a fixação de carbono na natureza e reduzem a quantidade de gás carbônico na atmosfera.

A produção e venda de compósitos têm movimentado a economia de diversos países, inclusive aqueles considerados subdesenvolvidos. Com relação ao Brasil, por exemplo, segundo dados disponibilizados pela ALMACO - Associação Latino-Americana de Materiais Compósitos (2016) – a produção de materiais compósitos, em 2015, totalizou 162 mil toneladas, gerando um faturamento de R\$ 2.665 bilhões para o setor no período.

Diante desse cenário, a utilização de resíduos aparece como uma opção para dar um destino mais nobre a diversos materiais descartados, como por exemplo, reciclar materiais plásticos, como as sacolas plásticas, evitando uma indevida destinação final após sua utilização pelo consumidor. Além da visão ambiental, ressalta-se a face econômica de tal processo, uma vez que os plásticos possuem alto valor agregado, e descartá-los no meio ambiente representa uma utilização menos eficiente dos recursos empregados em sua cadeia produtiva. Além disso, a possibilidade de substituição de fibras sintéticas populares, como as fibras de vidro, por fibras naturais, como as fibras de sisal, na utilização de reforços em materiais poliméricos.

Este trabalho tem como objetivo geral caracterizar o processo de fabricação e o comportamento mecânico de materiais compósitos que utilizam como matriz, sacolas plásticas compostas de polietileno verde (oriundo do etanol da cana-de-açúcar), e fibras de sisal como reforço. O estudo busca definir o comportamento mecânico desses compósitos através de ensaios de tração, definindo o limite de resistência à tração e o módulo de elasticidade na tração dos mesmos.

2. Os materiais compósitos

De acordo com a norma ASTM D3878 (2015), um material compósito pode ser definido como uma substância constituída por dois ou mais materiais, insolúveis entre si, que são combinados a fim de formar um material de engenharia útil, que possua certas propriedades que seus componentes, isoladamente, não possuem. Além disso, a norma ressalta que o compósito é inerentemente heterogêneo em uma micro escala, ainda que haja a possibilidade de o compósito se assemelhar, em uma macro escala, a uma forma homogênea.

Askeland e Wright (2014) salientam que os compósitos atuam com sinergia, ou seja, apresentam propriedades superiores às dos seus componentes, o que resulta em combinações incomuns de rigidez, resistência mecânica, peso, desempenho em altas temperaturas, resistência à corrosão, dureza e condutividade.

Conforme Meyers e Chawla (2009), os compósitos consistem de uma fase contínua chamada matriz e uma fase distribuída na matriz, chamada de reforço. A quantidade dessas fases e a maneira com que elas são arranjadas são determinantes para as propriedades mecânicas do compósito. Ainda segundo os autores, os materiais utilizados como matriz e como reforço podem ser de origem metálica, cerâmica ou polimérica, e o reforço pode ser na forma de partículas, de fibras contínuas ou de fibras curtas.

Considerando os polímeros como a fase matriz de um material compósito, Zaman et al. (2014) afirma que os compósitos poliméricos, quando reforçados com fibras, são constituídos por uma matriz, composta tipicamente por uma resina termorrígida ou por uma resina termoplástica. A matriz, que ainda pode conter enchimentos e aditivos, pode ser reforçada por diversos tipos de fibras, entre as quais se destacam as fibras sintéticas, como as fibras de vidro, de carbono e de aramida, e as fibras naturais, como as fibras de sisal, de juta e de coco.

2.1 O polietileno verde

O polietileno produzido a partir do etanol da cana-de-açúcar, também chamado de polietileno verde, por ser sustentável, é um polímero inovador, que captura e fixa gás carbônico da atmosfera durante a sua produção, e não o liberando novamente para a atmosfera durante o seu ciclo de vida, contribuindo para uma redução de gases causadores do efeito estufa (BRASKEM, 2016a).

Sua produção começa na captação da cana-de-açúcar, que metaboliza o dióxido de carbono para a produção de sacarose, culminando em um tipo de álcool chamado etanol. Em seguida, tal etanol é transformado em eteno, através de um processo de desidratação. O eteno, por sua vez, é transformado em polietileno por meio de um processo chamado polimerização. A partir disso, o polietileno verde torna-se aplicável em diversos produtos e já se insere nos segmentos que utilizam o polietileno de alta densidade (PEAD) e o polietileno de baixa densidade linear (PEBDL) tradicionais (BRASKEM, 2016b). A figura 1 mostra esquematicamente o processo de transformação que culmina na obtenção do PE verde (MORSCHBACKER, 2016).

Ainda segundo a Braskem (2016a), o polietileno verde mantém as mesmas propriedades, desempenho e versatilidade das aplicações do polietileno de origem fóssil (tradicional), o que facilita o seu uso imediato na cadeia produtiva do plástico. Assim, ele também é reciclável dentro da mesma cadeia de reciclagem do polietileno tradicional.

Conforme Batista (2013), a grande diferença entre o polietileno tradicional, oriundo da nafta, e o polietileno verde, oriundo do etanol, está nas etapas anteriores à produção dos mesmos, uma vez que o etanol é mais barato e menos poluente. O autor salienta que certos resíduos na produção do etanol necessitam de alguns cuidados quanto ao descarte, o que pode ser resolvido com a utilização dos mesmos como fertilizantes.

Agrela et al. (2009) ressaltam uma forte tendência no uso de termoplásticos, como o polietileno, como matriz polimérica de compósitos reforçados com fibras, principalmente as fibras naturais. Os autores salientam que esta tem sido como uma ótima medida para contribuir com a preservação do meio ambiente, devido à possibilidade de reutilização desses materiais após a utilização pelo consumidor final.

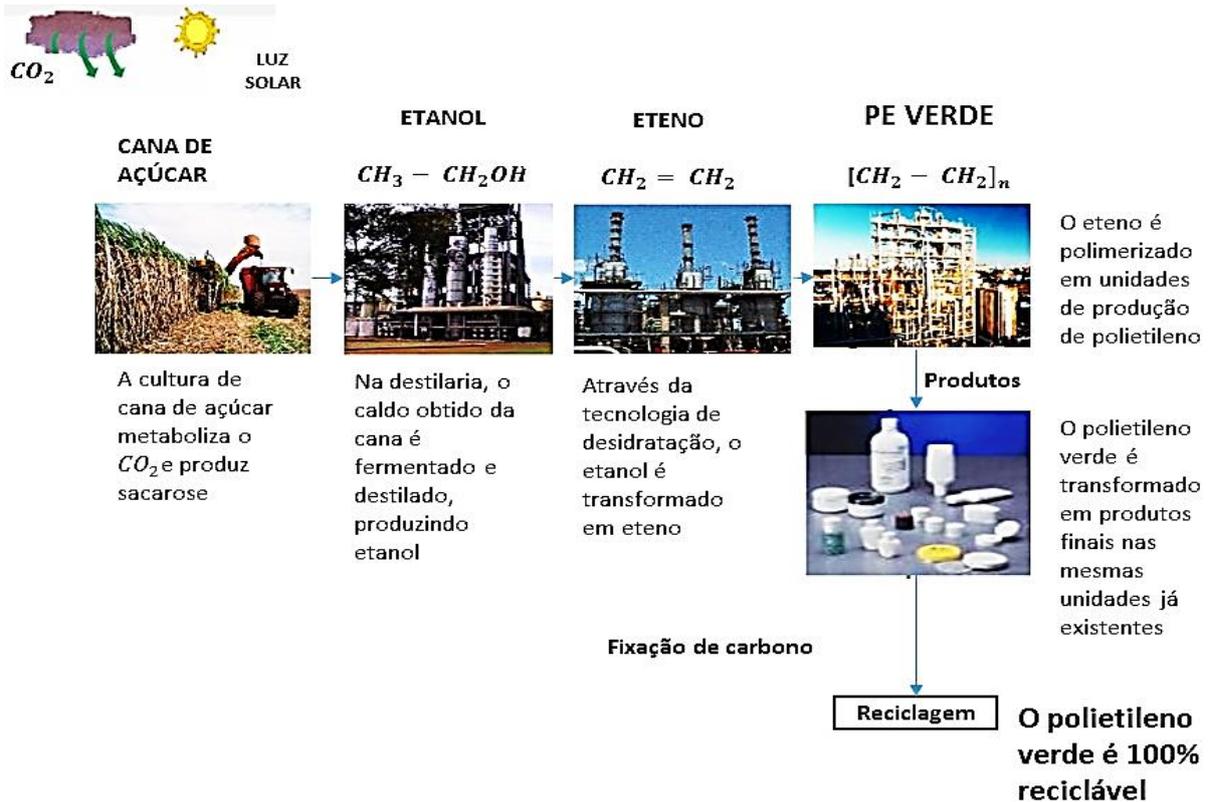


Figura 1 – Processo produtivo do PE verde

2.2 O sisal

De acordo com Rosário et al. (2011), o sisal (*Agave Sisalana*) é uma planta de folhas pontiagudas e lanceoladas dispostas na forma de roseta (figura 2), com uma largura de 8 a 10 cm e um comprimento de 150 a 250 cm. As folhas são compostas por microfibras, com uma média de 1.100 fibras por folha, resistentes a tração, duráveis e com um comprimento individual que varia de 1,5 a 4,0 mm e uma largura individual entre 10 a 30 µm (COSIBRA, 2016).

Dentre os principais produtos que utilizam as fibras de sisal, pode-se destacar os fios biodegradáveis utilizados em artesanato, cordas de várias utilidades, produção de estofados, pasta para indústria de celulose, produção de tequila, tapetes decorativos, remédios, biofertilizantes, ração animal, adubo orgânico e sacarias (COSIBRA, 2016).



Figura 2 – A *Agave Sisalana*

Dentre os principais produtos que utilizam as fibras de sisal, pode-se destacar os fios biodegradáveis utilizados em artesanato, cordas de várias utilidades, produção de estofados, pasta para indústria de celulose, produção de tequila, tapetes decorativos, remédios, biofertilizantes, ração animal, adubo orgânico e sacarias (COSIBRA, 2016).

De acordo com Mattoso et al. (1996), a fibra de sisal se destaca, entre as fibras foliares (como curauá, rami e de coco), como reforço de plásticos e borrachas, uma vez que apresentam maior qualidade e maior aplicação comercial, além de possuir um dos maiores valores de módulo de elasticidade em seu grupo.

Os compósitos reforçados com fibras de sisal tem ganhado muito importância no setor automobilístico, principalmente como substituta da fibra de vidro. Dentre as aplicações dessas fibras nesse setor, pode-se citar o uso como reforços de plásticos para a confecção de painéis, porta-luvas, consoles centrais e outras partes internas de automóveis (SISAL, 2009).

3. Materiais e métodos

3.1 Materiais

Os compósitos fabricados foram compostos por sacolas plásticas de PEAD verde e por fibras de sisal em tecido (configuração biaxial), como mostra a figura 3. Os sacos plásticos foram fornecidos pela empresa Nobelpack, e produzidos pela empresa petroquímica Braskem. As fibras de sisal foram fornecidas pela empresa Sisalsul Indústria e Comércio Ltda.



Figura 3 – As fibras de sisal em tecido

3.2 Método de fabricação do compósito

A fabricação dos compósitos, realizada no Laboratório de Estudos em Processos Avançados de Manufatura (LEPAM), da Universidade Federal de Minas Gerais, se iniciou pelo corte e pelo envolvimento dos tecidos de fibras de sisal pelas sacolas plásticas de PEAD, que constituíram as várias camadas poliméricas do compósito reforçado com fibras. Ressalta-se que tanto as sacolas de PEAD quanto as fibras não receberam nenhum tratamento químico, pois ainda que

este contribui positivamente na adesão entre o polímero e as fibras (FÁVARO *et al.*, 2010), ele diminui o caráter sustentável do objetivo da fabricação do compósito em estudo.

Com relação à fração mássica de cada componente dos compósitos, foi estabelecida uma proporção aproximada de 30 % de massa em fibras de sisal e 70 % de massa em PEAD verde. Tal definição foi baseada em experimentos realizados pelos pesquisadores deste estudos e também com base nos estudos de Ahmad e Luyt (2012), que analisaram o comportamento mecânico de compósitos com PEAD reforçado com sisal em diferentes proporções mássicas. Desse modo, as placas de compósitos, que foram dimensionadas com 110 mm de largura e 190 mm de comprimento, foram constituídas de 33,6 g de fibras de sisal e 78,4 g de PEAD (39,2 g em cada face), totalizando 112 g.

Para haver adesão entre as fases constituintes dos compósitos em estudo, estes foram aquecidos e comprimidos através de uma máquina, construída pelos próprios pesquisadores, em um método de moldagem por compressão, semelhante ao de moldagem de polímeros, o qual Shackelford (2008) cita como um dos principais métodos de processamentos desses materiais.

A máquina, mostrada na figura 4, é composta por duas resistências elétricas, cada uma com 2000 W de potência, que são envoltas por duas placas de concreto (revestidas por placas metálicas), com espessura aproximada de 50 mm, e anexadas a duas chapas de alumínio de aproximadamente 10 mm de espessura. A chapa da placa de baixo possui maior largura e maior comprimento que a chapa da parte de cima, o que possibilita o perfeito encaixe das duas placas. Há também um compensado de madeira em torno das bordas da chapa de baixo, a fim de contribuir para uma melhor estabilização da temperatura interna da máquina.

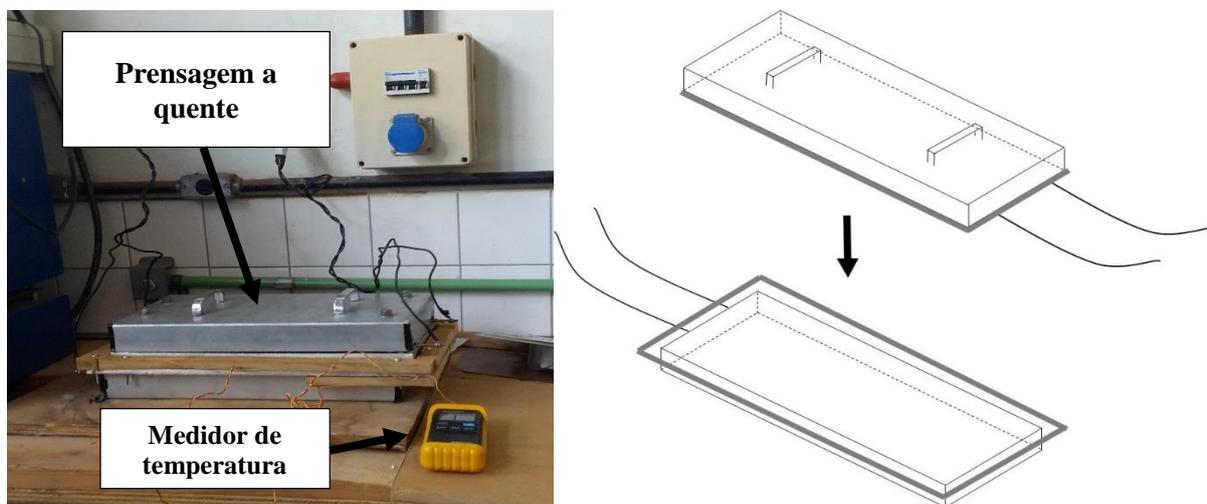


Figura 4 - Máquina utilizada no processamento dos compósitos de PEAD reforçados com fibra de sisal, via foto e croqui

Para monitorar a temperatura de aquecimento dos compósitos, utilizou-se um termopar do tipo k, que foi anexado a um termômetro Tektronix, modelo DTM510, que mediu a temperatura atingida no espaço vidente entre as chapas de alumínio. Com base no termopar, o aumento da temperatura foi controlado, de modo a atingir aproximadamente 185 ± 5 °C. A escolha dessa temperatura foi baseada nos estudos de Coutinho, Mello e Maria (2003), que ressaltam que o ponto de fusão do PEAD é de, aproximadamente, 135° C, e nos estudos de Fávoro *et al.* (2010), que usaram essa temperatura como limite térmico máximo na extrusão de compósitos com PEAD verde e sisal. A taxa de aquecimento média foi de 8°C/minuto e a pressão exercida pelo bloco superior da máquina no corpo de prova foi de aproximadamente 5,46 kPa.

Através dos experimentos realizados neste estudo, pelo pesquisador, foi possível perceber que os corpos de prova aquecidos até a temperaturas inferiores a 180 °C resultaram em compósitos com uma fusão não uniforme das sacolas plásticas, e aqueles aquecidos até temperaturas superiores a 190 °C resultaram em compósitos com sacolas plásticas já em fase de deterioração.

Quando alcançada a temperatura de 185 ± 5 °C, as resistências eram desligadas e iniciava-se o resfriamento da máquina. Os corpos de prova foram mantidos no interior da máquina até uma temperatura de 110°C, garantindo a remoção dos corpos de prova a uma temperatura abaixo do ponto de fusão do PEAD verde. Além disso, para evitar a interação química entre os compósitos e as placas de alumínio, utilizou-se um tecido desmoldante, do tipo Teflon®, denominado Armalon®, para separá-los, o que contribuiu também para a construção de corpos de prova com um melhor acabamento.

3.3 Ensaio mecânico de tração

Os ensaios de tração foram realizados no Centro de Inovação e Tecnologia em Compósitos (CITec) da Universidade Federal de São João del-Rey, em uma máquina universal de ensaios da Shimadzu, modelo AG-X Plus, mostrada na figura 5.

As dimensões dos corpos de prova e os procedimentos adotados, como a velocidade do ensaio, seguiram a norma ASTM D638 (2014). Foram construídos 10 corpos de prova para o compósito de PEAD verde reforçado com fibras de sisal e 10 corpos de prova de PEAD puro, cada um com uma largura de 19 mm, um comprimento total de 165 mm e um comprimento útil de 50 mm. A velocidade do ensaio foi de 5 mm/min. Os testes de tração também contaram com o auxílio do software TrapeziumX®.



Figura 5 – Máquina utilizada nos ensaios de tração

4. Resultados e discussões

4.1 Análise do material compósito fabricado

A placa do material compósito resultante apresentou uma espessura final média de 5 mm, e apresentou uma estrutura mais uniforme e mais rígida ao centro da placa, como pode ser visto na figura 6.



Figura 6 – Compósito de PEAD verde, reforçado com sisal

Através de um microscópio da Olympus SZ61, pode-se observar no corpo de prova do compósito para o ensaio de tração (figura 7a), que houve uma boa adesão entre as fibras e o PEAD verde, na região de cisalhamento, (figura 7b). O polímero, quando fundido, teve um escoamento bem uniforme entre os espaços vazios do tecido de fibras de sisal, promovendo um enrijecimento da estrutura mecânica do compósito.

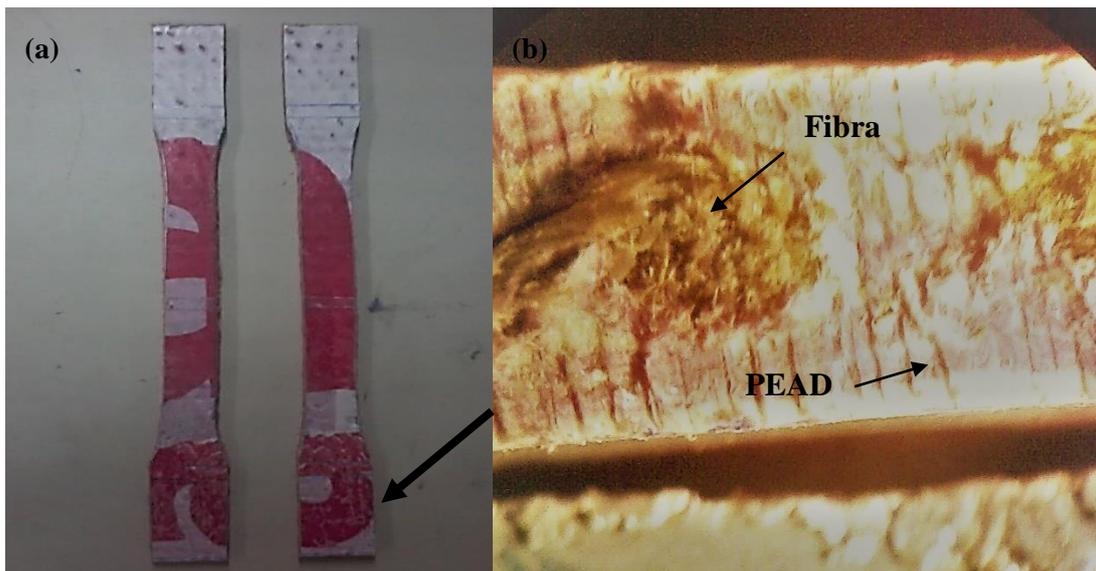


Figura 7 – (a) Corpo de prova do compósito PEAD verde - sisal para o ensaio de tração e (b) imagem microscópica do mesmo compósito, em uma região cisalhada

4.2 Ensaio de tração

O valor médio e o desvio-padrão dos resultados obtidos no ensaio de tração dos corpos de prova em estudo, podem ser vistos na tabela 1.

Os compósitos de PEAD verde reforçados com fibras de sisal apresentaram um valor médio de $17,16 \pm 2,99$ MPa de limite de resistência à tração, superior ao valor médio apresentado pelo PEAD puro, que foi de $14,13 \pm 0,89$ MPa, o que indica que o uso de fibras de sisal em tecido como reforço no PEAD verde culminou em um material mais resistente à ruptura pelo esforço de tração que o PEAD puro.

Material	Limite de resistência à tração (MPa)	Módulo de elasticidade (GPa)
PEAD puro	$14,13 \pm 0,89$	$0,845 \pm 0,06$
Compósito PEAD verde-sisal	$17,16 \pm 2,99$	$0,673 \pm 0,04$

Tabela 1 – Resultados obtidos no ensaio de tração

Com relação ao módulo de elasticidade, os compósitos apresentaram um valor médio de $0,673 \pm 0,04$ GPa, valor inferior ao apresentado pelo PEAD puro ($0,845 \pm 0,06$ GPa), o que mostra que o PEAD verde com o reforço do tecido de fibras de sisal resultou em um material menos rígido à tração que o PEAD puro. A figura 8 mostra o diagrama de tensão por deformação de um dos compósitos submetidos ao ensaio de tração, no qual pode-se ver a resistência máxima do mesmo antes da ruptura e a inclinação da reta que indica seu módulo de elasticidade.

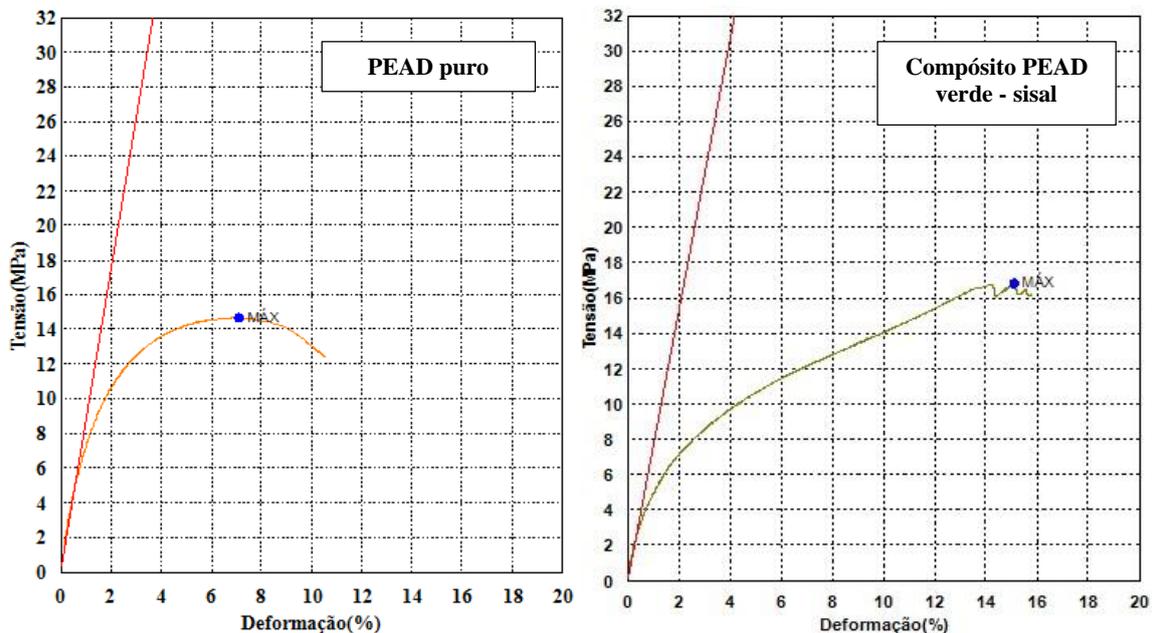


Figura 8 – Diagrama de tensão por deformação de um corpo de prova de PEAD puro e de um compósito de PEAD verde-sisal

5. Considerações Finais

Ao analisar tais resultados, pode-se notar que o uso de plásticos verde e sustentáveis podem ser considerados como uma boa alternativa de substituição dos plásticos de fontes não renováveis, quanto ao emprego em materiais estruturais.

O compósito de PEAD verde, reforçado com fibras de sisal em tecido, fabricado no estudo, apresentou uma boa consistência mecânica e aparentemente uma boa adesão entre suas fases. Além disso, o compósito apresentou um comportamento mecânico diferente do que o PEAD puro, pois alcançou valores superiores em termos de limite de resistência à tração e valores inferiores em relação ao módulo de elasticidade. Tais resultados devem ser cuidadosamente considerados nas possíveis aplicações desse compósito, uma vez que são propriedades mecânicas altamente relevantes no que cerne ao desempenho dos mesmos em produtos.

Referências

- AGRELA, S. P. et al.** *Preparação e caracterização de compósitos de polietileno de alta densidade com resíduos de fibras de piaçava da espécie Attalea Funifera Mart.* In: CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS, 10., 2009, Foz do Iguaçu. Anais.. Foz do Iguaçu: Out. 2009.
- AHMAD, E. E. M. LUYT, A. S.** *Effects of Organic Peroxide and Polymer Chain Structure on Mechanical and Dynamic Mechanical Properties of Sisal Fiber Reinforced Polyethylene Composites.* Journal of Applied Polymer Science, Phuthaditjhaba, v. 125, p. 2216-2222, jan. 2012.
- ALMACO.** *Faturamento do setor brasileiro de compósitos caiu 18% em 2015.* Disponível em: <<http://www.almaco.org.br/noticias.cfm?ID=3477>>. Acesso em 29 abr. 2016.
- ASKELAND, D. R. WRIGHT, W. J.** *Ciência e engenharia dos materiais.* 3. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014.
- ASTM D3878** “*Standard Terminology for Composite Materials*”, ASTM International, West Conshohocken, 2015.
- ASTM D638** “*Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics*”, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014.
- BATISTA, R. A.** *Obtenção do polietileno a partir de fontes renováveis.* 2013. 84 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Química) - Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2013.
- BRASKEM.** *Polietileno verde I'm Green (PE verde I'm Green).* Disponível em: <<http://www.braskem.com/site.aspx/PE-Verde-Produtos-e-Inovacao>>. Acesso em: 24 ago. 2016a.
- BRASKEM.** *Polietileno verde: como é produzido.* Disponível em: <<http://www.braskem.com/site.aspx/Como-e-Produzido>>. Acesso em: 24 ago. 2016b.
- COSIBRA.** *Matéria Prima.* Disponível em: <http://www.cosibra.com.br/materia_prima.php>. Acesso em: 14 jul. 2016.
- COUTINHO, F. M. B. MELLO, I. L. MARIA, L. C. S.** *Polietileno: principais tipos, propriedades e aplicações.* Polímeros: ciência e tecnologia, São Carlos, v. 13, n. 1, p. 1-13, jan./mar. 2003.
- FÁVARO, S. L. et al.** *Chemical, morphological and mechanical analysis of sisal fiber-reinforced recycled high-density polyethylene composites.* Express Polymer Letters, Maringá, v. 4, n. 8, p. 465-473, jan.-mar. 2010.
- MATTOSO, L. H. C. et al.** *Utilização de fibras vegetais para reforço de plásticos.* Embrapa Instrumentação, n.3, p. 1-4, nov. 1996.
- MARINELLI, A. L. et al.** *Desenvolvimento de compósitos poliméricos com fibras vegetais naturais da biodiversidade: uma contribuição para a sustentabilidade amazônica.* Polímeros: ciência e tecnologia, v. 18, n. 2, p. 92-99, 2008.
- MEYERS, M. CHAWLA, K.** *Mechanical behavior of materials.* 2. ed. New York: Cambridge University Press, 2009.
- MORSCHBACKER, A.** *Inovação e tecnologia: polietileno verde.* Fundação Getúlio Vargas. Disponível em: <http://www.fgv.br/cev/rsnovarejo/arquivos/forum_varejo/AntonioMorschbacker.pdf>. Acesso em: 24 ago. 2016.
- ROSÁRIO, F. et al.** *Resíduos de sisal como reforço em compósitos de polipropileno virgem e reciclado.* Polímeros: ciência e tecnologia, São Carlos, v. 21, n. 2, p. 90-97, abr. 2011.
- SHACKELFORD, J. F.** *Introdução à ciência dos materiais para engenheiros.* 6. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.
- SISAL: o novo aliado do meio ambiente.** Carros e acessórios. 2009. Disponível em: <<http://www.carroseacessorios.com.br/noticias-detalhes.php?id=5837>>. Acesso em: 25 ago. 2016
- ZAMAN, A. U. et al.** *Sustainability and human health issues pertinent to fibre reinforced polymer composites usage: A review.* Reinforced plastics & composites, Rabigh, v. 33, n. 11, p. 1069-1084, jun. 2014.