



## COMPÓSITO DE POLÍMERO BIODEGRADÁVEL ECOBRAST<sup>TM</sup>/EVELLA COM FIBRAS CURTAS DE BAMBU: PROCESSAMENTO E PROPRIEDADES

Rafael S. da Silva<sup>1</sup>, Ana C. B. Ferreira<sup>1</sup> e Baltus C. Bonse<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Faculdade SENAI de Tecnologia Ambiental

<sup>2</sup>Centro Universitário FEI, Departamento de Engenharia de Materiais, Av. Humberto de A.C. Branco, 3972, CEP 09850-901, São Bernardo do Campo, SP, Brasil  
prebbonse@fei.edu.br

### RESUMO

*Atualmente, na área de polímeros tem sido dada bastante atenção a práticas cada vez mais sustentáveis e ambientalmente corretas, que incluem a substituição de polímeros convencionais descartáveis de vida curta por polímeros biodegradáveis e a substituição de fibras sintéticas por fibras naturais em compósitos poliméricos. Dentro deste contexto o objetivo deste trabalho foi incorporar fibra de bambu no Ecobras<sup>TM</sup>/Evella e estudar a sua influência nas propriedades mecânicas do polímero virgem a teores de 5, 10 e 20% em massa de fibra de bambu. As fibras foram incorporadas por meio de pré-mistura em misturador “Y” e extrusão subsequente em extrusora dupla-rosca corrotacional, acoplada a um reômetro Haake. Corpos de prova foram injetados para ensaios de tração, flexão, dureza Shore D e impacto Izod. Os resultados mostraram que a fibra de bambu pode ser incorporada com êxito como reforço no polímero biodegradável Ecobras<sup>TM</sup>/Evella. Com a incorporação de 20% em massa de fibra houve aumentos em relação ao polímero virgem de 160% e 7%, respectivamente, no módulo e resistência à tração, e 160% e 90%, respectivamente, no módulo e resistência à flexão.*

**Palavras-chave:** *Compósito verde, Polímero biodegradável, Fibra de bambu, Ecobras<sup>TM</sup>/Evella.*

### INTRODUÇÃO

Os polímeros biodegradáveis estão cada vez mais em evidência devido ao seu valor ambiental, pois diminuem a quantidade de resíduos sólidos em aterros após descarte e frequentemente trata-se de polímeros produzidos por meio de fontes naturais renováveis <sup>(1)</sup>. Polímeros biodegradáveis podem ser descritos como aqueles capazes de sofrer degradação devido à ação biótica, promovida por microrganismos, como fungos, algas e bactérias. Nesse processo as moléculas do polímero são convertidas em fonte de energia para os microrganismos, bem como biomassa e moléculas simples, como H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>. Ressalta-se que para um polímero ser certificado como biodegradável, pelo menos 90% de seu carbono deve ser convertido em CO<sub>2</sub> dentro de 6 meses de biodegradação <sup>(2)</sup>. Nem todos os polímeros biodegradáveis originam de recursos renováveis. Eles podem ser obtidos tanto de recursos

renováveis como fósseis. A origem do polímero não está diretamente relacionada à sua biodegradabilidade <sup>(3)</sup>.

As principais desvantagens dos polímeros biodegradáveis em relação aos polímeros convencionais incluem seu custo de produção maior, sua processabilidade ainda de pequeno domínio e suas propriedades mecânicas normalmente inferiores <sup>(4)</sup>. Porém baseando-se nos benefícios ambientais que estes polímeros proporcionam e o valor agregado que se pode determinar ao produto, é importante que se estude e se mantenha o interesse nestes para suprir suas limitações.

O polímero Ecobras™/Evella é a combinação do Ecoflex® com um polímero vegetal modificado à base de milho. A Ecoflex® (PBAT, ou seja, poli (adipato-co-tereftalato de butileno), é um copoliéster alifático-aromático estatístico produzido pela polimerização dos oligômeros de diésteres de ácido adípico/butanodiol e ácido tereftálico/butanodiol, sendo o primeiro plástico biodegradável e compostável de fonte fóssil certificado pela BASF <sup>(5)</sup>.

Muito se tem estudado sobre a adição de resíduos de fibras vegetais em polímeros e já se tem notado resultados satisfatórios em relação ao desempenho do compósito final <sup>(6)</sup>.

Dentro deste contexto decidiu-se adicionar fibra de bambu ao Ecobras™/Evella para tentar obter propriedades superiores em relação ao polímero puro com o objetivo de se ampliar as aplicações nas quais os polímeros biodegradáveis podem ser utilizados.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### MATERIAIS

O polímero utilizado, doado pela Corn Products Brasil, foi Ecobras™/Evella, uma combinação do Ecoflex® com um polímero vegetal modificado à base de milho. É um plástico biodegradável e compostável, com mais de 50% de sua matéria-prima de fonte renovável, que ajuda a balancear o ciclo de carbono ao equilibrar o tempo de produção do plástico ao seu consumo e decomposição.

A fibra de bambu era proveniente dos resíduos de uma empresa de laminados de bambu.

### MÉTODOS

Os resíduos de fibra de bambu utilizadas foram que passaram por peneira com abertura de malha de 2,75 mm, sendo utilizados 5%, 10% e 20% em massa para a produção dos compósitos. Os resíduos e polímero foram secos em uma estufa do fabricante FANEM, modelo 320E, por 12 horas a 80 °C. Para uma melhor homogeneização utilizou-se um misturador tipo “Y” do fabricante Powdermix, modelo ILMC-007, homogeneizando-se a fibra e Ecobras™/Evella pelo período determinado de cinco minutos. Em seguida extrudou-se a mistura numa extrusora dupla-rosca co-rotacional acoplada a um reômetro Haake Rheomex OS PTW6 do fabricante Thermo Scientific/ Haake PolyLab OS Rheo Drive 3, entre 110 °C e 150 °C. Após a extrusão e granulação injetaram-se corpos de prova do Ecobras™/Evella virgem e dos compostos contendo fibra de bambu, com injetora Battenfeld, modelo HM 60/350, com perfil de temperatura entre 140°C e 170°C.

Efetou-se o ensaio de flexão utilizando-se a máquina universal de ensaios do fabricante EMIC modelo DL2000 com célula trd232 programa Tesc 304, sob a norma ASTM D 790-07. Para cada formulação foram ensaiados cinco corpos de prova. Realizou-se o ensaio de tração utilizando-se a máquina universal de ensaios do fabricante Instron, modelo 5567, sob a norma ASTM D 638-08, com velocidade de ensaio de 5mm/min. O ensaio de impacto Izod foi realizado em máquina de impacto Emic, modelo AIC 1989, sob a norma ASTM D 256-10, com pêndulo de 4 J. Entalhou-se os corpos de prova com o auxílio do entalhador fabricante

Gotech modelo GV – 7016 – A2. Para cada formulação foram ensaiados dez corpos de prova. Realizou-se o ensaio de dureza Shore D, sob a norma ASTM D 2240-05, em um durômetro do fabricante ZWICK.

A análise morfológica de superfícies fraturadas de corpos de prova de impacto dos compósitos, recobertos com ouro, foi feita por meio de microscopia eletrônica de varredura em um CamScan CS3200 LV, para avaliar a adesão entre a matriz polimérica e as fibras de bambu.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise morfológica dos compósitos, feita por microscopia eletrônica de varredura, são mostrados na Figura 1, que apresentam micrografias da superfície fraturada em impacto de dois compósitos do polímero contendo fibra de bambu de 10% e 20% respectivamente. Observa-se que não existe espaço vazio na interfase fibra-matriz, indicando certa adesão entre a fibra e a matriz polimérica.

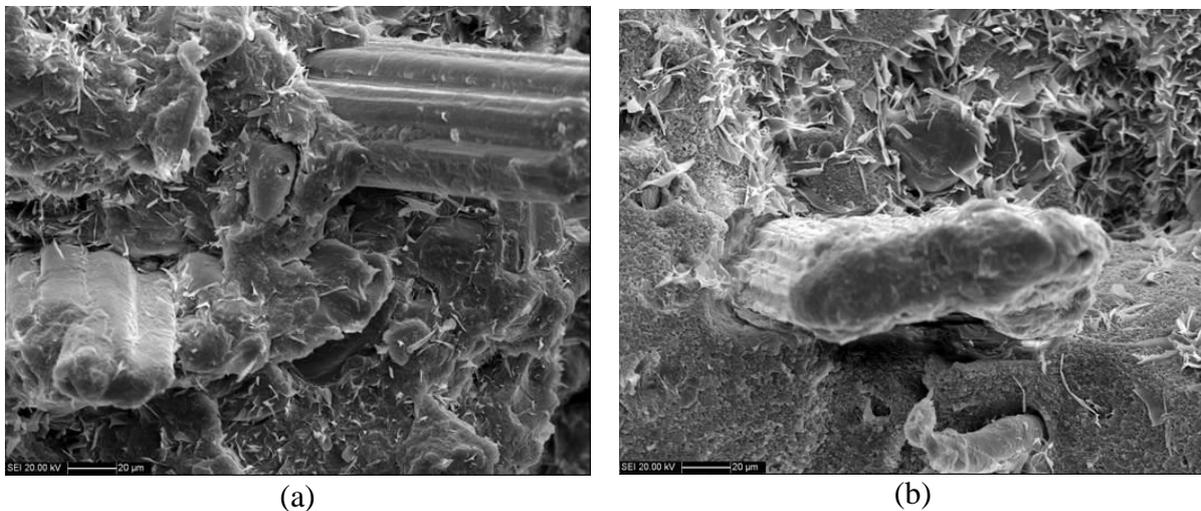


Figura 1: Micrografias da superfície fraturada em impacto de um compósito de Ecobras™/Evella contendo 10% (a) e 20% (b) em massa de fibra de bambu.

Os resultados obtidos no ensaio de flexão encontram-se na Figura 2.

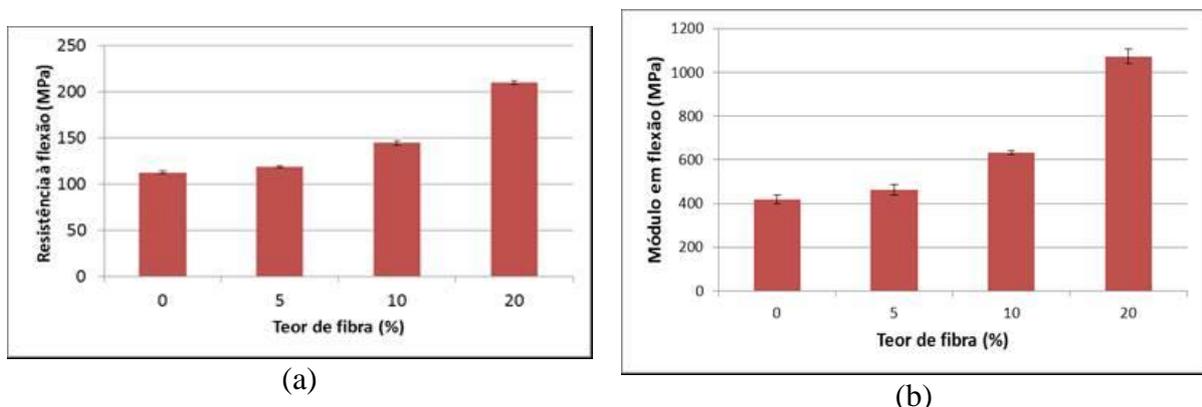


Figura 2: Resistência à flexão (a) e módulo elástico em flexão (b) dos compósitos em função do teor de fibras de bambu na matriz Ecobras™/Evella.

Com a incorporação das fibras observa-se um aumento gradual tanto na resistência (Fig. 2a) como no módulo em flexão (Fig. 2b). Isto indica que há relativa boa aderência entre a matriz e a fibra, conforme observado pela análise morfológica. Boa parte da tensão exercida sobre o material é absorvida pela fibra. Nota-se, com a adição de 20% de fibra de bambu, um aumento significativo da resistência à flexão, em torno de 90%, e do módulo em flexão, em torno de 160%.

O efeito reforçante da fibra de bambu no polímero biodegradável Ecobras™/Evella pode ser notada mais claramente na Figura 3, que apresenta os resultados dos ensaios de tração.

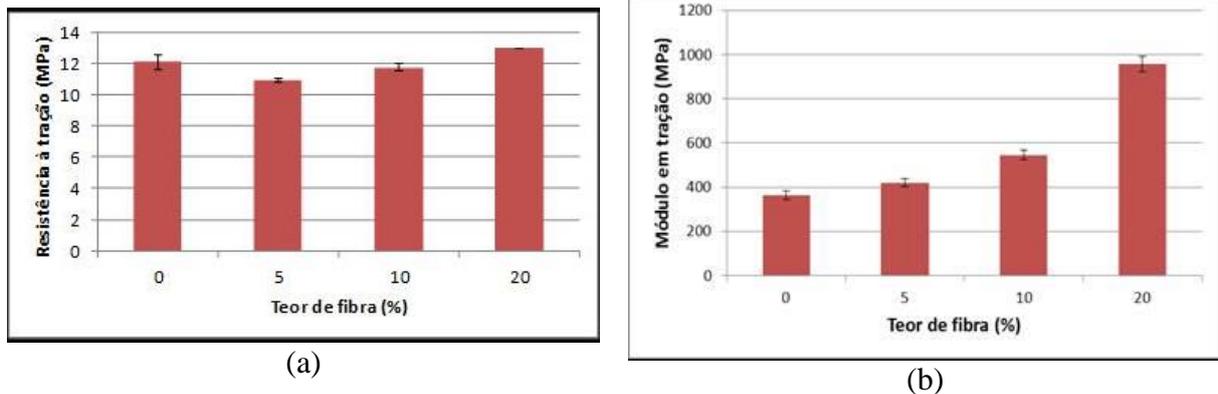


Figura 3: Resistência à tração (a) e módulo elástico em tração (b) dos compósitos em função do teor de fibras de bambu na matriz Ecobras™/Evella.

O aumento da resistência à tração de aproximadamente 6% (Fig. 3a) e no módulo em tração de mais de 100% (Fig. 3b), indicam que as fibras de bambu agem como carga de reforço na matriz de Ecobras™/Evella e não meramente como carga de enchimento. Estes aumentos também indicam que há boa adesão entre as fibras e a matriz, pois somente assim seria possível transferir os esforços da matriz para as fibras, resultando em aumento na resistência à tração. Vale ressaltar que algumas cargas de enchimento também resultam em aumento no módulo de elasticidade, ou seja, na rigidez do composto, porém não aumentam a resistência à tração<sup>(7)</sup>.

Os resultados do ensaio de dureza Shore D e de resistência ao impacto Izod com entalhe são apresentados na Figura 4.

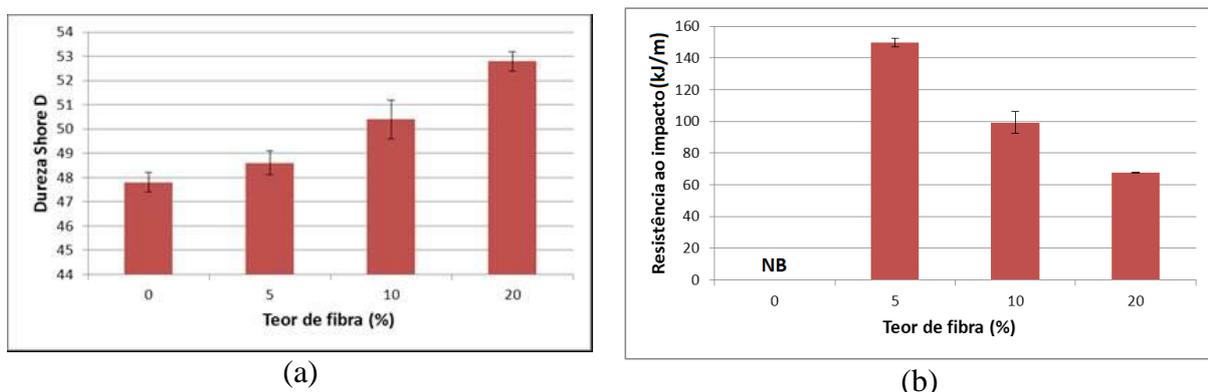


Figura 4: Dureza Shore D (a) e resistência ao impacto Izod (b) dos compósitos em função do teor de fibras de bambu na matriz Ecobras™/Evella.

Um aumento no teor da fibra resulta em aumento na dureza, conforme observado na Figura 4a. A dureza do polímero é a resistência dele à penetração. As fibras dificultam a

movimentação molecular do polímero, resultando em maior dureza. Quanto menor a mobilidade das cadeias poliméricas mais elas resistem à penetração. O aumento na dureza com a incorporação de 20% de fibra de bambu foi em torno de 10%.

A redução na movimentação molecular do polímero também provoca uma redução na resistência ao impacto, conforme observado na Figura 4b. O polímero sem fibra não rompeu com o pêndulo de 4J. Com o aumento do teor de fibra há uma redução gradual na resistência ao impacto. Segundo Nielsen <sup>(8)</sup>, a concentração de tensão que ocorre nas extremidades das fibras, regiões de baixa aderência e de maior contato entre fibras, não favorece a dissipação de energia, devendo diminuir a resistência ao impacto do compósito.

## CONCLUSÕES

Foi possível incorporar com êxito fibras de bambu, proveniente de resíduos de uma indústria de laminados, no polímero biodegradável Ecobras™/Evella. Aumentando-se o teor de fibra aumentaram os módulos e resistências à tração e flexão, além da dureza, e diminuíram a deformação na ruptura em tração e a resistência ao impacto. Os maiores aumentos em relação ao polímero virgem foram observados com a incorporação do maior teor de fibra estudado, ou seja, 20%: em torno de 160% e 7% no módulo e resistência à tração, respectivamente; 160 % e 90% no módulo e resistência à flexão; e 10% na dureza Shore D. Estes aumentos indicam boa adesão entre as fibras e a matriz polimérica, para a transferência adequada das tensões solicitadas para as fibras mais rígidas e resistentes que a matriz. Esta adesão foi evidenciada por meio de microscopia eletrônica de varredura de corpos de prova rompidos em impacto. Para a resistência ao impacto observou-se uma diminuição de mais de 50% com a incorporação de 20% de fibra, provavelmente ocasionada pela diminuição na mobilidade das cadeias poliméricas, devido à rigidez da fibra aliada à boa adesão, que pode em estudos futuros ser contornado com a adição de modificador de impacto.

## AGRADECIMENTOS

Ao Centro Universitário FEI e à Faculdade SENAI de Tecnologia Ambiental que possibilitaram o desenvolvimento do trabalho.

À empresa Corn Products Brasil pela doação do material Ecobras™/Evella e à empresa Tiva Design pela doação dos resíduos de fibra de bambu.

## REFERÊNCIAS

1. YIN, G.Z.; YANG, X.M. Biodegradable polymers: a cure for the planet, but a long way to go. *J Polym Res*, v. 27, n. 38, p. 1-14, 2020.
2. ASTM D6400-19: Standard Specification for Labeling of Plastics Designed to be Aerobically Composted in Municipal or Industrial Facilities. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, 2019.
3. EMADIAN, S.M.; ONAY, T.T.; DEMIREL, B. Biodegradation of bioplastics in natural environments. *Waste Manag*, v. 59, p. 526–536, 2017.
4. ABE, M. M.; MARTINS, J. R.; SANVEZZO, P. B.; MACEDO, J. V.; BRANCIFORTI, M. C.; HALLEY, P.; BOTARO, V. R.; BRIENZO, M. Advantages and Disadvantages of Bioplastics Production from Starch and Lignocellulosic Components. *Polymers (Basel)*, v. 28, n. 13, 2021.
5. BASF. Disponível em: [https://plastics-rubber.basf.com/southamerica/pt/performance\\_polymers/products/ecoflex.html](https://plastics-rubber.basf.com/southamerica/pt/performance_polymers/products/ecoflex.html)> Acesso em 22 de novembro 2019.
6. LUCAS, A. A.; AMBROSIO, J. D.; BONSE, B. C.; BETTINI, S. H. P. Natural Fibers Polymer Composites Technology applied to the Recovery and Protection of Tropical Forests allied to the

- Recycling of Industrial and Urban Residues. In: Dr. Pavla Tesinova (Vozkova). (Org.). *Advances in Composite Materials - Analysis of Natural and Man-Made Materials*. 1ed.: InTech, p. 163-194, 2011
7. RABELLO, M.; DE PAOLI, M-A. *Aditivação de Termoplásticos*, Artliber Editora Ltda, São Paulo, 2013.
  8. NIELSEN, L.E.; LANDEL, R. F. *Mechanical properties of polymers and composites*. ed. 2. New York: Marcel Dekker, Inc., 1994.

## **SHORT-BAMBOO-FIBER-REINFORCED ECOBRAS™/EVELLA BIODEGRADABLE POLYMER COMPOSITE: PROCESSING AND PROPERTIES**

### **ABSTRACT**

*Currently, in the field of polymers, considerable attention has been given to increasingly sustainable and environmentally friendly practices, which include replacing single-use conventional disposable polymers with biodegradable polymers and replacing synthetic fibers with natural fibers in polymer composites. Within this context, the objective of this study was to incorporate bamboo fiber into Ecobras™/Evella and study its influence on the mechanical properties of the neat polymer at 5, 10 and 20 wt% bamboo fiber. The fibers were pre-mixed with the polymer pellets in a “Y” mixer and the mixture was subsequently extruded in a co-rotating twin-screw extruder coupled to a Haake rheometer. Specimens were injection molded for tensile, bending, Shore D hardness and Izod impact tests. The results showed that bamboo fiber can be successfully incorporated as a reinforcement into Ecobras™/Evella biodegradable polymer. Incorporating 20 wt% fiber into the neat polymer resulted in increases of 160% and 7%, in tensile modulus and strength, respectively, and 160% and 90%, in flexural modulus and strength, respectively.*

**Keywords:** *Green composite, Biodegradable polymer, Bamboo fiber, Ecobras™/Evella.*