

## **ESTUDO DA BIODEGRADABILIDADE DE COMPÓSITOS POLIMÉRICOS REFORÇADOS FIBRAS NATURAIS NA CONCEPÇÃO DE COMPOSTEIRAS**

**Marina J.F. de Araujo<sup>1\*</sup>, Daniela R. Mullinari<sup>2</sup>**

1) Curso de Graduação em Engenharia Ambiental, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, Brasil.  
[marina\\_jfa@hotmail.com](mailto:marina_jfa@hotmail.com)

2) Departamento de Engenharia de Mecânica, Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Resende, Brasil

*Recebido: Diciembre 2014; Aceptado: Julio 2015*

### **RESUMO**

O presente trabalho teve como meta o desenvolvimento de uma composteira sustentável de digestão predominantemente anaeróbia da matéria orgânica. A composteira foi desenvolvida a partir de um compósito de resina poliéster reforçada com fibras da palmeira a fim de contribuir tanto para a acentuação das propriedades mecânicas da composteira como também para o resíduo gerado no consumo do palmito na grande extensão territorial brasileira. Além disso, foi estudada a biodegradação do compósito desenvolvido em contato com o material orgânico depositado na composteira. Os resultados obtidos demonstraram que a composteira desenvolvida gera composto orgânico ideal para agir como fertilizante agrícola e que o compósito em contato com a matéria orgânica em decomposição reduziu a propriedade mecânica do material.

**Palavras-chave:** compostagem, compósitos poliméricos, fibras naturais.

### **ABSTRACT**

This study was aimed at developing a sustainable composter which has predominantly anaerobic digestion of organic matter. The composter was developed from a polyester resin composite reinforced with palm tree fibers in order to contribute to both an enhancement of mechanical properties of composter as well as the waste generated by consumption of palm in the large Brazilian territory. Furthermore, it was studied the biodegradability of the developed composite in contact with the organic material deposited in the composter. The results showed that the developed composter generates optimum organic compound to act as an agricultural fertilizer and the composite in contact with decomposing organic matter reduced mechanical properties of the material.

**Key-words:** Polymer Composite, Natural Fibers, Composting.

### **INTRODUÇÃO**

O mundo tem sofrido consequências de elevada ação antrópica em seus ecossistemas. Uma das problemáticas que apresentam uma série de impactos ambientais negativos aos solos, às águas e aos seres vivos dependentes destes fatores, é a questão da disposição inadequada de lixo domiciliar em locais sem preparação prévia do solo que o recebe. A quantidade de “lixo” produzido pelas cidades é tão grande que os sistemas naturais não conseguem reintegrá-los nos ciclos biogeoquímicos satisfatoriamente. De uma maneira geral, esta produção está diretamente relacionada a fatores socioeconômicos, ao crescimento populacional, à diversificação de bens e serviços e às alterações no estilo de vida.

Neste contexto, ocorre a depreciação da paisagem, odores provocados pela degradação da matéria orgânica, presença de vetores como moscas, formigas, baratas, ratos e mosquitos, e a presença de chorume que é um líquido escuro altamente poluente, originado da decomposição dos resíduos orgânicos, este líquido apresenta alta carga de matéria em decomposição, que em contato com rios e lagos reduz a quantidade do oxigênio, causando a morte dos organismos [1].

Por outro lado, esses resíduos sólidos orgânicos são materiais biodegradáveis, com certo poder nutritivo os quais poderão ser utilizados para diversas finalidades como alimentação animal e principalmente utilizados para a realização de compostagem.

Dentre as propostas de intervenção que levam a uma melhora desta condição, a compostagem é uma tecnologia sustentável, na qual a parte orgânica do lixo é transformada gerando como produto final um composto que pode ser usado na fertilização agrícola do solo e também na melhora de sua estrutura física, evitando assim a produção do chorume. A compostagem permite aproveitar os resíduos orgânicos, que constituem mais da metade do lixo domiciliar [2].

O processo de compostagem, por sua vez, prevê duas etapas distintas no seu desenvolvimento: a primeira de biodegradação do resíduo orgânico e a segunda de maturação, cura ou humificação do composto. A compostagem é uma técnica idealizada para se obter mais rapidamente e em melhores condições a desejada estabilização da matéria orgânica [3].

O resultado final do processo de compostagem é a humificação quase total da matéria orgânica, que poderá desta forma, ser utilizada na agricultura. O composto é, portanto, o resultado de um processo controlado de decomposição microbiológica, de uma massa heterogênea de matéria orgânica no estado sólido e úmido, em presença de oxigênio, passando pelas fases de (1) fitotoxicidade ou composto cru ou imaturo, (2) semicura ou bioestabilização, (3) cura, maturação ou humificação, acompanhada da mineralização de determinados componentes da matéria orgânica (compostagem). Vários são os fatores que influem neste processo e muitos deles podem ser monitorados utilizando-se técnicas adequadas [3].

Deste modo, o objetivo proposto para o presente trabalho foi desenvolver uma composteira sustentável que funciona associando a digestão aeróbia da matéria orgânica do lixo à digestão anaeróbia dessa mesma matéria orgânica. A composteira foi desenvolvida a partir de um compósito de resina poliéster reforçada com fibras de palmeira de forma a contribuir também para o resíduo gerado no consumo do palmito no território brasileiro.

A fibra de palmeira cuja extração é feita a partir do caule, folíolos e bainhas externas é freqüentemente descartada [4], [5]. Portanto, as fibras provenientes da palmeira (palmito) são economicamente viáveis para serem utilizadas no desenvolvimento da composteira.

Além do material proposto encaixar como uma possibilidade de amenizar os problemas ambientais fez-se necessário um estudo mais detalhado sobre a biodegradabilidade desses materiais em contato com o material orgânico que será depositado na composteira.

Segundo a norma ASTM D 883, polímeros biodegradáveis são polímeros degradáveis nos quais a degradação resulta primariamente da ação de microorganismos tais como bactérias, fungos e algas de ocorrência natural [6].

A biodegradação é um processo pelo qual compostos orgânicos em contato com o meio ambiente são convertidos em compostos mais simples, mineralizados e redistribuídos através de ciclos elementares como o do carbono, nitrogênio e enxofre. Em geral, derivam desse processo, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, componentes celulares microbianos e outros produtos [6-8].

Atualmente, tem havido um interesse crescente em relação aos polímeros biodegradáveis principalmente quando se considera o desenvolvimento de novos produtos que provoquem menor impacto ambiental. Os compostos de celulose, o álcool polivinílico, os polilactatos, os poliésteres e o poli(β-hidroxibutirato-co-valerato) são alguns exemplos de polímeros biodegradáveis [6, 7].

Os poliésteres são polímeros biodegradáveis contendo grupos funcionais ésteres em sua estrutura. A maioria dos compostos de alta massa molecular que apresentam biodegradabilidade são poliésteres. A principal razão é que as estruturas desses materiais são facilmente atacadas por fungos através de hidrólise. Os poliésteres podem oferecer uma grande variedade de propriedades, apresentando-se como plásticos rígidos altamente cristalinos [6].

As fibras naturais podem sofrer biodegradação devido a agentes biológicos, meios ácidos e alcalinos, absorção de umidade, radiação ultravioleta e temperatura. Os componentes lignocelulósicos das fibras naturais respondem de diferentes formas aos meios citados. O processo de degradação fotoquímica por luz ultravioleta (UV), por exemplo, ocorre quando as fibras são expostas a ambientes externos. A degradação ocorre inicialmente na lignina, que é responsável pela mudança de cor da fibra. Em comparação a lignina, a celulose é muito menos suscetível a degradação UV, em contrapartida a hemicelulose e a celulose são mais suscetíveis a altas temperaturas [5].

Desta forma, o estudo da biodegradabilidade no material proposto é tido como fundamental, uma vez que a compostagem é um processo de gerenciamento que controla a decomposição e a transformação de materiais biodegradáveis em substâncias chamadas compostos, húmus ou matéria orgânica estabilizada.

Considerando os aspectos supracitados, o objetivo geral do trabalho foi estudar o potencial de biodegradabilidade do compósito polimérico reforçado por fibras naturais da palmeira utilizados na concepção da composteira quando em contato com a matéria orgânica em decomposição.

## **METODOLOGIA**

**Obtenção dos protótipos da composteira.** A composteira obtida a partir do compósito de poliéster reforçada com fibras provenientes da palmeira real australiana foi fabricada em forma de prisma de base hexagonal como mostra a Figura 1.



Figura 1. Protótipo da composteira.

Os dois protótipos da composteira, representados na Figura 1, foram obtidos a partir do compósito de resina de poliéster reforçado com fibras de palmeira utilizando o método de moldagem por compressão. Utilizou-se 5 Kg da fibra para a montagem de cada composteira que foram adquiridos por empresas doadoras dessas fibras já pulverizadas, trituradas (20 mesh) e secas por um processo de secagem natural. Utilizou-se também a resina poliéster isoftálica insaturada comercial, trata-se de uma resina não acelerada, de média reatividade, de cura rápida e uniforme, teor de estireno máximo de 44%. A razão estequiométrica de resina/iniciador utilizada para a reação de cura foi de 100 partes em volume de resina poliéster para 4 partes em volume de peróxido de metil-etil-cetona (PMEK).

As fibras de palmeira foram misturadas a resina de poliéster e o material resultante colocado em um molde de tamanho 100 cm·40 cm. Durante o período de 48 horas de secagem das placas de fibras de palmeira, foram colocados pesos na parte superior e inferior da placa para evitar que a placa encurvasse. As placas fabricadas foram unidas com resina epóxi dando forma de prisma de base triangular a cada protótipo, isto é, a cada recipiente de compostagem.

Após a fabricação da composteira, iniciou-se o depósito diário de lixo orgânico nos dois protótipos. As composteiras foram abastecidas em paralelo, isto é, o mesmo volume e tipo de lixo orgânico foram depositados simultaneamente a fim de que não houvessem consideráveis variações nos resultados relacionados à biodegradabilidade do material de concepção da composteira para os compósitos em contato em matéria orgânica.

Para cada camada de alimento introduzida durante o período de alimentação (duração de 2 semanas) foi adicionada uma camada de terra vegetal (100 a 200 mL) já que esta reduz a proliferação de vetores indesejáveis em ambientes residenciais e também evita a ocorrência de mau cheiro durante o período da compostagem.

Após a alimentação e maturação, os compostos foram retirados e enviados para análise físico-química em laboratório devidamente credenciado. A análise do composto obtido dos dois favos foi realizada em laboratório credenciado por meio dos métodos SMEWW (*Standard Methods for the*

*Examination of Water and Wastewater*) [9].

**Estudo da biodegradabilidade.** Para o ensaio de biodegradabilidade, foram feitos corpos de prova a partir do mesmo método de fabricação da composteira. Os corpos de prova feitos com compósito polimérico reforçado pelas fibras de palmeira real australiana seguiram a norma ASTM D790 [10], tendo, portanto, como medidas 25 mm de largura, 76 mm de comprimento e 3,2 mm de espessura. Os mesmos corpos de prova foram divididos em: sem contato com a matéria orgânica e após 180 dias em contato com a matéria orgânica.

**Avaliação das propriedades mecânicas.** Para avaliar as propriedades mecânicas do material de concepção da composteira no estudo, foram realizados testes de flexão com corpos de prova de 0 dias de contato com a matéria orgânica em decomposição na composteira (“favo”) reforçado por fibras de palmeira. Ao fim do período de maturação, foram igualmente realizados testes de flexão com os corpos de prova que estavam com 180 dias de contato com a matéria orgânica na composteira. A Figura 2 a seguir representa um dos corpos de prova sendo submetido a teste de flexão.



Figura 2. Teste de Flexão do corpo de prova após 180 dias de contato com a matéria orgânica.

**Microscopia eletrônica de varredura (MEV).** Para avaliar a superfície do material antes do estudo de biodegradação nos corpos de prova de fibras de palmeira foi utilizada a técnica de microscopia eletrônica de varredura. As micrografias foram obtidas em um microscópio eletrônico de varredura, disponível no *Centro Universitário de Volta Redonda*, usando elétrons secundários, com o intuito de obter informações quanto à morfologia.

Para realização das micrografias, amostras foram fixadas em um suporte com auxílio de uma fita de carbono dupla face e submetidas ao recobrimento metálico com ouro no *Departamento de Materiais da Escola de Engenharia de Lorena/USP*. O mesmo método foi repetido 180 dias com os corpos de prova que permaneceram em contato com a matéria orgânica em decomposição.

## RESULTADOS

Após os 180 dias de compostagem foram retiradas amostras de composto das duas composteiras para análise físico-química. A Tabela 1 mostra os resultados analíticos das amostras de composto orgânico retiradas da composteira 1 e 2.

Tabela 1. Resultados Analíticos das amostras de composto orgânico.

PARÂMETROS	Unidade	Resultados		Métodos de SMEWW
		Amostra 1	Amostra 2	
Nitrogênio amoniacal	mg/kg	49,10	64,95	Method 4500/SW 846
Fósforo Total	mg/kg	112.185,50	114.176,53	Method 4500/SW 846
Relação C/N	-	0:1899	0:2787	- /SW 846
pH a 25°C	-	6,23	5,91	Method 4500/SW 846
Carbono orgânico	mg/L	< 0,03	< 0,03	Method 4500/SW 846
Condutividade elétrica	µS/cm	4.070,00	4.380	Method 2510/SW 846
Nitrato	mg/kg	3.292,00	4.574	Method 4500/SW 846
Nitrogênio	mg/kg	1.899,00	2.787	Method 4500/SW 846
Potássio	mg/L	1.884,29	1.306,67	Method 3111/SW 846
Cálcio	mg/L	10.118,32	8.107,16	Method 3111/SW 846
Magnésio	mg/L	527,42	405,92	Method 3111/SW 846
Umidade	%	22,18	19,58	- /SW 846

Por meio dos resultados quantitativos dos compostos orgânicos obtidos nas composteiras desenvolvidas foi possível perceber que os compostos obtidos favorecem a frutificação e a floração devido à grande concentração de fósforo total e favorecem também a estimulação da parte verde das plantas devido à relação C/N (carbono/nitrogênio). Além desses fatos, os compostos orgânicos obtidos estão na faixa de pH entre 5,5 e 6,5 considerada ideal por Soares *et al.* [11] pelo fato oferecer melhor disponibilidade de nutrientes às plantas quando o adubo se encontra nessa margem de pH.

O estudo da biodegradação dos materiais evidenciou as propriedades mecânicas dos materiais foram afetadas quando em contato com a matéria orgânica. A Tabela 2 mostra os resultados obtidos dos ensaios de flexão dos compósitos sem contato com a matéria orgânica e após 180 dias em contato com a matéria orgânica.

Tabela 2. Propriedades mecânicas dos compósitos.

Material	Tensão máxima (MPa)	Módulo de elasticidade (MPa)
CPS	44,64 ± 2,34	2835,8 ± 142,2
CPC	16,4 ± 0,98	1973,8 ± 104,1

\*CPS (compósito de poliéster reforçado com fibras de palmeira sem contato com a matéria orgânica);  
CPC (compósito de poliéster reforçado com fibras da palmeira com contato com a matéria orgânica).

Observou-se que as propriedades mecânicas dos compósitos foram reduzidas após os 180 dias

em contato com a matéria orgânica devido à ação dos microorganismos responsáveis pela decomposição nas várias fases da compostagem. Após o ensaio foi analisado a fratura dos mesmos corpos de prova, com o intuito de avaliar a interação fibra/matriz. A Figura 3 ilustra as fraturas dos compósitos sem e com contato com composto orgânico.

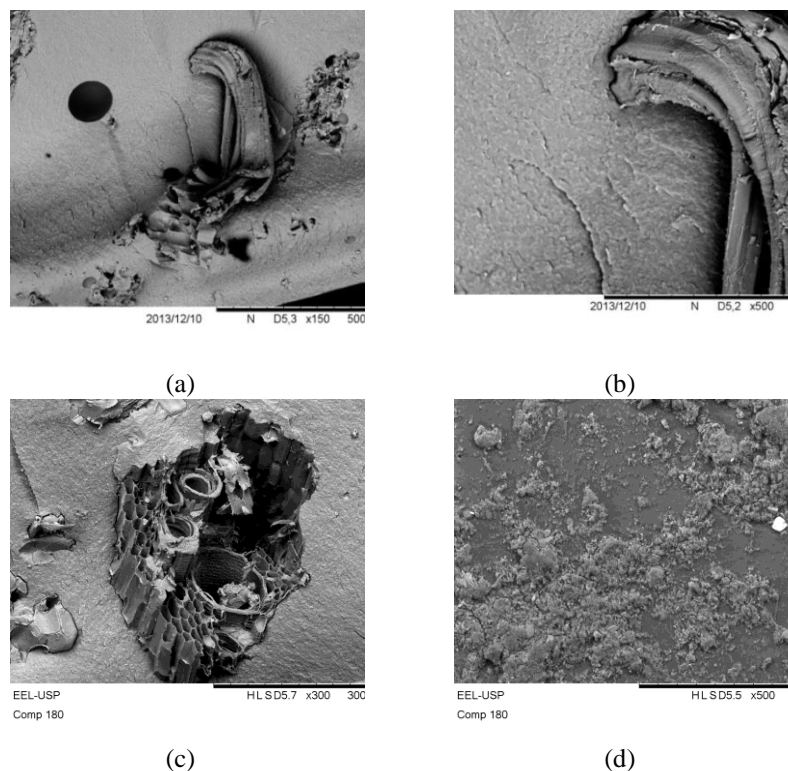


Figura 3. Micrografias da fratura dos compósitos sem contato (a e b) e com contato (c e d) resíduos orgânicos. (a) Micrografia de 500x realizada com 0 dias de contato com a matéria orgânica; (b) Micrografia de 200x realizada com 0 dias de contato com a matéria orgânica; (c) Micrografia de 300x realizada com 180 dias de contato com a matéria orgânica; (d) Micrografia de 500x realizada com 180 dias de contato com a matéria orgânica.

Analisando as micrografias observou-se uma boa interação fibra/ matriz nas fraturas dos compósitos sem contato com a matéria orgânica. Além disso, percebeu-se nas micrografias representadas na Figura 3c e 3d um desgaste no compósito quanto a coloração e as fissuras mostradas na figura, podendo este estar relacionado aos ataques de microorganismos participantes na decomposição da matéria orgânica durante dos 180 dias de compostagem.

## CONCLUSÃO

Pela observação dos aspectos analisados nos estudos de qualidade do composto orgânico obtido nas composteiras fabricadas, é possível inferir que as composteiras construídas a partir de compósitos poliméricos reforçados por fibras naturais são geradoras de potenciais fertilizantes agrícolas em meio residencial, podendo beneficiar tanto espaços rurais, onde há agricultura familiar/subsistência conferindo mais lucro e melhor qualidade nutritiva para alimentos fornecidos por esse setor, quanto aos espaços urbanos, reduzindo a quantidade de lixo orgânico nas grandes

idades, promovendo a utilização de parte do adubo orgânico gerado com a compostagem domiciliar em projetos de arborização das cidades e em projetos sustentáveis como o “teto verde” melhorando a qualidade do ar e conseqüentemente, a qualidade de vida.

Na observação dos resultados referentes ao estudo da biodegradação dos materiais foi evidenciado que o compósito em contato com o material orgânico reduziu a resistência e a rigidez do material. As análises de fratura revelaram uma boa interação fibra/matriz, mas observou-se a presença de fungos na superfície do compósito após 180 dias em contato com o material em decomposição.

Tendo em vista que os polímeros e as fibras naturais possuem um potencial de biodegradação, os resultados obtidos não comprometeram fortemente o material de concepção da composteira podendo esta, portanto, ser utilizada em domicílios. Todavia, é também válido estudar o uso de outras matrizes poliméricas na fabricação de composteiras, como os polímeros termoplásticos, a fim de tornar a composteira mais acessível em meio a população.

Como expectativa do projeto pode-se dizer que é certa a continuação dos estudos de viabilidade de recursos exauríveis por recursos renováveis em outros artefatos, além de composteiras, de modo a contribuir para a sustentabilidade intrageração e intergerações.

**Agradecimentos.** Os autores agradecem ao CNPq pelo apoio financeiro.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] El Fadel M, Douseid E, Chahine W, Alaylic B “Factors influencing solid waste generation and management”, *Waste Management*, **22(3)**, 269 (2002)
- [2] Maragno ES, Trombin DF, Viana E. “O uso da serragem no processo de minicompostagem”, *Engenharia Sanitária e Ambiental*, **12**, 355 (2007)
- [3] Silva LMS “Compostagem de resíduos sólidos urbanos em locais contemplados com coleta seletiva: Influência da triagem e da frequência de revolvimento”. Dissertação (mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento), Universidade Estadual de Londrina, 2009.
- [4] Simas KN, Vieira LN, Podestá R, Vieira MA, Rockenbach II, Petkowicz LO, Medeiros JD, Francisco A, Amante ER, Amboni RDMC “Microstructure, nutrient composition and antioxidant capacity of king palm flour: a new potential source of dietary fibre”, *Bioresource and Technology*, **101**, 5701 (2010)
- [5] Ribeiro JH “SOS palmito”., *Revista Globo Rural*, **3**, 24 (1996)
- [6] Rosa DS, Pantano Filho R ”Biodegradação um ensaio com polímeros”, Bragança Paulista, Editora Moara, 2003
- [7] De Paoli MA “Degradação e estabilização de polímeros”, SP, Arttliber Editora, 2002
- [8] Del Tio J “Celulose e celulignina de bagaço de cana: obtenção e estudo da biodegradabilidade de compósitos com polipropileno”. Dissertação (Mestrado em Bioquímica) – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2006
- [9] SMEWW, APHA “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”. American Public health Association, 17ª Edition, 1995
- [10] Norma ASTM D 790-02, *Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials*, Vol. 8.01, Filadelfia (USA): American Society for Testing and Materials, 2003
- [11] Soares Alexandre HV, Silva Carlos A, Zambalde André “Um sistema especialista para o cálculo da necessidade de calagem e recomendações de corretivo”, UFLA, 2004