



## XII-055 - DESENVOLVIMENTO DE COMPÓSITO POLIMÉRICO BIODEGRADÁVEL A PARTIR DE GLICEROL, AMIDO E FIBRAS VEGETAIS

**Rosana Louzada Müller<sup>(1)</sup>**

Acadêmica do curso de Química Industrial na Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC)

**Daniel Brinckmann Teixeira**

Acadêmico do curso de Engenharia Ambiental na Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC)

**Cláudia Mendes Mählmann**

Professora do Departamento de Química e Física da Universidade de Santa Cruz do Sul, UNISC; Doutoranda em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais pela Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – PPGEM/UFRGS; Mestre em Física pela Universidade Federal de Santa Catarina; Graduada em Física pela Universidade de Santa Cruz do Sul.

**Adriane Lawisch Rodríguez**

Professora do Departamento de Engenharia, Arquitetura e Ciências Agrárias da Universidade de Santa Cruz do Sul, UNISC; Doutora em Engenharia pela Universidade Tecnológica de Berlim, Alemanha; Mestre em Engenharia Metalúrgica e de Materiais pela Escola de Engenharia da UFRGS; Engenheira Química pela Escola de Engenharia da PUCRS.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Liberato Salzano Vieira da Cunha, 392 – Bairro Verena – Santa Cruz do Sul – RS – CEP: 96820-110 – Brasil – Tel: +55 (51) 2109-1572 - e-mail: ro-muller@bol.com.br.

### RESUMO

O consumo abusivo de plásticos gera um grande problema com relação à disposição final desses resíduos. Eles são materiais inertes, porém ocupam grandes volumes em aterros, diminuindo, assim, a vida útil destes. Com a intenção de minimizar os impactos ambientais causados pelos plásticos, tem-se a alternativa de produção de plásticos biodegradáveis utilizando, como por exemplo, amido (oriundo de mandioca, milho, batata, entre outros), em sua composição. O amido pode ser plastificado através da sua desestruturação na presença de determinados plastificantes (água e/ou polióis), dando origem a um material semelhante a um plástico. Além desses, há ainda a possibilidade de desenvolvimento de compósitos biodegradáveis utilizando fibras vegetais como reforço. O objetivo principal de se produzirem compósitos é o de combinar diferentes materiais para produzir um único produto com propriedades superiores às dos componentes unitários. O presente trabalho teve por objetivo o desenvolvimento de um polímero e compósito biodegradáveis, sendo a síntese realizada com amido de mandioca, glicerol e fibras vegetais. Os materiais obtidos foram avaliados através das análises de: espectroscopia no infravermelho e absorção de água (ASTM D-570). Além destas análises foi realizada a avaliação da biodegradabilidade dos plásticos e compósitos biodegradáveis, através do procedimento descrito pela norma ASTM D-5338-98, que determina o grau e taxa de biodegradação aeróbica do plástico em exposição em um ambiente de compostagem controlado, em escala laboratorial.

**PALAVRAS-CHAVE:** Compósito biodegradável, amido, glicerol, fibras vegetais, biodegradação.

### INTRODUÇÃO

Os plásticos são materiais que podem ser resistentes como a madeira, sem apodrecer como ela, e mais leves que o ferro, sem enferrujar. Além dessas características, possuem baixa permeabilidade a gases e vapores, são resistentes à oxidação, resistentes a muitos produtos químicos, apresentam baixa condutibilidade, são de fácil processamento e permitem a obtenção de propriedades otimizadas. Tais propriedades já não são tão desejadas nos dias de hoje, para alguns casos de aplicação de materiais poliméricos, pois o que se busca são soluções para diminuir o consumo desses materiais, devido a sua permanência no meio ambiente após o descarte.

Para minimizar os problemas ambientais causados pela disposição dos plásticos tem-se a alternativa de desenvolver plásticos biodegradáveis. Segundo a *American Society for Testing and Materials* (ASTM D-883), os plásticos biodegradáveis são plásticos degradáveis, nos quais a degradação resulta primariamente da ação de microorganismos, tais como bactérias, fungos e algas de ocorrência natural (KRZAN, 2006; ROSA, 2002). Os plásticos biodegradáveis podem ser de ocorrência natural ou de origem sintética. Entre os polímeros



biodegradáveis naturais destacam-se como os mais importantes o amido (polissacarídeo) e os polihidroxialcanoatos (PHAs), poliésteres bacterianos.

O processo de degradação plástica compreende duas fases: desintegração e mineralização. A desintegração está associada com a deterioração das propriedades físicas, tais como a descoloração, esfarelamento e a fragmentação. A segunda etapa do processo de degradação – a mineralização – ocorre quando os microorganismos digerem os produtos da degradação plástica (aeróbica ou anaeróbica) e converte-as aos produtos inerentes comuns da digestão. Essa etapa consiste na conversão final dos fragmentos plásticos, à  $\text{CO}_2$ , água e biomassa (sob circunstâncias aeróbicas), e  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$  e biomassa (sob circunstâncias anaeróbicas). Desse modo, os produtos finais da degradação são reaproveitados no ambiente através dos ciclos elementares, como o do carbono, nitrogênio e enxofre.

Esta é a base de todos os testes padrão do biodegradação, em que a quantidade de  $\text{CO}_2$  produzido (ou de  $\text{CH}_4$  sob circunstâncias anaeróbicas) é monitorada. A medida do  $\text{CO}_2$  ou  $\text{CH}_4$  liberado e a comparação com a quantidade teórica baseada no índice do carbono na amostra plástica dão a evidência direta da taxa da degradação.

O amido é o principal material de reserva do reino vegetal, constituído principalmente por dois polissacarídeos, a amilose e a amilopectina, ambos formados por unidades constitucionais repetitivas de  $\alpha$ -D-glicose. Essas moléculas possuem dois importantes grupos funcionais: O grupo  $-\text{OH}$ , suscetível às reações de substituições, e as ligações C-O-C susceptíveis à quebra de cadeias.

Para se obter o amido termoplástico é necessário destruir a estrutura semicristalina original dos grânulos. Sendo assim, o amido deve ser aquecido utilizando-se um plastificante, como, por exemplo, água, glicerol ou sorbitol, e cisalhamento a altas temperaturas ( $90 - 180^\circ\text{C}$ ). Desse modo, ele derrete e flui, permitindo seu uso em equipamentos para processamento de plásticos sintéticos, como extrusoras, injetoras, cilindros, misturadores intensivos, entre outros.

Além de plastificante, a água também tem a função de agente desestruturante do grânulo do amido, rompendo as ligações hidrogenadas entre as cadeias. O poliálcool (glicerol, sorbitol) permitirá a obtenção de uma fase fundida em temperatura inferior à de degradação do amido. O processo de gelatinização não ocorre sem um plastificante, uma vez que as temperaturas de transição vítrea e de fusão do amido são maiores que a sua temperatura de decomposição.

Os plásticos de amido podem ser utilizados na manufatura de pequenos artefatos rígidos ou flexíveis como copos, pratos, talheres, embalagens para alimentos, objetos comestíveis para animais, sacos de lixo, vasos para plantas, cobertura temporária de mudas e outros produtos que não necessitem de uma longa vida útil. Além disso, apresentam grande potencial para aplicação em matrizes de liberação controlada de medicamentos e de pesticidas.

As fibras vegetais podem servir de reforço para polímeros, contribuindo para a resistência mecânica do material. Diversos tipos de fibras naturais têm sido utilizados, constituindo-se basicamente de celulose e hemicelulose, com moléculas unidas umas às outras por lignina. Esses constituintes são polímeros naturais que podem substituir os polímeros sintéticos em compósitos, possibilitando o desenvolvimento de novos materiais e novas tecnologias de produção. As características marcantes das fibras são alta resistência e rigidez e baixa massa específica. Outra importante propriedade das fibras é a deformação total até a ruptura (ductilidade), o que esta influencia bastante na resistência do compósito. Além disso, provém de fontes renováveis, são disponíveis, moldáveis, não-abrasivas, porosas, viscoelásticas, biodegradáveis, combustíveis e reativas.

Neste trabalho são apresentados os resultados do estudo do desenvolvimento de matrizes poliméricas e compósitos biodegradáveis, avaliando o potencial de biodegradação dos mesmos. As matrizes poliméricas foram desenvolvidas com amido de mandioca, glicerol e água, e os compósitos foram produzidos a partir das matrizes poliméricas de amido e fibras de rami. As fibras de rami foram obtidas de cordas utilizadas por indústrias fumageiras para prender as folhas de fumo que, após o uso, são dispostas como resíduos.



## METODOLOGIA

Os procedimentos experimentais seguidos durante a realização do trabalho foram divididos em cinco etapas: obtenção da matriz polimérica biodegradável, preparação das fibras de rami, obtenção dos compósitos biodegradáveis, avaliação das propriedades físicas e avaliação da biodegradabilidade dos materiais.

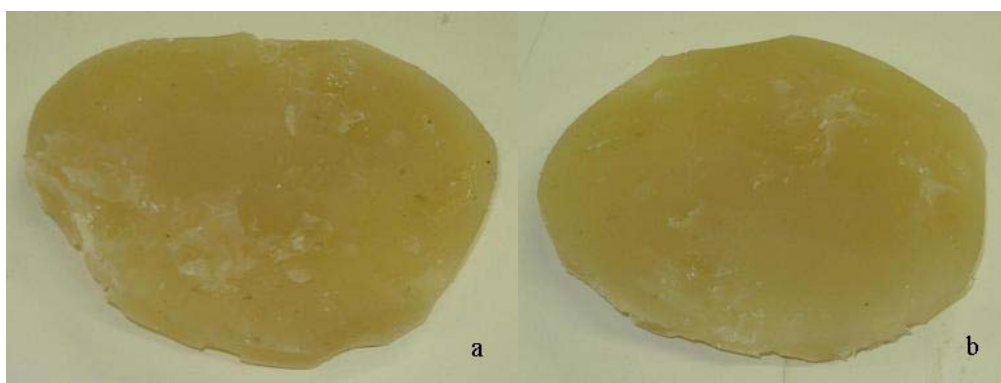
### OBTENÇÃO DA MATRIZ POLIMÉRICA

Foram testadas diversas misturas com composições diferentes de amido, glicerol e água, a fim de otimizar a melhor proporção entre os componetes. As quantidades de água utilizadas nas misturas foram testadas de modo a conseguir a menor quantidade que possibilitasse uma mistura homogênea com completa gelatinização do amido, pois quanto menor a concentração de água, mais fácil a sua remoção para a solidificação do material.

Depois de testadas diversas misturas, constatou-se que as melhores matrizes poliméricas produzidas foram obtidas pela mistura de (A) 40% de amido, 20% de glicerol e 40% de água, e (B) 35% de amido, 15% de glicerol e 50% de água, com a utilização do forno de microondas nas mesmas condições citadas anteriormente.

Para a obtenção da matriz polimérica “A” (Figura 1-a) foram adicionados em um recipiente plástico 40% (m) de amido de mandioca (previamente seco), 20% (m) de glicerol e 40% (m) de água deionizada, totalizando 150g. Os componentes foram misturados com um bastão de vidro e a mistura foi levada ao forno de microondas para pré-aquecimento em potência baixa. Em seguida a potência foi alterada para “média”, na qual permaneceu até completa gelatinização do amido.

A matriz polimérica “B” (Figura 1-b) foi obtida pela mistura de 35% (m) de amido, 15% (m) de glicerol e 50% (m) de água, totalizando 150g. Para ocorrer a gelatinização do amido seguiu-se o mesmo procedimento da matriz “A”. Enquanto permaneceram quentes, as matrizes (A e B) possuíam aspecto gelatinoso, e ao resfriar elas sofreram solidificação. Foram produzidas cerca de 15 amostras para cada tipo de matriz, e estas foram armazenadas em dessecador até o momento da utilização para fabricação dos compósitos.



**Figura 1 – (a) Matriz polimérica de amido, glicerol e água “A” (40:20:40) e (b) matriz polimérica de amido glicerol e água “B” (35:15:50), respectivamente.**

Para obter placas de polímero puro com concentração de 40% de amido, 20% de glicerol e 40% de água, foram utilizadas cinco amostras do tipo “A”. As amostras foram colocadas em um molde, e este foi colocado em uma prensa previamente aquecida a 70 °C. Foi aplicada uma pressão de 10 ton que, juntamente com aquecimento, fez com que as amostras fundissem e se misturassem dentro do molde. Após duas horas de prensagem o material foi resfriado a temperatura ambiente e após foi levado a estufa a 60 °C para evaporar a água remanescente da mistura.

A produção das placas com composição de 35% de amido, 15% de glicerol e 50% de água foi realizada com 5 amostras do tipo “B”, seguindo o mesmo procedimento de prensagem e secagem descrito para as misturas da composição anterior.

### OBTENÇÃO DAS FIBRAS DE RAMI

As cordas de rami (resíduos de indústrias fumageiras) foram cortadas em um picotador, adquirindo um tamanho de aproximadamente 1 cm de comprimento. A seguir foram lavadas com água destilada e secas em estufa a 60 °C. As fibras limpas, secas e picadas são visualizadas na Figura 2.



Figura 2 – Fibras de rami após corte, lavagem e secagem.

### OBTENÇÃO DOS COMPÓSITOS

Foram produzidos dois tipos de amostras, sendo a primeira amostra produzida a partir da matriz de polímero “A” com adição de fibras de rami, e a segunda a partir da matriz “B” e fibras. A quantidade de fibras utilizada foi calculada sobre a massa da matriz, sendo essa considerada como 90% da massa total, e a quantidade de fibras como 10% da mesma.

O compósito “C<sub>A</sub>” foi produzido a partir de 300g de matriz “A” e 33,3 g de fibras. Os componentes foram misturados em homogeneizador até que a matriz fundisse e se misturasse com as fibras, processo que levou cerca de 20s. Após, a mistura foi colocada em um molde e este foi levado à prensa pré-aquecida a 70 °C. Foi aplicada uma pressão de 10 ton, que possibilitou à mistura adquirir a forma de uma placa. A prensagem durou duas horas, e posteriormente a placa foi levada à estufa a 60 °C até evaporar a água remanescente da composição. Na Figura 3 é exibida a placa de compósito “C<sub>A</sub>”.



Figura 3 – Placa de compósito “C<sub>A</sub>”.

Para o processamento do compósito “C<sub>B</sub>” foram utilizados 300g de matriz “B” e 33,3g de fibras, seguindo os mesmos procedimentos de homogeneização, prensagem e secagem utilizados na produção de “C<sub>A</sub>”. A Figura 4 mostra a placa de compósito “C<sub>B</sub>”.



Figura 4 – Placa de compósito “C<sub>B</sub>”.

### AVALIAÇÃO DOS MATERIAIS

As matrizes “A” e “B” e os compósitos “C<sub>A</sub>” e “C<sub>B</sub>” foram avaliadas quanto ao ensaio de absorção de água, e o compósito “C<sub>A</sub>” também foi avaliado pelo ensaio de biodegradação. As matrizes puras foram ainda analisadas por espectroscopia no infravermelho. Os ensaios de absorção de água e biodegradação seguiram normas técnicas específicas, como descritas a seguir.

### ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

Este ensaio seguiu a norma ASTM-D570. Os corpos de prova foram cortados em pequenas dimensões, sendo os ensaios realizados em triplicata para cada tipo de amostra. Foram medidas as massas de cada corpo de prova, e em seguida foram mergulhados em um copo de béquer com água deionizada, onde permaneceram por 24 horas. Após este tempo as amostras foram retiradas da água e tiveram novamente suas massas medidas. Através da Equação (1) foi determinado o teor, em porcentagem, de absorção de água das amostras, onde “A” é o teor de absorção, “M<sub>1</sub>” é a massa do corpo de prova antes da imersão e “M<sub>2</sub>” a massa do corpo de prova após a imersão.

$$A = \frac{M_1 - M_2}{M_2} \times 100$$

Equação (1)

### ENSAIO DE BIODEGRADAÇÃO

Como existem variações na construção e operação de sistemas de compostagem, não é esperado que este procedimento simule o ambiente de todos os sistemas em particular. Porém, é esperado que se assemelhe ao ambiente de um processo de compostagem operado sob condições otimizadas. Mais especificamente, pretende-se que este procedimento crie um ambiente de laboratório que permita uma determinação rápida e com reprodutibilidade da biodegradabilidade aeróbica sob condições de compostagem controladas (ASTM, 2000).

Foi realizado o teste descrito pela norma ASTM D 5338 – 98, que determina o grau e taxa de biodegradação aeróbica do plástico em exposição em um ambiente de compostagem controlado, em condições de laboratório. Para realizar esse teste foi montado o sistema mostrado na Figura 5. Em um recipiente B (reator) foram colocadas 25g do compósito “C<sub>A</sub>” imersas em 400g de solo e 270 mL de água destilada. O recipiente foi mantido a temperatura de aproximadamente 58 °C em um banho de óleo. No recipiente C foi colocada uma solução de hidróxido de bário, variando-se a concentração com o decorrer do tempo, cuja função foi a de reagir com o CO<sub>2</sub> e precipitar na forma de carbonato de cálcio (BaCO<sub>3</sub>). A fim de evitar a entrada de CO<sub>2</sub> no reator (proveniente do ar injetado por um compressor de ar), também foi colocado em um recipiente A uma solução de hidróxido de bário a 1% (m/v).





**Figura 5 – Sistema de biodegradação do polímero: (A) recipiente contendo Ba(OH)<sub>2</sub>; (B) reator; (C) recipiente contendo Ba(OH)<sub>2</sub>.**

O sistema de biodegradação permaneceu em funcionamento durante oito dias, sendo que as soluções de Ba(OH)<sub>2</sub> do recipiente C foram trocadas no 3º, 6º e 8º dia. Por meio de titulação com ácido clorídrico (Equação 2), a quantidade de CO<sub>2</sub> gerada na biodegradação do plástico (coletada no recipiente C) pode ser calculada, através da quantidade de Ba(OH)<sub>2</sub> restante na solução. Com a intenção de mensurar a quantidade de CO<sub>2</sub> gerada pela matéria orgânica contida no solo, também foi realizado um teste de biodegradação em branco, utilizando as mesmas condições do ensaio com o compósito.



Equação (2)

## RESULTADOS

Na Tabela 1 são mostrados os resultados encontrados para o ensaio de absorção de água. Através desse ensaio observou-se que os as amostras absorveram uma grande quantidade de água, o que pode propiciar o desenvolvimento de microrganismos, inchamento, fragilização do material e resultar na perda de suas propriedades. Isto ocorreu devido ao caráter hidrofílico do amido e das fibras, sendo a absorção menor para as amostras de compósito.

**Tabela 1 - Porcentagem de Absorção de água para as amostras.**

Amostra	Absorção de água (%)
Polímero Matriz A	76,6
Polímero Matriz B	226,5
Compósito C <sub>A</sub>	64,05
Compósito C <sub>B</sub>	81,15

Ressalta-se também que o glicerol deve ter funcionado como um inibidor da absorção de água, uma vez que o teor de água absorvida foi muito menor para as amostras com maior quantidade deste componente.

Para determinar a quantidade de Ba(OH)<sub>2</sub> remanescente nas soluções contidas no recipiente C durante o ensaio, alíquotas de 100 mL de cada solução foram tituladas com HCl. A solução correspondente aos três primeiros dias de reação foi titulada com HCl 0,05 mol·L<sup>-1</sup>, sendo utilizados 2,8 mL do titulante. A segunda solução, referente aos três dias seguintes, foi titulada com HCl 0,5 mol·L<sup>-1</sup>, consumindo 8,2 mL do titulante. A terceira, relativa aos dois últimos dias de reação, foi titulada com HCl 0,5 mol·L<sup>-1</sup> e consumiu 9,5 mL do titulante.

Foram realizados cálculos estequiométricos que determinaram a quantidade de Ba(OH)<sub>2</sub> restante nas soluções, Ba(OH)<sub>2</sub> que reagiu com o CO<sub>2</sub> e, por fim, a quantidade de CO<sub>2</sub> gerada durante a biodegradação com compósito “C<sub>A</sub>”. A Tabela 2 mostra os valores de CO<sub>2</sub> gerados durante o período de oito dias de ensaio, já considerando a exclusão da massa de CO<sub>2</sub> gerada pelo solo.

Tabela 2 - Massa de CO<sub>2</sub> gerada na biodegradação de “C<sub>A</sub>”.

Tempo (dias)	Massa CO <sub>2</sub> (g)
3	0,51
6	0,47
8	0,09
Total	1,07

Em oito dias de ensaio foram geradas 1,07g de CO<sub>2</sub>, correspondentes a matriz que envolvia as fibras do compósito, fornecendo indícios desta degradação. Após o término do ensaio analisou-se o solo contido no reator e foram encontradas as fibras do compósito envoltas em uma mínima quantidade de matriz, que ainda não havia degradado totalmente. O que se espera para um teste de maior duração é que a matriz polimérica seja completamente degradada e que depois os microorganismos degradem as fibras vegetais dos compósitos para se alimentarem.

Na Figura 6 são mostrados os espectros na região do infravermelho do amido e das matrizes “A” e “B”. Para a amostra Matriz B observou-se maior indicativo da presença de água (~3300 e 1633 cm<sup>-1</sup>). Na amostra matriz A observou-se a presença de maior quantidade de amido devido à banda de 1022 cm<sup>-1</sup>. O restante das bandas permanece semelhante, tanto para a matriz “A” quanto para a “B”.

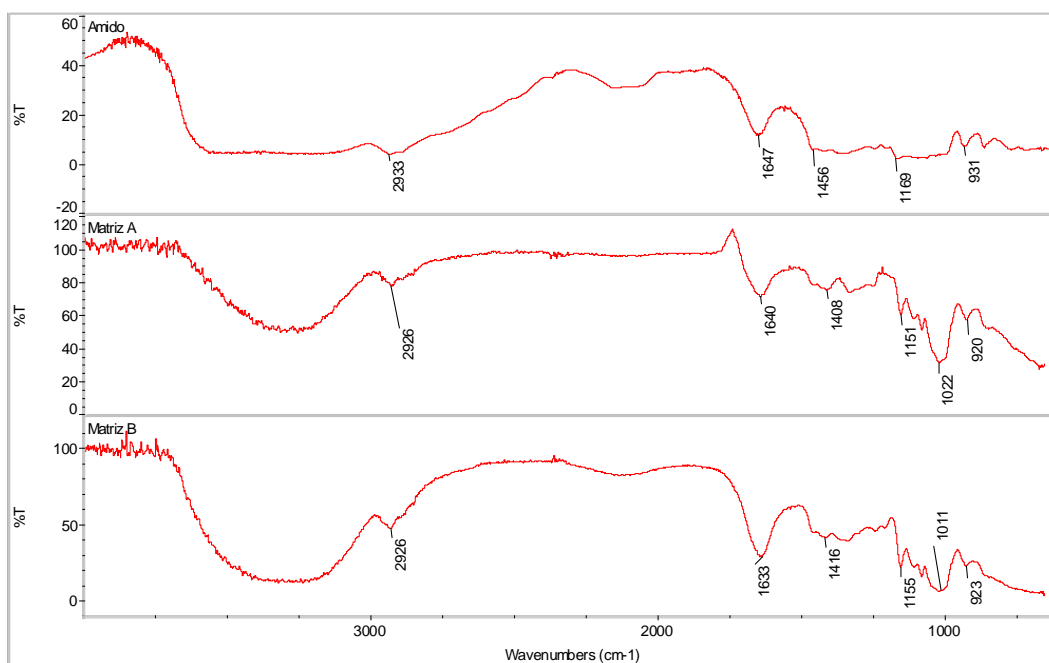


Figura 6 - Espectros na região do infravermelho para, respectivamente, amido de mandioca, matriz “A” e matriz “B”.

A Tabela 3 mostra os números de onda das bandas de absorção com as respectivas ligações entre elementos correspondentes.

Tabela 3 - Bandas de absorção na região do IV.

Amido	Matriz A	Matriz B
~3300 → O-H	~3300 → O-H	~3300 → O-H
2933 → C-H	2926 → C-H	2926 → C-H
1647 → O-H (água)	1640 → O-H (água)	1633 → O-H (água)
1456 → C-H (CH <sub>2</sub> )	1408 → C-H (CH <sub>2</sub> )	1416 → C-H (CH <sub>2</sub> )
1169 → C-O (éter)	1151 → C-H (CH <sub>2</sub> )	1155 → C-H (CH <sub>2</sub> )
931 → C-O (éter)	1022 → C-O (éter)	1011 → C-O (éter)
	920 → C-O (éter)	923 → C-O (éter)



## CONCLUSÕES

A utilização de amido, glicerol e fibras vegetais, que são resíduos sólidos industriais, se mostrou uma possibilidade interessante como matéria-prima para o desenvolvimento de termoplásticos e de compósitos termoplásticos biodegradáveis.

A avaliação de absorção de água indicou um ponto crítico deste tipo de material, mas que para sua biodegradação é essencial. Caso se deseje utilizar este material em contato com ambientes úmidos deve-se revesti-lo com material protetor, ou ainda realizar modificações químicas com este objetivo. Mas esta modificação pode prejudicar a biodegradação do material, através do aumento de tempo ou da impossibilidade de que a biodegradação ocorra.

Observando o espectro na região do infravermelho pode-se concluir que não ocorreu modificação química no amido gelatinizado quando misturado com o glicerol, indicando a possibilidade de biodegradação do material.

A avaliação da biodegradação deveria ter sido realizada em maior tempo, pelo menos 3 meses de ensaio, mas não foi possível pela duração total do desenvolvimento deste trabalho. Mas os resultados obtidos indicaram a ocorrência da degradação da matriz em curto espaço de tempo. Isto indica que se pode realizar modificação química no material, já que sua degradação foi muito rápida, possibilitando assim uma maior número de aplicações para estes materiais.

Como perspectiva futura pretende-se dar continuidade ao trabalho, aperfeiçoando o método de processamento dos polímeros e compósitos biodegradáveis, através da utilização de outros métodos de processamento (como extrusão e injeção), novos agentes plastificantes e também a partir da realização de modificação química do amido.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio recebido do Curso de Química Industrial da Universidade de Santa Cruz do Sul, e da Secretaria de Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul através do Pólo de Modernização Tecnológica do Vale do Rio Pardo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, Philadelphia. Standard test method for determining aerobic biodegradation of plastic materials under controlled composting conditions: ASTM 5338-98, Annual Book of ASTM Standards, v. 08.03, 2000.
2. BITTENCOURT, C. B. Procedimento de ensaio para avaliar propriedades ao cisalhamento de materiais compósitos: método da viga com entalhe em V. Itajubá, 2001. 14f. Monografia (Conclusão de Curso de Engenharia) - Escola Federal de Engenharia de Itajubá, Itajubá, 2001.
3. CANTO, Eduardo Leite do. Plástico: bem supérfluo ou mal necessário? São Paulo: Moderna, 1995. 88p.
4. CÉSAR, Maria Elda Ferreira. Biodegradação da blenda poli( $\epsilon$ -caprolactona) e amido de milho adapatado, em diferente granulometrias, incubada em dois solos. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.
5. CORRADINI, E. et al. Estudo comparativo de amidos termoplásticos derivados do milho com diferentes teores de amilose. Polímeros: Ciência e Tecnologia, v. 15, n. 4, p. 268-273, 2005.
6. HILLIG, É.; et al. Modelagem de misturas na fabricação de compósitos polímero-fibra, utilizando polietileno e serragem de Pinus sp. Ciência Florestal, v. 16, n. 3, p. 343-351, 2006.
7. KRZAN, Andrej. et al. Standardization and certification in the area of environmentally degradable plastics. Polymer Degradation and Stability, v. 91, n. 12, p. 2819-2833, 2006.
8. MANO, Eloisa Biasotto. Polímeros como materiais de engenharia. São Paulo: Edgard Blücher, 1991. 197 p.
9. MICHAELI, Walter. Tecnologia dos plásticos. São Paulo: Edgard Blücher, 1995. 205p.
10. MOHANTY, A. K.; MISRA, M.; DRZAL, L. T. Natural fibers, biopolymers, and biocomposites. London: Taylor & Francis, 2005. 875 p.





11. PAULESKI, D.T.; et al. Características de compósitos laminados manufaturados com polietileno de alta densidade (PEAD) e diferentes proporções de casca de arroz e partículas de madeira. *Ciência Florestal*, v. 17, n. 2, p. 157-170, 2007.
12. ROSA, D. S. et al. Avaliação da Biodegradação de Poli-b-(Hidroxibutirato), Poli-b-(Hidroxibutirato-co-valerato) e Poli-e-(caprolactona) em Solo Compostado. *Polímeros*, v. 12, n. 4, p. 311-317, 2002.
13. SHIMAZU, A. A.; MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E. Efeitos plastificante e antiplastificante do glicerol e do sorbitol em filmes biodegradáveis de amido de mandioca. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 28, n. 1, p. 79-88, 2007.
14. SILVA, M. C. et al. Processamento de amido de milho em câmara de mistura. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v. 24, n. 2, p. 303-310, 2004.
15. THIRÉ, R. M. S.; et al. Redução da hidrofobicidade de filmes biodegradáveis à base de amido. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v. 14, n. 1, p. 57-62, 2004.
16. TITA, S.P.S.; PAIVA, J.M.; FROLLINI, E. Resistência ao Impacto e Outras Propriedades de Compósitos Lignocelulósicos: Matrizes Termofixas Fenólicas Reforçadas com Fibras de Bagaço de Cana-de-açúcar. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v.12, n.4, p.228-239, 2002.
17. VILPOUX, O.; AVEROUS, L. Plásticos a base de amido. In: CEREDA, M. P.; VILPOUX, O. *Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas Latino Americanas*. São Paulo: Fundação Cargill, v. 3, cap. 18, p. 449-474, 2003.
- ARORA, M.L., BARTH, E., UMPHRES, M.B. Technology evaluation of sequencing batch reactors. *Journal Water Pollution Control Federation*, v.57, n.8, p. 867-875, ago. 1985.
18. DATAR, M.T., BHARGAVA, D.S. Effects of environmental factors on nitrification during aerobic digestion of activated sludge. *Journal of the Institution of Engineering (India), Part EN: Environmental Engineering Division*, v.68, n.2, p.29-35, Feb. 1988.
19. FADINI, P.S. Quantificação de carbono dissolvido em sistemas aquáticos, através da análise por injeção em fluxo. Campinas, 1995. Dissertação de mestrado-Faculdade de Engenharia Civil-Universidade Estadual de Campinas, 1995.