

Biodegradação: Uma Alternativa para Minimizar os Impactos Decorrentes dos Resíduos Plásticos

José Marcelo Cangemi, Antonia Marli dos Santos e Salvador Claro Neto

O surgimento dos materiais plásticos modificou muito o dia-a-dia do homem, através da confecção e utilização desses materiais em diversos segmentos sociais e industriais. Mas é justamente uma das maiores virtudes dos plásticos, a durabilidade, que os torna um problema muito grande quando são descartados nos lixões e aterros sanitários. A comunidade científica vem procurando soluções para minimizar as diversas formas de agressão ao meio ambiente. Uma proposta promissora, abordada no presente artigo, são os plásticos biodegradáveis que, ao contrário dos sintéticos derivados do petróleo, sofrem biodegradação com relativa facilidade, se integrando totalmente à natureza.

► biodegradação, polímeros, plástico biodegradável ◀

Recebido em 27/2/04, aceito em 11/3/05

Uma das maravilhas da natureza está no fato dela gerar a complexidade a partir da simplicidade ao unir pequenas moléculas gerando outras, bem maiores. As proteínas, os polissacarídeos e os ácidos nucleicos são os exemplos mais significativos de polímeros (Peruzzo e Canto, 1998).

Visando atender propósitos específicos, os químicos conseguiram não somente elaborar moléculas que se assemelhassem aos polímeros naturais, mas também projetar e produzir muitas novas moléculas. Hoje em dia, os polímeros não existem somente nos seres vivos. Podem ser comprados nos supermercados e estão em todo o nosso redor.

O que é plástico?

A palavra plástico deriva do grego *plastikos*, “próprio para ser moldado ou modelado”. De acordo com o Dicionário de Polímeros (Andrade *et al.*, 2001), plástico é o “termo geral dado a materiais macromoleculares que podem ser moldados por ação de calor e/ou pressão”. Os plásticos possuem unidades químicas ligadas covalentemente, repetidas regularmente ao longo da cadeia, denominadas *meros*. O número de *meros* da cadeia polimérica

é denominado *grau de polimerização*, sendo geralmente simbolizado por n ou então por DP (que são as iniciais do termo em inglês *degree of polymerization*) (Mano e Mendes, 1999).

Quais são os tipos de plásticos?

Uma classificação importante para os plásticos é quanto às características de fusibilidade, segundo a qual esses materiais podem ser divididos em *termoplásticos* e *termorrígidos*. São denominados *termoplásticos* aqueles materiais capazes de serem moldados várias vezes devido à sua característica de tornarem-se fluidos, sob ação da temperatura, e depois retornarem às características anteriores quando há um decréscimo de temperatura. Por outro lado, muitos plásticos são maleáveis apenas no momento da fabricação do objeto; depois de pronto, não há como remodelá-los, já que as cadeias macromoleculares estão unidas entre si por ligações químicas (reticulação). Materiais que se comportam dessa maneira recebem o nome de *termorrígidos* (Lucas *et al.*, 2001).

É importante lembrar que, quando nos referimos a polímero, estamos nos reportando ao nível molecular da matéria. Tanto os plásticos do nosso cotidiano, como também as proteínas, o açúcar, a celulose e o DNA que transporta nosso código genético ao interior do núcleo da célula, são formados por enormes moléculas poliméricas (Snyder, 1995).

A importância dos plásticos

Os plásticos e borrachas, ou seja, os polímeros, são muito importantes na sociedade atual. Leves e resistentes, práticos e versáteis, duráveis e relativamente baratos, eles se tornaram parte do nosso dia-a-dia; sem exagerar, excetuando a nossa comida, o ar e a água, no restante, todas as coisas com as quais temos contato em nosso cotidiano contêm plástico na sua constituição, seja na totalidade ou em algumas partes. E detalhe: hoje em dia, quase tudo é embalado em plásti-

co (Figura 1).

Mas é justamente uma das maiores virtudes do plástico, a durabilidade,



Figura 1: Os plásticos se tornaram parte do nosso dia-a-dia.

que se tornou nas últimas décadas também o seu “calcanhar-de-aquiles”. Polímeros sintéticos puros são geralmente resistentes ao ataque microbiano devido a uma série de fatores, como dureza, absorção limitada de água e tipo de estrutura química. Ainda que os polímeros usados comercialmente possuam componentes como plastificantes, pigmentos, antioxidantes e lubrificantes (constituintes não poliméricos), que proporcionam ao material uma pequena suscetibilidade biológica (Reich e Stivalia, 1971), quando se pensa em tempo de biodegradação isto não chega a ser significativo. O que se constata é que, depois de descartado (Figura 2), o plástico permanece sem se degradar durante décadas, ou mesmo séculos, agravando um dos sérios problemas da sociedade atual: o descarte de lixo.

Analisando dados sobre a varia-



Figura 2: Objetos plásticos descartados em um aterro sanitário.

ção na composição do lixo em São Paulo, observamos que a porcentagem de plástico na composição dos resíduos sólidos vem aumentando com o passar dos anos (Jardim e Wells, 1995) – vide Tabela 1.

Conclusão: há quantidades enormes de objetos plásticos no lixo, e é urgente pensarmos em possíveis soluções. Mas quais seriam elas?

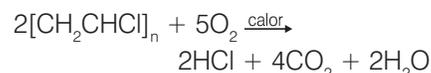
Entre as opções existentes para resolver esse problema ambiental apresentam-se a incineração (reciclagem energética), a reciclagem e a biodegradação.

Incineração

É o termo usado para designar a combustão do lixo municipal. Um incinerador apropriadamente projetado e operado permite que a redução de volume de material a ser aterrado seja substancial. Em muitos países, a incineração é realizada para a conversão de resíduos plásticos em energia. Deve-se levar em conta que o valor energético dos plásticos é equivalente ao de um óleo combustível (37,7 MJ/kg) e, por esta razão, podem-se constituir em valiosa fonte energética (Cepis, 2004).

No entanto, a incineração ainda não está sendo utilizada em grande escala devido ao custo elevado e, em alguns casos, por ser potencialmente arriscada. Alguns plásticos, como o cloreto de polivinila (PVC), causam irritação ou geram gases tóxicos quando queimados. A incineração do PVC gera ácido clorídrico,

uma substância tóxica e muito corrosiva, representada pela reação:



Note-se que são obtidas reações parecidas para quaisquer plásticos halogenados, tais como policloretileno (Benn e McAuliffe, 1981).

Reciclagem

É uma forma de aproveitamento de resíduos plásticos de produtos descartados no lixo. Os materiais que se inserem nessa classe provêm de lixões, sistema de coleta seletiva, sucatas etc. São constituídos pelos mais diferentes tipos de material e resinas, o que exige uma boa separação para poderem ser aproveitados.

Os programas de educação desenvolvidos nas escolas, comunidades e empresas estão dando suporte para a implantação de projetos de coleta seletiva, os quais, além de auxiliarem na geração de empregos e na conservação do meio ambiente, fornecem também matéria-prima de melhor qualidade para a indústria de reciclagem (Pires, 2002).

Polímeros sintéticos puros são geralmente resistentes ao ataque microbiano devido a uma série de fatores, como dureza, absorção limitada de água e tipo de estrutura química

Noutra frente, trabalhos interessantes têm sido lançados nessa área com o

objetivo de auxiliar pesquisadores e empresários a separar os resíduos poliméricos por categorias, utilizando um procedimento sistemático de identificação (Manrich *et al.*, 1997).

No caso dos termofixos, a boa notícia é que se tem encontrado soluções interessantes na tentativa de diminuir o impacto destes no meio

Tabela 1: Variação na composição dos resíduos sólidos em São Paulo (g/kg).

Tipos de materiais	Ano		
	1927	1969	1990
Papel, papelão	134	292	296
Trapo, couro	15	38	30
Plástico	-	19	90
Vidro	9	26	42
Metais, latas	17	78	53
Matéria orgânica	825	522	474

Plástico de açúcar (PHB) obtido a partir da cana-de-açúcar

Açúcar e álcool deixaram de ser os únicos produtos de importância comercial extraídos da cana-de-açúcar (Figura 5). Agora, junta-se a essa dupla a produção de plástico biodegradável a partir do açúcar.

Uma das mais recentes descobertas nessa área é de autoria de duas pesquisadoras da divisão de Química do Agrupamento de Biotecnologia do IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas) (Viveiros, 2003). Elas desenvolveram uma técnica que usa bagaço de cana para produzir plástico biodegradável por meio da ação de bactérias que se alimentam do bagaço e formam, dentro de si, o PHB (polihidroxibutirato), que pode ser usado na fabricação de vasos, colheres e sacolas plásticas, entre outros. A bactéria *Burkholderia sacchari*, que trans-

Do ponto de vista econômico, os plásticos biodegradáveis ainda são mais caros que os derivados de petróleo, mas têm se mostrado bastante competitivos em algumas aplicações, especialmente na área médica, graças à sua biocompatibilidade

forma o que é jogado no lixo em algo que pode ir para as prateleiras dos supermercados, foi descoberta pelo próprio IPT, que já está trabalhando desde 2000 na fabricação de PHB diretamente a partir do açúcar, em uma usina em Serrana – SP. A planta piloto produz de 50 a 60 toneladas por ano de PHB, que é exportado para o Japão, EUA e Europa. O novo processo, usando o bagaço, ainda não foi aplicado comercialmente (Viveiros, 2003).

Biodegradação de polímeros

O estudo da biodegradação de polímeros tem dois caminhos opostos. De um lado, temos muitas aplicações nas quais a resistência dos materiais aos ataques biológicos é necessária. Nessas aplicações, o polímero é exposto ao ataque de vários microrganismos e deve resistir a estes o máximo possível. Implantes dentais, ortopédicos e outros implantes cirúrgicos são expostos ao ataque

biológico no corpo humano. Isolantes e pinturas também são objetos de ataque de microrganismos. Para todas essas aplicações, espera-se que o polímero tenha uma longa vida útil; ele deve ser biorresistente. Felizmente, a maior parte dos polímeros sintéticos de alta massa molecular desempenham esse papel, e o problema se restringe à seleção dos aditivos utilizados na manufatura dos mesmos, os quais devem ser satisfatoriamente biorresistentes ou de natureza fungicida ou bactericida (Kelen, 1983).

Por outro lado, temos uma necessidade cada vez maior de plásticos biodegradáveis, já que para minimizar o impacto ambiental são requeridos polímeros que possam ser degradados e desapareçam por completo pela atuação de microrganismos.

Considerações finais

Do ponto de vista estritamente técnico, os plásticos biodegradáveis ainda não apresentam toda a versatilidade dos convencionais. As novas pesquisas visam justamente aprimorar as características dos novos plásticos.

Do ponto de vista econômico, eles ainda são mais caros que os derivados de petróleo (de duas a três vezes), mas têm se mostrado bastante competitivos em algumas aplicações, especialmente na área médica, graças à sua biocompatibilidade (compatibilidade que ele tem com o organismo humano). Voltando novamente às espumas de poliuretano obtidas a partir do óleo de mamona, na composição química desse material existe uma cadeia de ácidos graxos cuja estrutura molecular está presente nas gorduras existentes no corpo humano; por isso mesmo,



Figura 5: Plantação de cana-de-açúcar.

quando esse material é utilizado em implantes, as células não “enxergam” o mesmo como um corpo estranho e não o repelem.

Outra aplicação de sucesso dos plásticos biodegradáveis na área médica é como veículo para a liberação controlada de drogas em organismos, como hormônios: o recipiente plástico é degradado progressivamente e, com isso, a substância é absorvida pelo paciente no ritmo determinado pelas necessidades terapêuticas (Scientific American Brasil, 2003).

O futuro dos plásticos se mistura um pouco com o próprio futuro da humanidade, e com certeza ainda teremos muitos capítulos nessa história. O que se pode dizer é que, tendo em vista o interesse despertado pelos plásticos biodegradáveis, e pressionadas por apelos populares para a redução da utilização dos plásticos convencionais, as indústrias terão que viabilizar o plástico biodegradável no mercado, e quem sabe conviveremos um pouco mais em harmonia com nosso meio ambiente.

José Marcelo Cangemi (mcangemi@iqsc.usp.br), bacharel em Química com Atribuições Tecnológicas pela UNESP, licenciado em Química pela UNIFRAN e especialista em Química pela UFLA, é doutorando no Instituto de Química de São Carlos da USP (IQSC/USP). **Antonia Marli dos Santos** (amsantos@rc.unesp.br), licenciada e bacharel em Química pela UNESP, mestre pela UFSCar e doutora em Ciências (Físico-Química) pela USP, é docente do Departamento de Bioquímica e Microbiologia do Instituto de Biociências da UNESP, em Rio Claro – SP. **Salvador Claro Neto** (salvador@iqsc.usp.br), licenciado, bacharel, mestre em Química e doutor em Ciências (Química Analítica) pela USP, é técnico de nível superior no IQSC/USP.

Referências bibliográficas

ANDRADE, C.T.; COUTINHO, F.M.B.; DIAS, M.L.; LUCAS, E.F.; OLIVEIRA, C.M.F. e TABAK, D. *Dicionário de polímeros*. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2001. p. 116.

BAKER OIL CO. *Tech. Bull.*, n. 31, 1957.

BENN, F.R. e McAULIFFE, C.A. *Química e poluição*. Trad. L.R.M. Pitombo e S. Massaro. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1981. p. 28-31.

CANGEMI, J.M; SANTOS, A.M.; CLARO NETO, S.; CHIERICE, G.O. e NASCIMENTO, A.R. Análise da biodegradação de polímero derivado de óleo vegetal por termogravimetria. *Livro de Resumos da 26ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química*. Poços de Caldas - MG, 2003. Resumo AB-061.

ERENO, D. Próteses de mamona. *Pesquisa Fapesp*, n. 91, p. 66-71, 2003.

JARDIM, N.S. e WELLS, C. (Coords.). *Lixo municipal: Manual de gerenciamento integrado*. São Paulo: IPT/CEMPRE, 1995.

KELEN, T. *Polymer degradation*. Nova Iorque: Van Nostrand Reinhold, 1983. p. 152-157.

LUCAS, E.F.; SOARES, B.G. e MONTEIRO, E. *Caracterização de polímeros*. Rio de Janeiro: E-papers, 2001. p. 26.

MANO, E.B. e MENDES, L.C. *Introdução a polímeros*. 2ª ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1999. p. 3.

MANRICH, S.; FRATTINI, G. e ROSALINI, A.C. *Identificação de plásticos: Uma ferramenta para reciclagem*. São Carlos: Editora da UFSCar, 1997.

PERUZZO, F.M. e CANTO, E.L. *Química na abordagem do cotidiano*. 2ª ed. São Paulo: Editora Moderna, 1998. p. 502.

PIRES, A.S. A reciclagem de plásticos e o meio ambiente. Em: CAMPOS, J.O.; BRAGA, R. e CARVALHO, P.F. (Orgs.). *Manejo de resíduos: Pressuposto para a gestão ambiental*. Rio Claro: Editora da Unesp, 2002. p. 49-63.

REICH, L. e STIVALA, S.S. *Elements of polymer degradation*. Nova Iorque: McGraw-Hill, 1971. p. 76-78.

SNYDER, C.H. *The extraordinary chemistry of ordinary things*. 2ª ed. Nova Iorque: John Wiley & Sons, 1995. p. 558-562.

SCIENTIFIC AMERICAN BRASIL. Versatilidade e onipresença: Da gasolina aos tecidos e cosméticos, os derivados que permeiam a vida cotidiana. *Scient. Amer. Brasil*, n. 3, 2003. (Edição Especial Petró-

leo) p. 45-49.

VIVEIROS, M. Bagaço vira plástico biodegradável. *Folha de São Paulo*, 11/6/03. Caderno Ambiente. p. A15.

Na Internet

Cepis: <http://www.cepis.ops-oms.org/muwww/fulltext/repind59/qsp/qsp.html> (último acesso em 13/1/2004).

Para saber mais

MELO, I.S.; SILVA, C.M.M.S.; SCRAMIN, S. e SPESSOTO, A. (Eds.). *Contribuição do II Workshop sobre Biodegradação*. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2001. [contém os trabalhos mais recentes desenvolvidos no Brasil na área de biodegradação].

CANTO, E.L. *Plástico: Bem supérfluo ou mal necessário?* São Paulo: Editora Moderna, 1995. p. 68-73. [coloca de maneira sucinta o problema ambiental gerado pelos plásticos, oferecendo subsídios ao leitor para que possa formar uma opinião a respeito do tema].

Anais de workshop sobre biodegradação. Jaguariúna: Embrapa-CNPMA, 1996. [aborda trabalhos na área de biodegradação de plásticos, entre outros].

Abstract: *Biodegradation: An Alternative for Minimizing the Impacts from Plastic Residues* – The emergence of plastic materials greatly modified man's daily life, through the production and use of these materials in several social and industrial segments. But one of the greatest virtues of plastics, durability, is just what turns them into a very large problem when disposed in garbage dumps or sanitary landfills. The scientific community has been looking for solutions to minimize the various forms of aggression to the environment. A promising proposal, dealt with in this article, is the biodegradable plastics that, contrary to the synthetic ones derived from petroleum, undergo biodegradation with relative easiness, being integrated into nature.

Keywords: biodegradation, polymers, biodegradable plastic

Nota

Revisos os pesos atômicos de 16 elementos

Em reunião realizada durante a 43ª Assembléia Geral da IUPAC (União Internacional de Química Pura e Aplicada), que ocorreu em Beijing, China, de 13 a 21 de agosto de 2005, a Comissão sobre Pesos Atômicos e Abundâncias Isotópicas da Divisão de Química Inorgânica aprovou mudanças nas massas atômicas relativas - A_r (pesos atômicos) de 16 elementos químicos. Estas mudanças, apresentadas na tabela ao lado (incerteza entre parênteses), decorrem de novas determinações de abundâncias isotópicas, bem como de revisões de abundâncias isotópicas e massas atômicas anteriores.

Como nas tabelas periódicas da SBQ os pesos atômicos têm no máximo cinco algarismos significativos, somente duas modificações serão

feitas na sua próxima impressão: e samário - de 150,36(3) para neodímio - de 144,24(3) para 144,24, 150,36(2).

Elemento	A_r anterior	A_r nova
Alumínio	26,981 538(2)	26,981 5386(8)
Bismuto	208,980 38(2)	208,980 40(1)
Césio	132,905 45(2)	132,905 4519(2)
Cobalto	58,933 200(9)	58,933 195(5)
Escândio	44,955 910(8)	44,955 912(6)
Fósforo	30,973 761(2)	30,973 762(2)
Lantânio	138,9055(2)	138,905 47(7)
Manganês	54,938 049(9)	54,938 045(5)
Neodímio	144,24(3)	144,242(3)
Ouro	196,966 55(2)	196,966 569(4)
Platina	195,078(2)	195,084(9)
Samário	150,36(3)	150,36(2)
Sódio	22,989 770(2)	22,989 769 28(2)
Tântalo	180,9479(1)	180,947 88(2)
Térbio	158,925 34(2)	158,925 35(2)
Tório	232,0381(1)	232,038 06(2)