

Curso de Tecnologia em Biocombustíveis

PRODUÇÃO, PROPRIEDADES E APLICAÇÕES DOS BIOPLÁSTICOS

MARIANA ROBIATI TELLES

Orientador: Prof^a. Dr^a. Luciana Maria Saran

**Co-orientador(a): Prof^a. Dr^a. Sandra Helena
Unêda-Trevisoli**

**Trabalho apresentado a Faculdade de Tecnologia
de Jaboticabal , para obtenção do título de
Tecnólogo em Biocombustíveis.**

Curso de Tecnologia em Biocombustíveis

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: PRODUÇÃO, PROPRIEDADES E APLICAÇÕES DOS BIOPLÁSTICOS.

AUTOR: MARIANA ROBIATI TELLES

ORIENTADOR(A): PROF(a). DR(a). LUCIANA MARIA SARAN

COORIENTADOR(A): PROF(a). DR(a). SANDRA HELENA UNÊDA-TREVISOLI

Trabalho de Graduação aprovado pela Banca Examinadora como parte das exigências para conclusão do Curso Superior de Tecnologia em Biocombustíveis, apresentado à FATEC-JB para a obtenção do título de Tecnólogo.

PROF(a). DR(a). LUCIANA MARIA SARAN

PROF(a). DR(a). MARIANA CARINA FRIGIERI

PROF(a). RITA DE CÁSSIA VIEIRA MACRI

Data da apresentação: 26 de Novembro de 2010.

Presidente da Comissão Examinadora

T274p Telles, Mariana Robiati
Produção, propriedade e aplicações dos bioplásticos / Mariana Robiati
Telles.— Jaboticabal : Fatec, 2010.
38f.

Orientador: Profa. Dra. Luciana Maria Saran

Co-Orientador: Profa. Dra. Sandra Helena Unêda-Trevisoli

Trabalho (Graduação) – Apresentado ao Curso de Tecnologia em
Biocombustíveis, Faculdade de Tecnologia de Jaboticabal, 2010.

1. Produtos da cana-de-açúcar. 2. Bioplásticos. 3. Polidroxibutirato.
I. Saran, L. M. II. Unêda-Trevisoli, S. H. III. Título.

CDU 664.117

A persistência é o caminho do êxito.

Charles Chaplin

Com amor ao meu pai Luiz,
à minha mãe Cleonice e
às minhas irmãs Bruna e Letícia.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Prof^a. Dr^a. Luciana Maria Saran e a Prof^a. Dr^a. Sandra Helena Unêda-Trevisoli, pelo apoio, amizade, companheirismo e orientação dedicados a este trabalho.

As amigas e amigos de graduação Luciene, Rafaela, Marta, Laís, Tathyany, Ana Carla, Gustavo e Douglas.

Ao Lucas, amigo e companheiro, que participou no dia a dia, do desenvolvimento deste trabalho.

A todos os professores que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

Ao Sr. Eduardo Brondi da PHB INDUSTRIAL S/A, pelas dúvidas esclarecidas.

A Bibliotecária Márcia Aparecida Bellotti, pela ajuda nas pesquisas.

A Janaina Mirabelli, que sempre esteve disposta para esclarecer dúvidas.

A Prof^a. Rita de Cássia Vieira Macri e a Prof^a. Dr^a. Mariana Carina Frigieri, que contribuíram no conteúdo deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Elias de Souza Monteiro Filho e ao Prof. Dr. Marcelo Henrique Armoa, que sempre se mostraram dispostos a ajudar.

Á Deus, pela vida, força e coragem de seguir sempre adiante.

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABELAS	x
RESUMO	xi
ABSTRACT.....	xii
INTRODUÇÃO.....	13
I. PLÁSTICOS CONVENCIONAIS.....	15
I.1. Conceito, composição e fontes de matérias-primas.....	15
I.2. Classificação.....	17
I.3. Propriedades e aplicações.....	19
I.4. Processos de fabricação.....	20
I.5. Impacto ambiental.....	21
II. BIOPLÁSTICOS.....	25
II.1. Conceito, composição e fontes de matérias-primas.....	25
II.2. Processo de obtenção.....	27
II.2.1. Obtenção de poliuretano bioplástico a partir do óleo de mamona.....	28
II.2.2. Obtenção do amido termoplástico a partir do milho.....	29
II.2.3. Processo de obtenção do poli (trimetileno tereftalato) (ptt) bioplástico.....	30
II.3. Propriedades e aplicações.....	31
II.4. Impacto ambiental.....	34
III. BIOPLÁSTICOS DERIVADOS DA CANA-DE-AÇÚCAR.....	36
III.1. Histórico dos PHA's.....	36
III.2. Composição.....	36
III.3. Processo de obtenção.....	38
III.4. Propriedades e aplicações.....	42
III.5. Perspectivas futuras: o mercado para o PHB.....	43
IV. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	45
V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46
ANEXO I.....	53

LISTA DE ABREVIATURAS

AT	Ácido tereftálico
DMT	Dimetil tereftalado
PA	Polímero de amido
PBT	Polibutileno tereftalato
PDO	1,3-propanodiol
PET	Polietileno tereftalato
PHA	Polihidroxialcanoato
PHB	Polihidroxibutirato
PHB/HHx	Poli(3-hidroxibutirato) hidroxihexanoato
PHB/HV	Poli(3-hidroxibutirato) hidroxivalerato
PLA	Polilactatos
PTT	Poli(trimetileno tereftalato)
PVC	Policloreto de vinila
GMO	Organismo genéticamente modificado
ABS	Terpolímero de acrilonitrila, butadieno e estireno

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Formula estrutural do etileno.....	16
FIGURA 2 – Estrutura dos termoplásticos amorfo e semi-cristalino.....	17
FIGURA 3 – Estrutura do poli (β -hidroxibutirato).....	26
FIGURA 4 – Estrutura do polipropileno.....	26
FIGURA 5 – Molécula de triglicéride do ácido ricinoléico.....	29
FIGURA 6 – (a) Estrutura da amilose; (b) Estrutura da amilopectina.....	30
FIGURA 7 – Processo de obtenção do PTT.....	31
FIGURA 8 – Capacidade global de produção de bioplásticos.....	33
FIGURA 9 – Selos para Materiais Compostáveis.....	35
FIGURA 10 – Estrutura geral dos polihidroxialcanoatos.....	37
FIGURA 11 – Esquema do processo de obtenção do poli(hidroxibutirato).....	41

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Tempo Médio de Degradação de Alguns resíduos Sólidos.....	21
TABELA 2 – Composição dos resíduos sólidos urbanos de alguns países.....	22
TABELA 3 – Percentuais de reciclagem de plásticos, pós-consumo, em 2001.....	24
TABELA 4 – Exemplos de bioplásticos, matérias-primas empregadas na obtenção dos mesmos e respectivos métodos de preparação.....	27
TABELA 5 – Potencial de aplicação de bioplásticos na Europa.....	33
TABELA 6 – Capacidade de alguns microrganismos para acumular PHA's.....	38
TABELA 7 – Tipos de bactérias e respectivos substratos carbônicos estudados na obtenção de copolímeros contendo PHA®-3HB como um componente.....	39

RESUMO

Os plásticos convencionais são produzidos, principalmente, a partir de matérias-primas provenientes do petróleo, que se trata de um recurso natural não renovável. Inserido no contexto atual de preocupação crescente com o ambiente, tem-se o bioplástico, um material produzido a partir de matéria-prima renovável e que, em geral, quando descartado em condições que favorecem o processo de decomposição do mesmo, integra-se mais rápido à natureza do que os plásticos convencionais. No que se refere a estudos científicos envolvendo a produção de bioplásticos, uma das descobertas mais recentes nessa área, é o polímero polihidroxibutirato (PHB), que pode ser fabricado a partir do bagaço da cana-de-açúcar, por meio da ação de bactérias que se alimentam do bagaço e formam dentro de si esse polímero. O PHB pode ser usado na fabricação de vasos, colheres e sacolas plásticas, entre outros objetos. O presente trabalho resulta de uma revisão bibliográfica, que visou a obtenção de informações a respeito da produção, das propriedades e aplicações de diferentes tipos de bioplásticos, com ênfase no PHB, que conforme mencionado, pode ser obtido a partir do bagaço da cana-de-açúcar, espécie vegetal largamente cultivada e explorada não só na região de Jaboticabal como em várias outras regiões do Brasil. As informações referentes ao tema foram levantadas, principalmente, junto a trabalhos científicos, publicados nos últimos dez anos e em periódicos especializados. Em 2009, o mercado de bioplásticos no Brasil foi composto principalmente pelo PLA, um bioplástico obtido a partir do amido, e pelas resinas PHB, correspondendo a 1.286 MT (toneladas métricas) e receita de US\$ 4,4 milhões. Em 2015, o mercado de bioplásticos no Brasil deve alcançar US\$ 618 milhões, com 250.086 MT consumidas localmente. No que se refere a fabricação dos bioplásticos, estudos ainda devem ser realizados a fim de que a produção dos mesmos se torne mais viável do que a dos plásticos convencionais, principalmente no que diz respeito às linhagens de bactérias usadas para produzir o PHB. O presente trabalho mostrou que o custo elevado dos substratos empregados na produção do PHB é um dos obstáculos à fabricação deste bioplástico. Para compensar o alto custo com substrato, é necessário utilizar fontes de carbono mais baratas. Uma das principais vantagens do PHB quando comparado aos plásticos convencionais é o seu tempo de decomposição, que é bem menor do que o dos plásticos sintetizados a partir do petróleo, os quais requerem centenas de anos para se decompor.

Palavras-chave: produtos da cana-de-açúcar, bioplásticos, polidroxibutirato .

ABSTRACT

Conventional plastics are produced mainly from raw materials from oil, it is a non-renewable natural resource. Inserted in the current context of increasing concern with the environment, we have the bioplastic, a material produced from renewable raw materials and, in general, when discarded in conditions that favor the decomposition process of the same, it integrates more rapid nature than conventional plastics. With regard to scientific studies involving the production of bioplastics, one of the most recent discoveries in this area, the polymer is polyhydroxybutyrate (PHB), which can be manufactured from sugar cane bagasse-cane, through the action of bacteria that feed on the pulp and form within the polymer itself. PHB can be used to make pots, spoons and plastic bags, among other objects. This work results from a literature review, which aimed to obtain information about the production, properties and applications of different types of bioplastics, with emphasis on the PHB, which as mentioned, can be obtained from sugarcane bagasse sugar, crop cultivated and exploited not only in the region of Jaboticabal as in several other regions of Brazil. Information about the issue were raised, mainly from the scientific papers published over the past ten years, in professional journals. In 2009, the bioplastics market in Brazil was composed mainly of the PLA, a bioplastic derived from starch, and the PHB resin, corresponding to 1,286 MT (metric tonnes) and revenues of \$ 4.4 million. In 2015, the market for bioplastics in Brazil should reach U.S. \$ 618 million, with 250,086 MT consumed locally. As regards the manufacture of bioplastics, but further studies should be conducted so that their production becomes more expensive than conventional plastics, especially as regards the strains of bacteria used to produce PHB. The literature review showed that the high cost of substrates used in the production of PHB is one of the obstacles to the manufacture of bioplastics. To offset higher spending on a substrate, it is necessary to use cheaper sources of carbon. One of the main advantages of the PHB compared to conventional plastics is their time of decomposition, which is much smaller than the plastic synthesized from petroleum, which require hundreds of years to decompose.

Keywords: products of cane sugar, bioplastics, polidroxibutirato.

INTRODUÇÃO

A palavra plástico deriva do grego *plastikos*, que significa próprio para ser moldado e modelado. De acordo com o Dicionário de Polímeros (Andrade *et al.*, 2001), plástico é o termo geral relacionado a materiais macromoleculares ou poliméricos que podem ser moldados por ação de calor e/ou pressão.

Os plásticos convencionais são produzidos, principalmente, a partir de matérias-primas provenientes do petróleo, que trata-se de um recurso natural não renovável.

Na sociedade atual, em decorrência de uma gama de propriedades interessantes apresentadas pelos plásticos, tais como, leveza, inércia química e boa resistência mecânica, entre outras, esses materiais vem sendo cada vez mais utilizados. Entretanto, devido aos plásticos petroquímicos demorarem cerca de 100 a 400 anos para se decompor, propiciando um grande acúmulo de resíduos dessa natureza no ambiente, o que tende a impactá-lo negativamente, deve-se pensar numa maneira sustentável de produzir, utilizar e “descartar” objetos de plástico, visando minimizar os impactos negativos desse material para o ambiente.

O processo de incineração é uma das maneiras de aproveitar o lixo plástico gerado nos centros urbanos, para a geração de energia, pois através de sua queima o plástico se torna um combustível equivalente ao óleo combustível. Cabe ressaltar que o processo de incineração, tanto de resíduos de objetos de plástico, quanto de quaisquer outros tipos de resíduo, deve ser realizado de acordo com os critérios técnicos necessários para evitar ou minimizar impactos negativos do mesmo ao ambiente.

A reciclagem é uma outra forma de destinação final para os objetos de plástico descartados, como por exemplo, as garrafas de PET, que por meio do processo de reciclagem podem ser transformadas em outros objetos úteis, tais como, vassouras e sacos para lixo.

Inserido no contexto atual de preocupação crescente com o ambiente, tem-se o bioplástico, que é um material produzido a partir de matéria-prima 100% renovável e que em geral, quando descartado em condições que favoreçam o seu processo de decomposição, integra-se mais rápido à natureza do que os plásticos convencionais. De acordo com Snyder

(1995), uma substância é biodegradável se os microorganismos presentes no meio ambiente forem capazes de convertê-la a substâncias mais simples, existentes naturalmente em nosso meio, sendo este o comportamento de vários tipos de bioplásticos.

Pesquisas em torno do plástico biodegradável vêm ocorrendo em todo o mundo. Nestas pesquisas a utilização de várias matérias-primas naturais e renováveis, tais como, óleo de mamona, cana-de-açúcar, beterraba, ácido láctico, milho e proteína de soja tem sido testadas na produção de bioplásticos (VIVEIROS, 2002).

No que se refere a estudos científicos envolvendo a produção de bioplásticos, uma das descobertas mais recentes nessa área, é o polímero polihidroxibutirato (PHB), obtido por meio de pesquisas realizadas por cientistas da divisão de Química do Agrupamento de Biotecnologia do IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas) (VIVEIROS, 2002).

O PHB pode ser fabricado a partir do bagaço da cana-de-açúcar, por meio da ação de bactérias que se alimentam do bagaço e formam dentro de si esse polímero, que pode ser usado na fabricação de vasos, colheres e sacolas plásticas, entre outros objetos. Atualmente a produção de PHB ocorre no município de Serrana, localizado no interior do estado de SP, em uma usina sucroalcooleira, denominada Usina da Pedra. O projeto piloto teve início em 1992, com estudos realizados pelo IPT em parceria com a COPERSUCAR e Usina da Pedra (REV. IBEROAMER. POLÍM., 2009).

O presente trabalho é resultado de uma revisão bibliográfica, que visou o levantamento de informações a respeito da produção, das propriedades e das aplicações de diferentes tipos de bioplásticos, com ênfase no PHB, que é um tipo de bioplástico que, conforme mencionado, pode ser obtido do bagaço da cana-de-açúcar, cultura largamente cultivada e explorada não só na região de Jaboticabal como em várias outras regiões do Brasil.

Sendo assim, o objetivo do presente trabalho é produzir um material didático que possa ser utilizado como fonte de informações e de referências recentes sobre esse tema, que vai de encontro ao contexto atual, no qual torna-se imprescindível investir em produtos e processos que se enquadrem no conceito de desenvolvimento sustentável.

I. PLÁSTICOS CONVENCIONAIS

I.1. Conceito, Composição e Fontes de Matérias-Primas

A palavra plástico deriva do grego *plastikos* que significa próprio para ser moldado e modelado. De acordo com o Dicionário de Polímeros (ANDRADE et al., 2001) plástico é o termo geral para designar materiais macromoleculares ou poliméricos que podem ser moldados por ação de calor e/ou pressão.

Moléculas simples, conhecidas como monômeros, quando unidas a partir de reações químicas que resultam em cadeias longas ou redes nas quais a estrutura dos monômeros não é alterada, formam macromoléculas denominadas polímeros. Tais reações são denominadas reações de polimerização e podem ocorrer entre o mesmo tipo de monômero ou a partir de monômeros diferentes. Polímeros obtidos a partir de um único tipo de monômero são denominados homopolímeros, sendo este, o caso do polietileno, que é sintetizado a partir do etileno. Entretanto, os polímeros obtidos a partir de mais de um tipo de monômero são denominados copolímeros, sendo este, o caso da resina fenol-formol, conhecida comercialmente pelo nome de baquelite®, obtida pela reação entre moléculas de fenol e formol.

Os plásticos classificados como convencionais são derivados do petróleo ou do gás natural, sendo o petróleo a principal fonte de matérias-primas. Dele se obtém um grande número de produtos de alto valor econômico, como por exemplo, combustíveis, óleos base, óleos lubrificantes, ceras, parafinas, betumes e matérias-primas para a indústria petroquímica (MARTINS, 2004).

Na composição das moléculas das matérias-primas empregadas, há fundamentalmente carbono (C) e hidrogênio (H). Além disso, são encontrados também os elementos oxigênio (O), nitrogênio (N) e enxofre (S).

Para a obtenção de um plástico convencional são necessárias várias etapas para transformar o petróleo em plástico. Inicialmente, em uma refinaria, o petróleo bruto é

separado em vários componentes, por meio de um processo denominado destilação fracionada. Tal processo possibilita a separação de líquidos que apresentam temperaturas de ebulição diferentes. No caso do fracionamento do petróleo, entre as principais frações obtidas, tem-se: alguns gases (metano, CH₄; etano, CH₃CH₃; propano, CH₃CH₂CH₃ e butano, CH₃CH₂CH₂CH₃), gasolina, querosene, óleo diesel, óleo lubrificante e piche, como resíduo do processo de destilação.

A fração mais importante para a produção dos plásticos convencionais é a nafta, que é quebrada, a partir de uma reação térmica conhecida como craqueamento, transformando-se em eteno (ou etileno) e propeno (ou propileno), entre outros hidrocarbonetos (MICHAELI, 1992).

O etileno (**Figura 1**) é o monômero usado na síntese do plástico convencional denominado polietileno. Além disso, a partir do etileno, podem ser sintetizadas moléculas de estireno e de cloreto de vinila, que são usadas na produção de polímeros presentes na composição de outros plásticos convencionais.

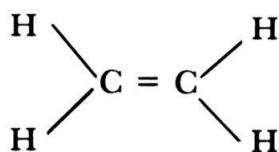


FIGURA 1 - Fórmula estrutural do etileno.

Fonte: MICHAELI, 1992 : p. 19.

As propriedades físicas dos plásticos, no que diz respeito à sua resistência, principalmente a resistência mecânica, devem-se ao fato das cadeias poliméricas serem muito longas. Por isso quando essas cadeias estão entrelaçadas conferem resistência ao material, possibilitando a utilização do mesmo na confecção de muitos objetos que precisam ser resistentes.

Se as cadeias das macromoléculas estiverem não apenas entrelaçadas, mas unidas por ligações químicas, chamadas ligações cruzadas, a resistência mecânica é aumentada, permitindo a confecção de peças e objetos bastante resistentes. Estes polímeros conseguem suportar condições relativamente drásticas de uso, como choques, atritos ou tração. Outras vantagens da presença de muitas ligações cruzadas entre as cadeias de macromoléculas são a estabilidade e resistência térmica (PIATTI et al, 2005).

As propriedades dos polímeros, tais como, resistência mecânica, resistência térmica, estabilidade frente a substâncias químicas, resistência elétrica, permeabilidade a gases entre outras, é o que determina como o plástico pode ser utilizado.

I.2. Classificação

De acordo com Michaeli (1992) os plásticos podem ser classificados segundo suas propriedades estruturais.

Aos plásticos formados por cadeias poliméricas lineares, não reticuladas e que se mantêm unidas apenas por forças intermoleculares, chamamos de **termoplásticos**. Sob a ação do calor, as forças intermoleculares das cadeias lineares se tornam fracas, proporcionando flexibilidade ao material.

Entre os termoplásticos existem os amorfos e os semi-cristalinos, conforme ilustra a **Figura 2**. Os amorfos, devido as suas cadeias poliméricas serem muito ramificadas e com cadeias secundarias longas, que parecem com um novelo de lã ou tufo de algodão, tornam-se sem estrutura, ou seja, amorfos. Como são transparentes em estado incolor, os termoplásticos amorfos são denominados de vidros sintéticos ou orgânicos. São exemplos de termoplástico amorfo, o poli (metacrilato de metila), o policarbonato, o poliisopreno e o polibutadieno, entre outros.

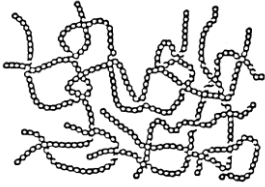
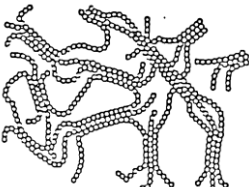
Cadeias Macromoleculares	
<p>Termoplástico Amorfo</p>  <p>Ramificadas</p>	<p>Termoplástico Semi-cristalino</p>  <p>Lineares</p>

FIGURA 2 - Estrutura dos termoplásticos amorfo e semi-cristalino.

Fonte: MICHAELI, 1992 : p. 42.

Os termoplásticos semi-cristalinos possuem poucas ramificações, ou seja, poucas cadeias secundárias. A parte da molécula com estado de organização elevado denomina-se região cristalina ou de cristalização. Quando as cadeias poliméricas estão entrelaçadas sem organização ou não são lineares, algumas partes são consideradas amorfas, sendo este o caso do polipropileno, do nylon, do kevlar e das policetonas.

Os **elastômeros** apresentam em suas cadeias moléculas distribuídas desordenadamente e com relativamente, poucas ligações transversais. Este grupo apresenta um encadeamento molecular largamente espaçado, o qual é responsável pela elasticidade exibida pelo mesmo. São exemplos de elastômeros o polibutadieno, a borracha nitrílica e o poli(estireno-co-butadieno).

Os **durômeros** ou **duroplásticos**, também denominados *termofixos*, *termorrígidos* ou *termoendurecíveis* possuem cadeias moleculares desordenadas, mas que diferentemente dos elastômeros, apresentam um número maior de pontos de encadeamento entre as cadeias.

O plástico industrial é apropriado para aplicações em peças, engrenagens e membros industriais. Ele foi desenvolvido para substituir os materiais tradicionais, ou seja, metal, madeira, cerâmica, borracha, etc.

Com relação aos processos de polimerização, segundo Mano e Mendes (1999), os mais relevantes para a obtenção de polímeros são os seguintes: polimerização em massa, polimerização em solução, polimerização em emulsão e polimerização em suspensão.

A **polimerização em massa** emprega monômero e iniciador, sem qualquer diluente. Esta reação ocorre em meio homogêneo e não há formação de sub – produtos no meio reacional. Quando a iniciação é feita por agentes físicos como, por exemplo, calor, tem – se apenas monômeros. A partir da polimerização em massa é possível obter peças moldadas diretamente a partir do monômero.

A **polimerização em solução** utiliza, além do monômero e do iniciador organossolúvel, um solvente que atua sobre os reagentes e polímeros. Essa reação é empregada quando o polímero destina-se a utilização sob a forma de solução, por exemplo, tintas e vernizes. A reação também ocorre em meio homogêneo sem formação de subprodutos.

A **polimerização em emulsão** utiliza monômeros, iniciadores hidrossolúveis, solvente (geralmente água) e um emulsificante. Essa reação se passa em meio heterogêneo. É preferida, por exemplo, na fabricação de elastômeros.

A **polimerização em suspensão** emprega, monômero, um iniciador organossolúvel, um solvente (normalmente água) e espessante. A reação se passa em meio heterogêneo e é

muito utilizada para poliadições, das quais resulta um polímero com tamanho de partícula superior ao obtido por emulsão.

I.3. Propriedades e Aplicações

Segundo Kroschwitz (1985), os polímeros possuem propriedades químicas e físicas muito diferentes das que tem os corpos formados por moléculas simples.

Os polímeros possuem elevada processabilidade. Tal propriedade está relacionada a facilidade em converter o material em uma determinada forma. Além disso, são resistentes ao desgaste, resistentes as ações climáticas, não quebram, não formam pontes entre moléculas e não estilhaçam. Podem ser elásticos, são mais leves que os metais e que o vidro. Tem excelentes propriedades de isolamento elétrico e até acústico. Alguns são de baixo custo de produção e a maioria pode ser reciclada.

Os plásticos apresentam uma densidade relativamente baixa se comparada a de outros materiais (MICHAELI, 1992). A faixa é de aproximadamente $0,9 \text{ g/cm}^3$ a $2,3 \text{ g/cm}^3$. Os que apresentam a densidade mais baixa são o polietileno 09 – $1,0 \text{ g/cm}^3$ e o polipropileno 0,9 – $1,0 \text{ g/cm}^3$, que possuem densidade menor do que a água. Para saber se um material pode transportar calor é avaliada a sua condutibilidade térmica. A dos plásticos situa – se na faixa de 0,15 a 0,5 W/ mk, classificada como valor baixo.

As aplicações dos plásticos são as mais variadas possíveis, pois podem ser facilmente convertidos à forma desejada. O PET (polietileno tereftalado) é utilizado em frascos para refrigerantes, para embalagens de produtos farmacêuticos, para produtos de limpeza e fibras têxteis. Para frascos de água mineral, tubos e conexões de encadeamento e até calçados, a indústria utiliza PVC (policloreto de vinila).

No setor automobilístico o plástico passou a ter um papel importantíssimo, pois possibilita designs modernos, redução de peso, aumento da segurança, redução de custos e tempo de produção, além de ser imune à corrosão.

Grande parte dos eletrodomésticos e eletroeletrônicos é constituída de material plástico, como por exemplo, os liquidificadores, o ferro de passar e a geladeira.

O plástico em uma aeronave pode estar presente desde as paredes internas até os assentos, devido as suas propriedades de leveza e principalmente por redução de custos, se comparado a outros materiais de construção.

I.4. Processos de Fabricação

De acordo com Mano e Mendes (1999), os processos de moldagem mais relevantes são os seguintes: vazamento, fiação por fusão, compressão, injeção, extrusão e sopro.

O **vazamento** é o processo descontínuo mais simples. É aplicado tanto para polímeros termoplásticos como para termorrígidos. O processo consiste em vazar no molde a composição moldável do polímero sob a forma de solução viscosa.

O processo de **fiação por fusão** é contínuo e aplicável a polímeros termoplásticos de difícil solubilidade e resistência ao calor, permitindo a obtenção de fibras. Este processo é baseado na passagem do polímero fundido por uma placa contendo orifícios, formando filamentos viscosos que se solidificam por resfriamento e são enrolados em bobinas.

A **compressão** é aplicada a materiais termorrígidos. Consiste em comprimir a mistura aquecida dentro da cavidade do molde.

O processo de **injeção** é o mais comum empregado na fabricação de termoplásticos. A mistura fundida é introduzida no molde por intermédio de pressão exercida por um êmbolo.

Esse processo é adequado para produção em massa, pois a matéria-prima pode ser transformada em peça pronta em uma única etapa.

O processo de **extrusão** é contínuo e consiste em fazer a mistura polimérica passar através de uma matriz com o perfil desejado, sendo resfriada tornando – se sólida. Este processo é bastante comum na fabricação de tubos de poli (cloro de vinila) e polietileno, tão utilizados em encanamento de água, esgotos, etc. Os mesmos materiais utilizados na extrusão também podem ser utilizados pela injeção.

O processo de **sopro** é descontínuo. Esse processo é ideal para obtenção de peças ocas pela insuflação de ar no interior do molde. É muito usado na fabricação de frascos a partir de resinas termoplásticas.

Para obter plásticos reforçados são adicionadas fibras de carbono e de vidro, entre outras, o que faz com que as propriedades existentes nas fibras e nos polímeros se combinem, gerando plásticos mais rígidos, capazes de substituir outros materiais, como por exemplo, o vidro.

I.5. Impacto Ambiental

Devido a sua durabilidade, o plástico se tornou um material muito difundido, consequência de sua estabilidade estrutural, que lhe confere resistência aos diversos tipos de degradação (fotodegradação, quimiodegradação, biodegradação). Alguns tipos de plásticos necessitam de séculos para se degradar conforme ilustra a **Tabela 1**, que apresenta o tempo médio de degradação de diferentes resíduos sólidos.

TABELA 1: Tempo Médio de Degradação de Alguns Resíduos Sólidos.

Resíduo Sólido	Tempo Médio de Degradação
Jornais	2 a 6 semanas
Embalagens de papel	1 a 4 meses
Guardanapos de papel	3 meses
Pontas de cigarro	2 anos
Palito de fósforo	2 anos
Chiclete	5 anos
Cascas de frutas	3 meses
Nylon	30 a 40 anos
Copinhos de plástico	200 a 450 anos
Latas de alumínio	100 a 500 anos
Tampinhas de garrafa	100 a 500 anos
Pilhas e baterias	100 a 500 anos
Garrafas de plástico	superior a 500 anos
Pano	6 a 12 meses
Vidro	indeterminado
Madeira pintada	13 anos
Fralda descartável	600 anos
Pneus	indeterminado

Fonte: GRIPPI, 2001, LIXO, 2003.

http://www.fec.unicamp.br/~crsfec/tempo_degrada.html.

Embora a sua durabilidade seja uma vantagem, por outro lado, se torna um sério problema ecológico, pois são muito utilizados na fabricação de embalagens usualmente descartadas após utilização e que vão se acumulando ao longo do tempo na natureza, provocando uma forte poluição visual.

Os habitantes de grandes cidades enfrentam um grande desafio, que é solucionar o problema do lixo. Nos aterros e lixões os plásticos convencionais causam impermeabilização do solo. Em decorrência do processo de impermeabilização, há retenção de resíduos orgânicos que poderiam se degradar no meio em que estão dispostos.

Quando não estão nos lixões os plásticos são encontrados em matas e corpos d'água, podendo ser ingeridos por animais, levando-os à morte.

Descartados incorretamente nas ruas das cidades causam poluição visual, chegando às “bocas de lobos”, impedindo a drenagem das chuvas pelos bueiros. Sacolinhas plásticas são usadas como “rabiolas” de pipas, atingindo fios de alta tensão e causando graves acidentes.

É importante salientar que as taxas de aquisição de bens de consumo e de geração de resíduos sólidos urbanos estão intimamente relacionadas à situação ou poder econômico de cada país, conforme ilustram os dados apresentados na **Tabela 2**.

TABELA 2: Composição dos resíduos sólidos urbanos de alguns países.

País	Resíduos Orgânicos	Metais	Plásticos	Papel/Papelão	Vidro	Outros
Brasil	55%	2%	3%	25%	2%	13%
México	42,6%	3,8%	6,6%	16%	7,4%	23,6%
Estados Unidos	11,2%	7,8%	10,7%	37,4%	5,5%	27,4%

Fonte: CEMPRE/TETRA PAK AMÉRICAS/EPA (2002) apud NORA, 2008 : p.21.

Uma alternativa para a reciclagem dos plásticos é investir na coleta seletiva do lixo, isto é, na separação e identificação dos diferentes materiais plásticos descartados. Isto é possível já que os plásticos possuem propriedades diferentes, tais como a densidade, que facilita o processo de separação.

Os tipos mais comuns de reciclagem, segundo Franchetti (2006) são os seguintes: reciclagem primária, reciclagem secundária ou mecânica, reciclagem química e reciclagem energética.

A **reciclagem primária** consiste no reaproveitamento que a própria empresa pode fazer nas peças defeituosas, aparadas, rebarbas da linha de produção.

Na **reciclagem secundária** ou **mecânica**, ocorre a transformação dos plásticos descartados em grânulos que serão utilizados na produção de pisos e sacos de lixo, entre outros.

Na **reciclagem química** os plásticos descartados, são reprocessados transformando – se em monômeros e misturas de hidrocarbonetos, que podem ser usados como produtos químicos em refinarias petroquímicas. Permite também a geração de novos plásticos com a mesma qualidade de um polímero original.

A **reciclagem energética** consiste na incineração, pois utiliza os resíduos plásticos como combustível para geração de energia.

Hoje se faz necessário ter um consumo consciente de sacolas plásticas, substituindo por sacolas retornáveis, carrinhos de feira, caixas de papelão. Há ecologistas que defendem o uso de sacolas plásticas alegando que o uso de outros materiais não seria viável devido ao peso e o volume do material, como por exemplo: madeira, papel, vidros e metais.

Reduzir o consumo de sacolas também é uma alternativa, utilizando toda a capacidade das sacolas ou utilizar sacos de lixo. Existem países que para diminuir o consumo de sacolas plásticas baniram seu uso ou cobram pelas mesmas sacolas.

Há necessidade da busca de novos materiais para substituir determinados plásticos e desenvolver novas rotas de síntese que partam de recursos renováveis, como, por exemplo, o álcool etílico, obtido a partir da fermentação da sacarose extraída da cana-de-açúcar, que pode ser usado na preparação de eteno, um monômero muito usado na produção de plásticos convencionais.

A **Tabela 3** apresenta os percentuais de reciclagem de plásticos, pós-consumo, em 2001.

TABELA 3: Percentuais de reciclagem de plásticos, pós-consumo, em 2001.

País	Percentual de Reciclagem
Alemanha	60,0%
Bélgica	28,5%
Luxemburgo	28,0%
República Tcheca	27,0%
Suécia	17,6%
Brasil	17,5%
Espanha	17,0%
França	15,0%
EUA	13,5%
Polônia	7,0%
Colômbia	6,0%
Argentina, Uruguai e Paraguai	5,0%
Chile	< 5%

Fonte: Cempre /Pro-Europe/EPA (2001)/Tetra Pak Américas apud NORA, 2008 : p. 16.

II. BIOPLÁSTICOS

II.1. Conceito, Composição e Fontes de Matérias – Primas

Para suprir as necessidades cotidianas, foi necessário desenvolver materiais que fossem duráveis em suas utilizações, como por exemplo, a caixa de papelão que caso chegasse a ser molhada seria descartada, já a caixa de plástico pode ser lavada e reutilizada. O plástico, devido as suas propriedades e aplicações, até pouco tempo era esse material (Huang apud FRANCHETTI, 2006, p. 811).

Por ser muito utilizado e descartado rapidamente, o plástico acaba gerando diariamente um alto índice de resíduos. Para tratar tais resíduos são empregados vários processos, como por exemplo, a incineração e a reciclagem.

Pensando em soluções para o meio ambiente, uma forma de amenizar o problema é o emprego de polímeros biodegradáveis. De acordo com a American Standard for Testing and Methods (ASTM – D-833), há polímeros cuja degradação depende da ação de microrganismos, tais como fungos, bactérias e algas de ocorrência natural, gerando CO₂, CH₄, componentes celulares e outros produtos.

Mesmo tendo sido descoberto há mais de dez anos, o plástico degradável ou plástico biológico, ou ainda, como é mais conhecido hoje, o bioplástico, é um material diferente do plástico convencional, principalmente com relação ao seu processo de obtenção, o que faz com que tal tipo de plástico seja mais oneroso (KORNER, 2005 FRANCHETTI, 2006, p. 812).

Em meados de 1990, iniciou – se no Brasil, a partir de uma parceria entre o IPT, a Copersucar e a Universidade de São Paulo, um projeto para produção do plástico biodegradável com a utilização da cana-de-açúcar. Como resultado dessa parceria, teve início um estudo com os polímeros poli (hidroxialcanoatos – PHAs), que podem ser produzidos por bactérias, em biorreatores, a partir de açúcares. O poli (β -hidroxibutirato – PHB) é o principal

representante dos PHAs, sendo suas propriedades semelhantes as do polipropileno, (PP). Nas **Figuras 3 e 4** são apresentadas a estrutura do PHB e a estrutura do PP, respectivamente.

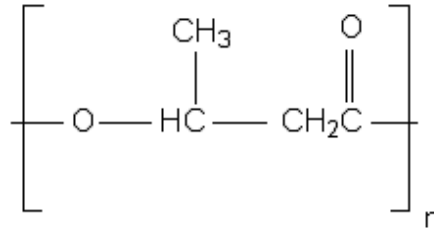


FIGURA 3 - Estrutura do poli(β -hidroxibutirato).

Fonte: CAMARGO, 2003 : p. 11.

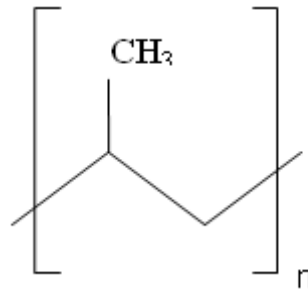


FIGURA 4 – Estrutura do polipropileno.

Fonte: MANO e MENDES, 1999 : p. 17.

O termo PHA é aplicado a uma família de poliésteres acumulados por diversas bactérias, na forma de grânulos intracelulares de reserva de carbono, energia e equivalentes redutores (Steinbüchel, Gomez apud ROCHA, 2007, p. 53).

Em geral, a síntese de PHA por bactérias em um meio nutritivo ocorre quando há excesso de fonte de carbono e a limitação de pelo menos um nutriente necessário à multiplicação das células (N, P, Mg, Fe etc.) (Anderson; Steinbüchel; Brandl apud ROCHA, 2007, p. 53).

Pesquisas vêm ocorrendo em todo mundo sobre a fabricação de plástico com matéria – prima renovável. Testes já foram realizados com óleo de mamona, cana-de-açúcar, beterraba, ácidos láticos, milho e proteína de soja, entre outros (VIVEIROS, 2002). Os estudos mais conhecidos e que deram certo foram os que exploraram a produção do poliuretano a partir do óleo da mamona e a produção do PHB (polihidroxibutirato) a partir da cana de açúcar.

II.2. Processo de Obtenção

Existem hoje vários tipos de materiais que podem ser produzidos a partir de fontes renováveis, onde bioplástico é um deles. A **Tabela 4** apresenta alguns tipos de bioplásticos, as matérias-primas empregadas na obtenção dos mesmos e os respectivos métodos de preparação.

TABELA 4. Exemplos de bioplásticos, matérias-primas empregadas na obtenção dos mesmos e respectivos métodos de preparação.

Bioplástico	Tipo de Polímero	Método de Preparação
Poliuretanas (PURs)	Poliuretano	Polimerização de polióis obtidos por fermentação ou purificação química com isocianatos petroquímicos.
Polímero de amido (PA)	Polissacarídeo	Polímero natural modificado.
Polilactatos (PLA)	Poliéster	Ácido láctico produzido por fermentação seguido de polimerização.
Polihidroxicanoatos (PHAs)	Poliéster	Produzido por fermentação direta de fonte de carbono por microrganismos ou em vegetais.
Poliésteres alifáticos-aromáticos (PAA)	Poliéster	-----
Nylon Nylon 6	Poliamida	Caprolactana produzida por fermentação.
Nylon 66		Ácido adípico produzido por fermentação.
Nylon 69		Monômero obtido por transformação química do ácido oléico.

TABELA 4: Exemplos de bioplásticos, matérias-primas empregadas na obtenção dos mesmos e respectivos métodos de preparação (continuação).

Bioplástico	Tipo de Polímero	Método de Preparação
Politrimetileno tereftalato (PTT)	-----	1,3-propanodiol produzido por fermentação, seguida de copolimerização com ácido tereftálico (AT) ou dimetil tereftálico (DMT).
Polibutileno tereftalato (PBT)	-----	1,4-butanodiol produzido por fermentação, seguida de copolimerização com AT.
Polibutileno succinato (PBS)	-----	1,4-butanodiol copolimerizado com ácido succínico, ambos produzidos por fermentação.

Fonte: CGEE – CENTRO DE GESTÃO DE ESTUDOS ESTRATÉGICOS, 2006 : p.1.

A seguir são descritos, em linhas gerais, os processos mais relevantes de obtenção de alguns bioplásticos.

II.2.1. Obtenção de Poliuretano Bioplástico a partir do Óleo de Mamona

O óleo de mamona possui em sua composição 89 % do triglicéride do ácido ricinoléico e in natura pode ser usado para obtenção de fármacos, cosméticos, formulação de tintas e plásticos entre outras aplicações (CANGEMI et al., 2009).

Este óleo é considerado um polioliol, poliéster natural, trifuncional. O polioliol é um poliéster derivado do ácido ricinoléico. Na **Figura 5** é apresentada a estrutura do polioliol ou triglicéride derivado do ácido ricinoléico.

°C. Sob o efeito de forças de cisalhamento o material se funde obtendo um material amorfo, denominado amido termoplástico (TPS) ou amido desestruturado (Blanshard, apud CORRADINI, 2005, p.269).

O processo de desestruturação ou plastificação pode ser realizado em equipamentos convencionais de processamento de polímeros como extrusoras, injetoras, cilindros, misturadores intensivos, entre outros (Wiedmann, apud CORRADINI, 2005, p. 269).

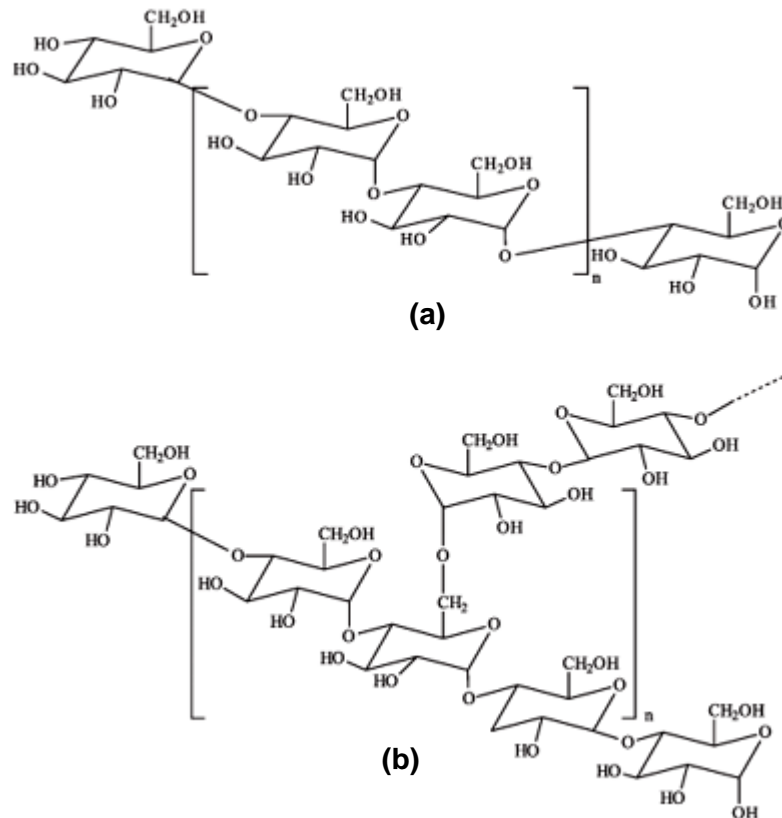


FIGURA 6 - (a) Estrutura da amilose; (b) estrutura da amilopectina.

Fonte: CORRADINI, 2005 : p. 269.

II.2.3. Processo de Obtenção do Poli (trimetileno tereftalato) (PTT) Bioplástico

Conforme descreve Pradella (2006), o poli (trimetileno tereftalato) (PTT) é produzido pela empresa Dupont, com o nome comercial Sorona®, a partir do processo de polimerização do 1,3-propanodiol (PDO) com o ácido tereftálico (AT) ou dimetil tereftalado (DMT). O diálcool PDO pode ser produzido por via fermentativa a partir de glicose proveniente do

amido de milho. Já o ácido tereftálico ou dimetil tereftalado, é produzido por síntese química a partir de intermediários petroquímicos.

O processo de obtenção inicia-se com a conversão da glicose, pela bactéria *E. coli* geneticamente modificada, a glicerol e a seguir a 1,3-propanodiol. O produto obtido é separado, purificado e levado à planta de polimerização. A polimerização se dá em processo contínuo e é similar à produção de polietileno tereftalato, (PET), podendo ser usadas nesta etapa do processo de produção do PTT as próprias unidades industriais de PET, já instaladas. O PTT pode substituir o Nylon e o PET. A **Figura 7** resume, de forma esquemática, o processo de obtenção do PTT.

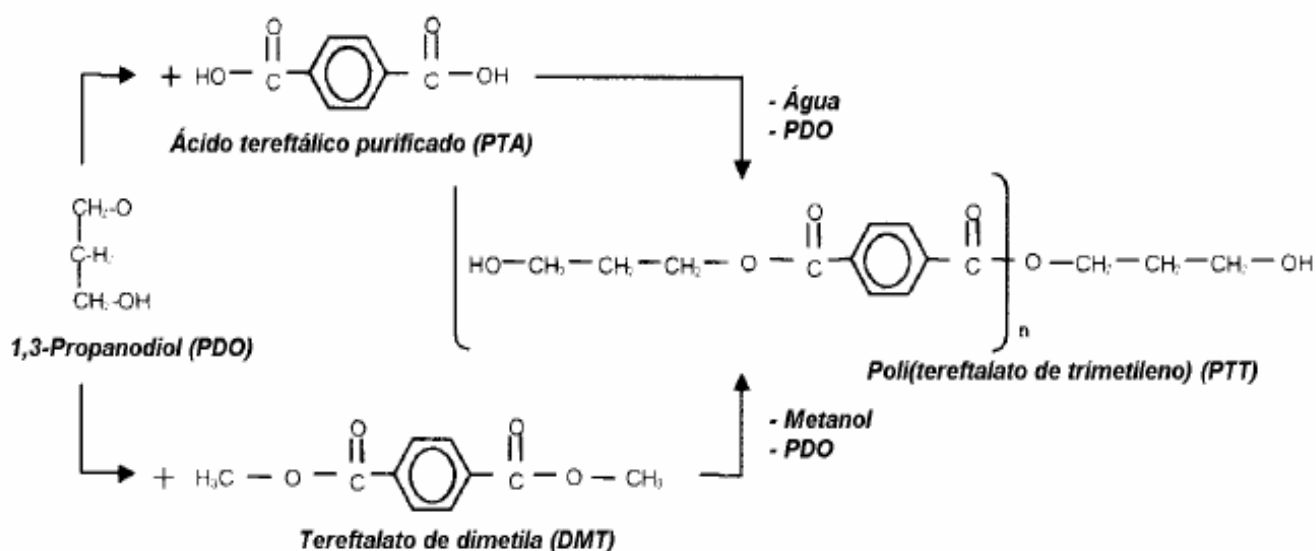


FIGURA 7 - Processo de obtenção do PTT.

Fonte: PRADELLA, 2006 : p. 28.

II.3. Propriedades e Aplicações

Os polihidroxicanoatos (PHAs) despertam grande interesse comercial, devido às suas propriedades permitirem que sejam utilizados como substitutos dos plásticos convencionais, de origem petroquímica, em algumas aplicações (Holmes, apud da SILVA et al, 2007, p. 1733).

Estes polímeros podem ser utilizados na área médica como suturas e até pinos para transplantes ortopédicos.

Mais de 150 hidroxialcanoatos distintos já foram identificados como constituintes de PHA bacterianos (Steinbüchel, Rehm apud da SILVA et al, 2007, p. 1733). Por esta razão, o domínio sobre o processo de síntese pode permitir a produção de PHA sob medida para as aplicações que se desejar.

O poli (trimetileno tereftalato), PTT pode ser utilizado na forma de embalagens, filmes e fibras para embalagens, além do uso em interiores de automóveis, como por exemplo, em tapetes e carpetes.

Segundo Pradella (2006), as aplicações de alguns dos bioplásticos são as seguintes:

- ✓ O **PA (polímero de amido)** pode ser usado na fabricação de sacos, talheres e filmes. Na agricultura pode ser empregado como filme de recobrimento, na fabricação de vasos para mudas e encapsulação. Além disso, pode ser usado na composição de pneus com enchimento.
- ✓ Os **PLA (polilactatos)** podem ser utilizados em embalagens para alimentos, óleos e até em fibras e tecidos.
- ✓ O **PBT (polibutileno tereftalato)** pode utilizado em eletro-eletrônicos como cabos de conexão e componentes para chaves e tomadas.
- ✓ O **PHB** ou **homopolímero poli(3-hidroxibutirato)**, o **PHB/HV** ou **copolímero de poli(3-hidroxibutirato) e 3-hidroxivalerato** e o **PHB/HHx** ou **copolímero de poli(3-hidroxibutirato) e 3-hidroxihexanoato**, podem ser utilizados nas embalagens para alimentos, artigos de descarte rápido e filmes para recobrimentos de cartões. Na agricultura podem ser usados como filme de recobrimento, vasos para mudas e encapsulação. Em outras utilizações o PHB, PHB/HV e o PHB/HHx podem ser utilizados até em partes de fraldas e absorventes íntimos.

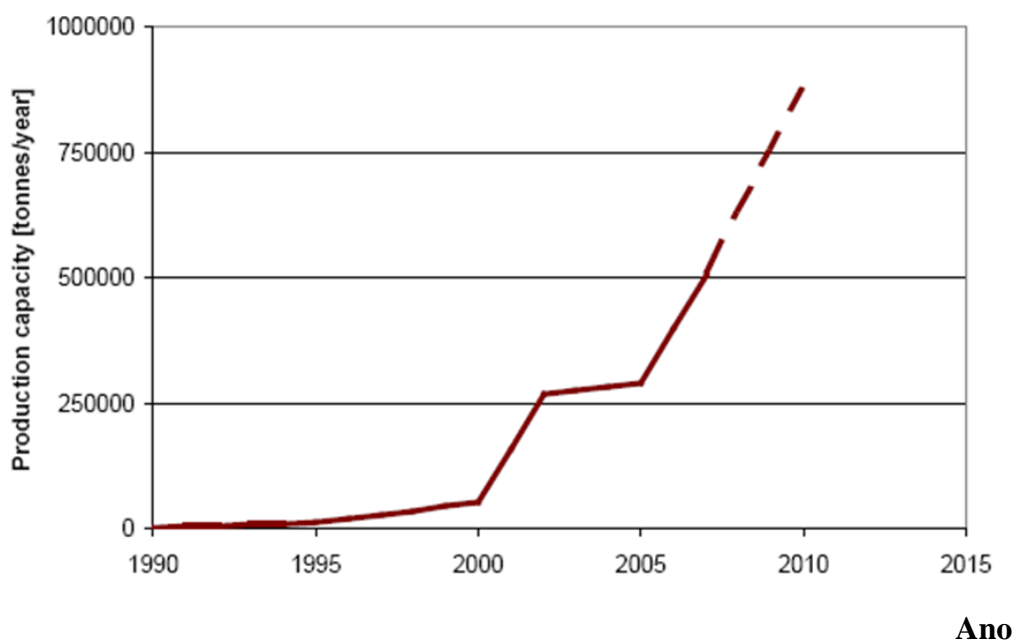
O setor de horticultura é uma área onde a utilização de bioplásticos oferece grandes vantagens. Há um potencial para um consumo de 12.000 a 20.000 toneladas de vasos de plantas degradáveis e 1.500 toneladas de folha de cobertura/ano. O Comitê de Organização Agrícola na União Européia, COPA e a Comissão Geral de Cooperação Agrícola da União Européia, COGECA fizeram uma avaliação do potencial aplicação de bioplásticos em diferentes setores da economia européia. A **Tabela 5** apresenta os resultados desta avaliação.

TABELA 5: Potencial de aplicação de bioplásticos na Europa.

Tipo de produto	Potencial de Aplicação (t/a)
Catering produtos	450.000
Sacos de resíduos orgânicos	100.000
Biodegradável folhas mulch	130.000
Folhas para fraldas biodegradáveis	80.000
Fraldas 100% biodegradáveis	240.000
Folha de embalagem	400.000
Embalagem vegetais	400.000
Componentes pneumáticos	200.000
Total	2.000.000

Fonte: COPA e COGECA, 2001.

Na Figura 8 é apresentada a capacidade global de produção de bioplásticos estimada até o ano 2015.

**FIGURA 8 -** Capacidade global de produção de bioplásticos.

Fonte: <http://www.bioplastics24.com/content/view/89/28/lang,en/>

II.4. Impacto Ambiental

Atualmente estão sendo desenvolvidos materiais que, ao serem descartados, se degradam mais facilmente quando em contato com o ambiente. Este é o caso dos bioplásticos derivados de fontes renováveis. Neste contexto, o fato mais importante é o menor tempo de decomposição dos bioplásticos em comparação ao dos plásticos convencionais.

Os plásticos derivados do petróleo demoram cerca de 400 a 500 anos para se decompor enquanto os plásticos obtidos de fontes renováveis demoram apenas cerca de 18 meses para se decompor em meio propício, ou seja, em meio com microrganismos vivos e ativos, tais como, fungos e bactérias. O PHB, por exemplo, em ambiente ativo decompõe-se em cerca de 6 meses a um ano e meio.

O mecanismo de degradação dos plásticos biodegradáveis envolve basicamente duas etapas denominadas degradação primária e degradação secundária. A degradação primária envolve catálise enzimática, oxidação e força física e a degradação secundária é baseada no ataque dos microrganismos (Cecae, apud MORAES, 2004).

A reação de catálise enzimática ocorre em meio aquoso e o caráter hidrofílico-hidrofóbico afeta a biodegradabilidade. Assim, os plásticos com estruturas somente hidrofílicas ou somente hidrofóbicas são menos biodegradáveis do que os plásticos que apresentam ambas estruturas em suas cadeias poliméricas (Huang, apud MORAES, 2004).

Para comprovar que um material para embalagem é compostável, ele deve ser submetido a um rigoroso programa de testes feitos por laboratórios independentes autorizados. Esse programa mede a capacidade de biodegradação do material e garante que, em uma escala industrial prática, a qualidade do composto resultante não seja prejudicada ou dificultada de maneira alguma pela inclusão do material. Os elementos - chaves do programa de testes - incluem:

- ✓ Biodegradação: mínimo de 90% versus a amostra de controle em, no máximo, 6 meses.
- ✓ Desintegração: teste de compostagem piloto para garantir a decomposição física do material.
- ✓ Teste para metais pesados.
- ✓ Verificações do crescimento de plantas e da qualidade dos compostos.

As principais normas que regulamentam os testes supracitados são a americana ASTM D6400 e a européia EN 13432. Mediante os resultados obtidos em tais testes, os materiais que forem considerados compostáveis, poderão levar os seguintes selos:



FIGURA 9 - Selos para Materiais Compostáveis.

Fonte: <http://www.agendasustentavel.com.br/images/pdf/002007.pdf>

III. BIOPLÁSTICOS DERIVADOS DA CANA-DE-AÇÚCAR

III.1. Histórico dos PHA's

O primeiro polihidroxicanoato estudado foi o poli-3-hidroxi-butirato P[3HB], descoberto por Lemoigne, por volta de 1926 (RODRIGUES, 2005)

Em 1958, Macre e Wilkinson verificaram o papel funcional do P[3HB], como reserva de energia, através da comprovação do seu acúmulo por *B. megaterium*, em um meio com alta relação C:N(CAMARGO, 2003).

Na década de 60 a descoberta de propriedades termoplásticas aumentou o interesse levando a empresa W.R.Grace Co. a produzir comercialmente o P[3HB]. Em 1974 foram descobertos outros hidroxicanoatos. (CAMARGO, 2003).

A empresa inglesa Imperial Chemical Industrie começa a produzir PHAs com o nome de Biopol[®].

Em meados da década de 90 no Brasil, foram iniciadas as pesquisas para a produção P[3HB], a partir de processos fermentativos. O PHB começou a ser produzido no Brasil, em 1995, por meio de uma tecnologia desenvolvida em uma planta piloto na usina da Pedra em Serrana-SP, com a parceria do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), COPERSUCAR e Universidade de São Paulo – USP (Akiyama, Nonato, apud RODRIGUES, 2005, p. 19).

III.2. Composição

O Polihidroxi-butirato (PHB) é um composto da classe dos polihidroxicanoatos. Foi descoberto em 1925, pelo pesquisador francês Maurice Lemoigne, microbiologista no Instituto Pasteur, quando este estudava as inclusões citoplasmáticas da bactéria *Bacillus megaterium* (Lemoigne, apud CAMARGO, 2003, p. 9).

O PHB apresenta a particularidade de ser altamente biodegradável quando exposto a ambiente biologicamente ativo, o que o torna muito atraente para a substituição dos plásticos convencionais (Krupp e Jewell, 1992 apud NASCIMENTO, 2001).

Um copolímero do PHB, o PHB – HV (polihidroxiбутирато – hidroxivalerato), é o mais conhecido entre os polihidroxiálcanoatos (PHA). O PHB e o PHB-HV são polímeros produzidos no Brasil por meio de uma tecnologia desenvolvida pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) (REVISTA MEIO AMB. IND. , 2000). O PHB-HV é um copolímero do hidroxiбутирато com segmentos aleatórios de hidroxivalerato. Assim como no caso do PHB, o processo de produção do PHB-HV é bacteriano.

Há outro copolímero, o poliidrohibutirato-hexanoato (PHB/HHx) que pode ser produzido por bactérias em biorreatores, a partir de glicose e óleos vegetais (principalmente óleo de palma). Esse copolímero apresenta propriedades superiores ao PHB e ao PHB/HV.

Devido a suas origens naturais, a partir de plantas ou bactérias, o PHB tem suas cadeias lineares com interações do tipo Van der Waals entre os oxigênios da carbonila e os grupos metilas e interações por ligações de hidrogênio devido a presença de hidroxilas.

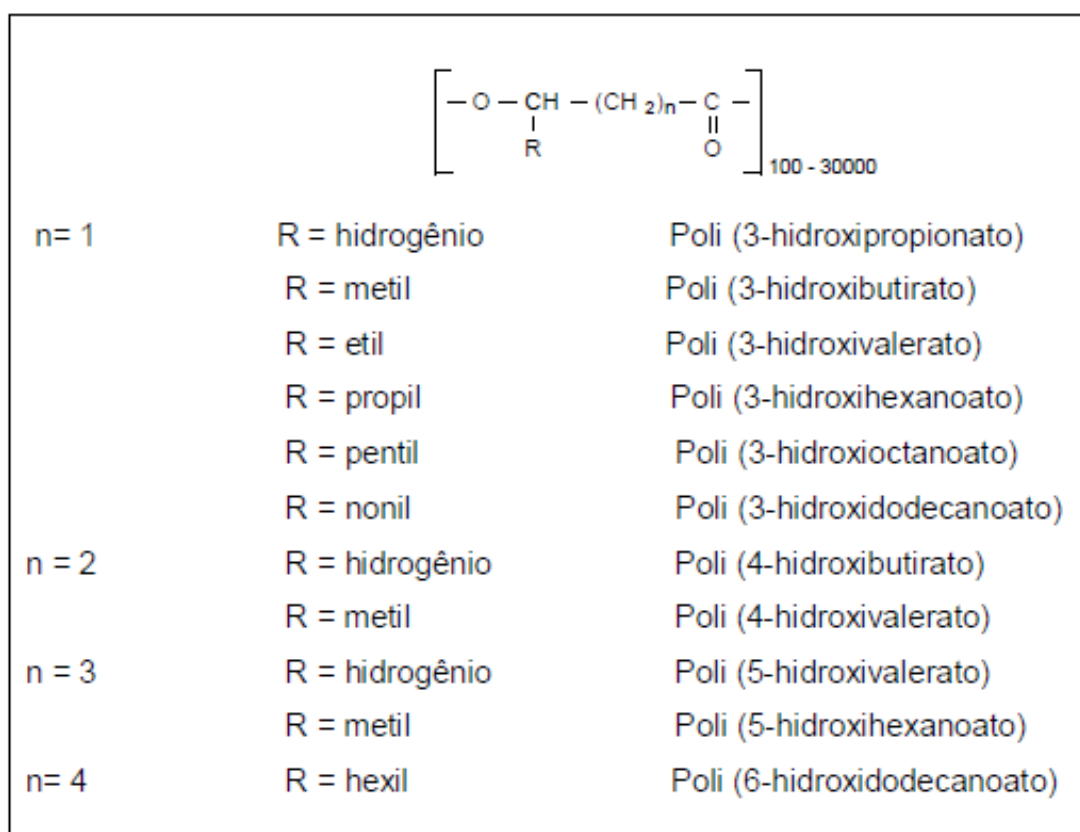


FIGURA 10 - Estrutura geral dos polihidroxiálcanoatos.

Fonte: Lee, 1996a apud VIEGAS, 2005 : p. 8.

Na indústria, pesquisas com o PHB, estão concentradas em produtos de rápido descarte, tais como, barbeadores, embalagens de cosméticos, copos e talheres plásticos. Muitas empresas reconhecem que ter um produto feito com plástico biodegradável é um diferencial importante (ROSA et al, 2002).

III.3. Processo de Obtenção

O polihidroxibutirato (PHB), é uma espécie de poliéster ou plástico biodegradável proveniente da cana-de-açúcar, ou de fontes renováveis. Apresenta coloração branca e aspecto granulado.

O meio de obtenção do PHB mais utilizado para fins industriais ou para pesquisas é a síntese por microrganismos, especialmente bactérias (Marchessault, 2005; Lee, 1996 apud TADA, 2009)

TABELA 6: Capacidade de alguns microrganismos para acumular PHA's.

Microorganismo	% de acúmulo
<i>R. eutropha</i>	96
<i>Azospirillum</i>	75
<i>Azotobacter</i>	73
<i>Baggiatoa</i>	57
<i>Leptothrix</i>	67
<i>Methylocystis</i>	70
<i>Pseudomonas</i>	67
<i>Rhizobium</i>	57
<i>Rhodobacter</i>	80

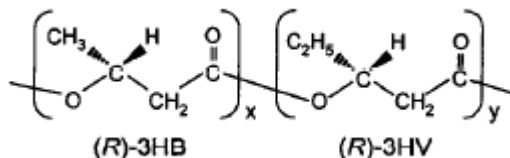
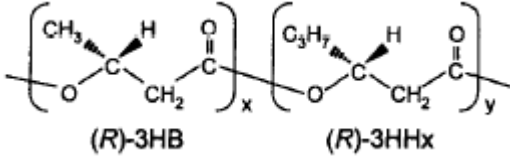
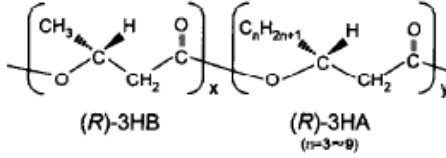
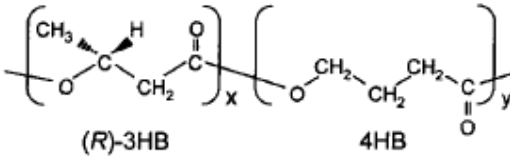
Fonte: REDIFF HOME PAGE apud VIEGAS, 2005 : p. 16.

Muitos são os microrganismos produtores de PHA's, sendo que a espécie *Ralstonia eutropha* (anteriormente *Alcaligenes eutrophus*) tem sido utilizada na produção industrial, por apresentar altas taxas de produção de polímero e proporcionar altos rendimentos. Entretanto, a cepa original (*Alcaligenes eutrophus* H16), só utiliza alguns tipos de açúcares e embora

espécies mutantes (*R. eutropha* DSM 545, *Alcaligenes eutrophus* NCIMB 11599) possam crescer em glicose, não podem hidrolisar sacarose 8. Outro microrganismo com grande potencial para a produção industrial é *Burkholderia sacchari* (anteriormente escrito como *Burkholderia* sp. IPT 101), isolado de solo de canavial brasileiro (Brämer, apud SQUIO, 2004).

A *R. eutropha* cresce em meio mineral contendo glicose, como única fonte de carbono, e fosfato suficiente para o crescimento celular, até atingir uma determinada biomassa desejada. A **Tabela 7** apresenta os tipos de bactérias e respectivos substratos carbônicos estudados na obtenção de copolímeros contendo PHA (R)-3HB como um componente.

TABELA 7: Tipos de bactérias e respectivos substratos carbônicos estudados na obtenção de copolímeros contendo PHA (R)-3HB como um componente.

Bacterial strain	Substrato Carbônico	Copolímero Aleatório
<i>Ralstonia eutropha</i>	Ácido Propiônico Ácido Pentanóico	
<i>Aeromonas caviae</i>	Óleos Vegetais Ácidos Graxos	
<i>Pseudomonas</i> sp. 61-3	Açúcar	
<i>Ralstonia eutropha</i> <i>Alcaligenes latus</i> <i>Comomonas acidvorans</i>	Ácido 4-hidroxibutírico γ -Butirolactona 1,4- Butanodiol 1,6- Hexanodiol	

Fonte: TSUGE, 2002 : p. 580.

No Brasil o PHB é fabricado pela BIOCYCLE[®], produzido na usina da Pedra em Serrana-SP, com a parceria do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), COPERSUCAR e

Universidade de São Paulo – USP. Nessa planta piloto o PHB é produzido através da bactéria *Ralstonia eutropha*, geneticamente modificada para o consumo de sacarose. Linhagens não modificadas de *R. eutropha* são capazes de metabolizar apenas açúcar invertido e não sacarose (Squio, Velho apud TADA, 2009).

Segundo Tada (2009), o processo de obtenção do PHB, envolve duas fases nos fermentadores, conforme ilustra a **Figura 11**. Na primeira fase, as bactérias são induzidas a crescer até atingir a concentração celular. Na segunda fase, a síntese do PHB ocorre quando há limitação de nutriente necessário para a bactéria, por exemplo, o fósforo, em um meio com excesso de carbono, os microrganismos se alimentam desses açúcares e em seu interior são formados grânulos de poliésteres. Para as bactérias esses grânulos funcionam como reserva de energia.

Após esse processo, o PHB é extraído e purificado, com o auxílio de um solvente orgânico, que rompe a parede celular do microrganismo, possibilitando a liberação dos grânulos de poliéster. O que sobra desse processo retorna à lavoura como adubo orgânico. O bioplástico sai da máquina extratora com a aparência de um pó branco (ORTEGA, 2006).

Entre as várias etapas que compõem o processo de produção do PHB, destacam-se a etapa de fermentação, que determina a massa molar final do polímero obtido e a etapa de extração, da qual dependem muitas propriedades do produto final, como por exemplo, sua flexibilidade. A última etapa é muito importante, pois é responsável pelo grau de pureza do polímero (CASARIN, 2004).

Um dos grandes obstáculos na produção do PHB e dos PHA's é o seu alto custo, devido ao custo dos substratos utilizados. Para compensar o gasto alto com substrato é necessário utilizar fontes de carbono mais baratas.

A produção de PHB e copolímeros, integrada à produção de açúcar e álcool em usinas de processamento de cana-de-açúcar, pode representar uma grande oportunidade de produzir polímero a baixo custo e expandir a indústria de cana. Neste caso, a energia necessária aos processos de produção provém da queima do bagaço da cana. Os efluentes do processo e a biomassa resultante após a extração do polímero podem ser utilizados como fertilizantes na plantação de cana e os solventes utilizados na purificação do polímero são derivados da fermentação alcoólica, naturais e biodegradáveis, portanto, sem representar impacto ambiental negativo (Nonato apud SQUIO, 2004).

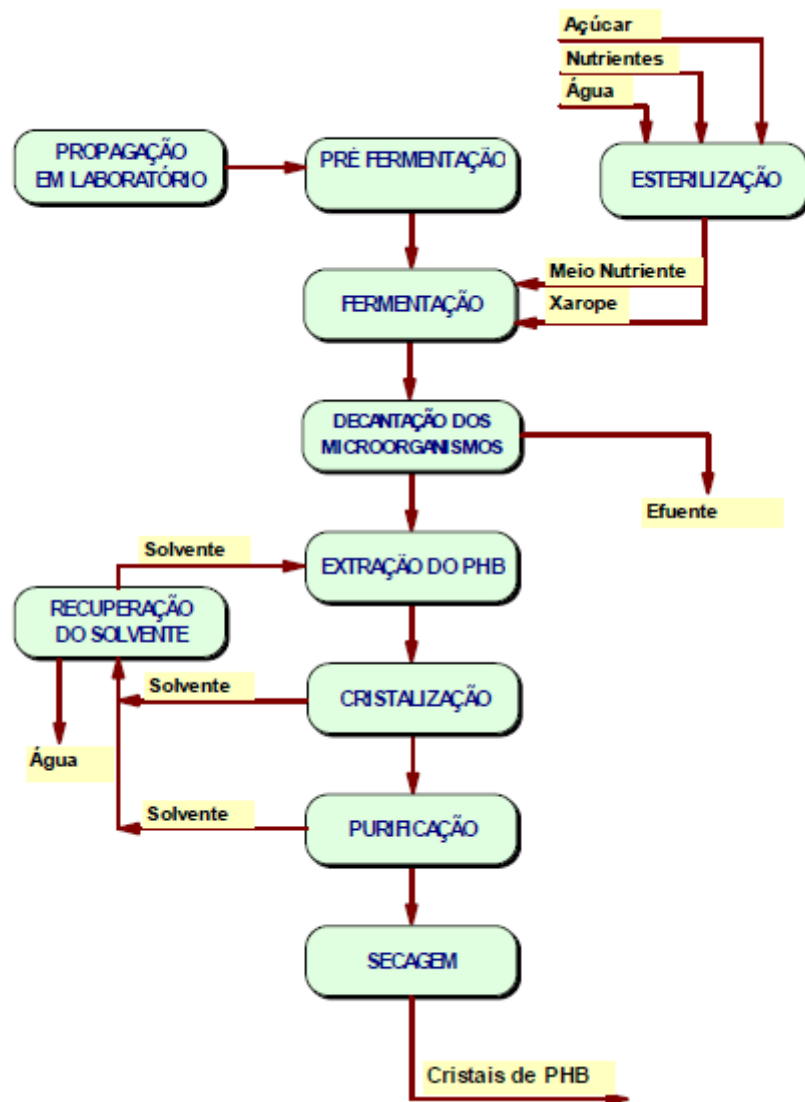


FIGURA 11 - Esquema do processo de obtenção do poli(hidroxibutirato).

Fonte: ORTEGA, 2006 : p. 8.

O PHB – HV, assim como o PHB, é produzido em duas fases, a partir do açúcar e do ácido propiônico. Entretanto, grande parte do ácido propiônico adicionado ao meio não é incorporada na forma de valerato. A incorporação de valerato ao copolímero resulta na formação de um polímero mais interessante industrialmente, ou seja, menos quebradiço e duro, mais fácil de ser moldado (VIEGAS, 2005).

Por meio de um questionário (ANEXO I) respondido em outubro de 2010, pelo coordenador administrativo do projeto para produção do PHB, na planta piloto construída na Usina da Pedra, em Serrana-SP, foram levantadas as seguintes informações:

- ✓ A produção do PHB / PHB-HV ocorre através da utilização de microorganismos selecionados diretamente da natureza, ou seja, não se trata de OGM (organismo geneticamente modificado).
- ✓ Atualmente a empresa encontra-se em fase piloto, com produção limitada a aproximadamente 50 toneladas/ano. Este material é destinado praticamente em sua totalidade para o desenvolvimento de aplicações baseadas no PHB, não sendo comercializado.
- ✓ Trata-se de tecnologia inovadora, com demanda contínua de P&D (pesquisa e desenvolvimento). Entretanto, o processo desenvolvido pela PHBISA está consolidado. A empresa apresenta enorme know-how para produção de PHB.
- ✓ O BIOCYCLE® (nome comercial do PHB) apresenta características físico-químicas similares ao PP (Polipropileno), podendo substituir este plástico em diversos processos produtivos, como injeção e termoformagem. Além disto, ainda pode substituir outros polímeros em aplicações específicas, como o PS (poliestireno) o PU (poliuretano) e o ABS (Terpolímero de acrilonitrila, butadieno e estireno). Desta maneira é possível aplicar o BIOCYCLE® para produtos como: peças automotivas, embalagens de cosméticos, brinquedos, tubetes para crescimento de eucalipto, copos e talheres, calçados, cartões de crédito, etc.
- ✓ O material produzido pela empresa ainda não está sendo comercializado e informações a respeito do processo de fabricação do mesmo, pela empresa, são restritas.

III.4. Propriedades e Aplicações

O uso de PHA's iniciou-se em suturas cirúrgicas compostas de monômeros encontrados no corpo humano e que se degradam no mesmo (CARMINATTI, 2008).

O plástico biodegradável, PHB apresenta como grande vantagem o tempo que leva para se decompor em relação ao plástico convencional.

O PHB apresenta propriedades mecânicas similares as do polipropileno, tais como, elevada cristalinidade, resistência à mistura, resistência à água, pureza óptica, boa estabilidade

a radiação ultravioleta, barreira à permeabilidade de gases, biocompatibilidade, alta regularidade da cadeia carbônica e elevada massa molecular, embora tenha duas características que o limitam a certas aplicações que são a sua característica quebradiça e a reduzida faixa de condições de processamento (RODRIGUES, 2005).

O PHB possui muitas outras propriedades interessantes como, por exemplo, a já citada biodegradabilidade. Além da biodegradabilidade outras características importantes são a biocompatibilidade e a possibilidade de ser produzido a partir de fontes renováveis ou mesmo a partir de subprodutos e rejeitos industriais (Bormann *et al.*, 1998; Fukui e Doi, 1998; Yu, 2001 apud RODRIGUES, 2005).

Segundo Ortega (2006), o PHB pode ser utilizado na fabricação de embalagens para higiene, limpeza, cosmético e produtos farmacêuticos. Além de também ser empregado na produção de sacos e de vasilhames para fertilizantes e defensivos agrícolas.

Pode ser usado na produção de artefatos mais flexíveis, como por exemplo, frascos de xampu ou materiais que necessitam do processo de extrusão por sopro, como é o caso dos sacos plásticos. Já foi desenvolvido um produto da mesma família do PHB, o PHB – HV (polihidroxibutirato – hidroxivalerato) que tem menor ponto de fusão e não é 100% degradável como o PHB. A principal dificuldade no desenvolvimento do PHB está concentrada na escolha de bactéria (RAMALHO, 2009).

O custo da sua produção ainda é muito elevado devido a complexidade do processo produtivo, que ocorre em várias etapas.

III.5. Perspectivas Futuras: o mercado para o PHB

Segundo boletim informativo do Siresp, publicado em junho de 2010:

“Atualmente os bioplásticos estão penetrando em segmentos como embalagens de alimentos e filmes para produtos agrícolas. Entretanto, no Brasil, a produção em larga escala deverá começar a tomar uma nova direção. Produção competitiva em escala e aumento de demanda serão fundamentais para fazer dos bioplásticos um mercado crescente. Incentivos governamentais e legislação - atualmente pouco desenvolvidos para o setor dos bioplásticos - também são importantes neste estágio da

indústria, para dar apoio a pequenas empresas. O diagnóstico é da consultoria Frost & Sullivan, que destaca ainda a importância da conscientização entre o usuário fim e o consumidor final, em relação ao posicionamento dos bioplásticos no mercado, para se obter sucesso com os produtos, por causa dos preços mais altos. Para a Frost & Sullivan, o mercado brasileiro para bioplásticos tem projeções de crescimento promissoras, para os próximos cinco anos.

Em 2009, o mercado de bioplásticos no Brasil foi composto principalmente pelo PLA, baseado em amido, e pelas resinas PHB, representando volumes de 1.286 MT (toneladas métricas) e receita de US\$ 4,4 milhões. Em 2015, o mercado de bioplásticos no Brasil deve alcançar US\$ 618 milhões, com 250.086 MT consumidas localmente. Os consultores lembram ainda, que o país é o principal produtor mundial de cana-de-açúcar, com custos de produção atraentes, para esta matéria-prima. Como a produção de cana de açúcar e do etanol, no Brasil, está num crescimento sustentado, isto significará uma vantagem competitiva do país, para expandir a produção de bioplásticos, baseada no etanol. De 2004 a 2009, a produção de cana de açúcar no Brasil subiu para uma taxa anual média de 9,8%. Informou o Fator Brasil”.

IV. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente trabalho procurou-se aprofundar os conhecimentos em bioplásticos, principalmente no que se refere a produção, propriedades e aplicações dos mesmos.

Foram apresentadas as principais vantagens dos bioplásticos em relação aos plásticos convencionais e a partir das informações levantadas junto a literatura, constatou-se que o tempo de degradação dos bioplásticos, que corresponde em média de 6 meses a 1 ano e meio é bem inferior ao dos plásticos convencionais, cuja degradação demora em média de 100 a 500 anos.

O Brasil é um dos países que mais recicla materiais como vidro, papel e plástico, entre outros.

O bioplástico PHB (polihidroxibutirato) é produzido no Brasil pela Usina da Pedra, situada em Serrana-SP e é denominado comercialmente como BIOCYCLE®. É produzido a partir de microrganismos selecionados da natureza, o que pode encarecer o processo, até que sejam obtidas linhagens puras para fabricação específica.

Uma das dificuldades da produção do bioplástico é o custo, pois as bactérias e os substratos utilizados para tal finalidade, possuem custo elevado. Para diminuir o custo, alguns bioplásticos podem ser produzidos a partir de fontes renováveis, tais como, o óleo da mamona, o milho, a partir do qual obtém-se amido, que é um polímero natural ou a cana de açúcar.

Para incrementar a produção, suas propriedades e aumentar as aplicações dos bioplásticos, ainda serão necessárias muitas pesquisas, principalmente para que esses materiais passem a apresentar algumas propriedades, por exemplo, as mecânicas, superiores às apresentadas por determinados plásticos convencionais.

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKIYAMA, M., TSUGE, T., DOI, Y., 2003, "Environmental life cycle comparison of polyhydroxyalkanoates produced from renewable carbon resources by bacterial fermentation". *In*: RODRIGUES, A. D. Estudo da Produção de Polihidroxibutirato por *Cupriavidus necator* em fermentação no estado sólido. 2005. XI, 86 p. (COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia Química, 2005) Tese – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005

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

BLANSHARD, J.M.V. - "Starch Granule Structure And Function: A Physicochemical Approach". *In*: CORRADINI, Elisângela et al . Estudo comparativo de amidos termoplásticos derivados do milho com diferentes teores de amilose. **Polímeros**, São Carlos, v. 15, n. 4, nov. 2005 .

CAMARGO, Francisco Adão de. Obtenção, caracterização e estudo de biodegradação de blendas de poli(3-hidroxibutirato-co-valerato)/(PHBV) com lignina de bagaço de cana de açúcar, 2003. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química. Campinas, SP:[s.n.], 2003.

CANGEMI, J. M.; SANTOS, A. M.; CLARO, S. N. **A revolução verde da mamona**. Química Nova na Escola, v. X, n. 10, 2009. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc32_1/02-QS-1209.pdf > Acesso em: 13 de jun. de 2010.

CLARO NETO, Salvador. **Usos e aplicações do óleo de mamona**. Instituto de Química. USP , 2009 , - São Carlos. Disponível em:

<<http://www.cnpa.embrapa.br/produtos/mamona/publicacoes/cbm3/palestras/Salvador%20Claro%20Neto.PDF>>. Acesso em: 12 de setembro de 2009.

CARMINATTI, A. C. Copolímeros de 3-Hidroxibutirato-co-3-Hidroxivalerato (PHBV) produzidos por *Chromobacterium violaceum*. 2008, p. 127. Tese de Doutorado – Universidade Federal de Santa Catarina – SC – Florianópolis, 2008. Disponível em: <http://www.tede.ufsc.br/tedesimplificado//tde_busca/arquivo.php?codArquivo=1490>. Acesso em: 24 de set. de 2010.

CASARIN, S. A. Desenvolvimento e caracterização de blendas e compostos empregando polímeros biodegradáveis, 2004, p.112. Dissertação de Mestrado, UFSCar, São Carlos, 2004. Disponível em: <<http://libdigi.unicamp.br/document/?code=vtls000317738>>. Acesso em: 20 de março de 2010.

CECAE (2003) Biodegradável : conceito químico genérico / ênfase aos plásticos. *In*: MORAES, V. F. M. Produção e Caracterização da blenda polimérica biodegradável poli(hidroxibutirato) (PHB)/ Co-poliéster alifático aromático [Ecoflex®] para aplicações em embalagens. 2004. 134 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto e Universidade do estado de Minas Gerais. Belo Horizonte, Minas Gerais, 2004

COPA e COGECA, 2001. Registered: Hamburg – Amtsgericht Hamburg, HRB 100359. Germany. Disponível em: <<http://www.bioplastics24.com/content/view/89/28/lang,en/>>. Acesso em: 27 de maio de 2010.

CORRADINI, Elisângela et al . Estudo comparativo de amidos termoplásticos derivados do milho com diferentes teores de amilose. **Polímeros**, São Carlos, v. 15, n. 4, nov. 2005 .

ECOBRAS TM - BASF & CORN PRODUCTS. São Paulo. Disponível em: <<http://www.agendasustentavel.com.br/images/pdf/002007.pdf>> Acesso em: 25 de set. de 2010.

GRIPPI, 2001. Lixo, 2003. Disponível em: <http://www.fec.unicamp.br/~crsfec/tempo_degrada.html>. Acesso em: 25 de outubro de 2010.

HOLMES, P. A. Developments in crystalline polymers. *In*: SILVA, L. F. da et al. Produção biotecnológica de poli-hidroxicanoatos para a geração de polímeros biodegradáveis no Brasil. Química Nova, São Paulo, v. 30, n. 7, 2007.

HUANG, S. J. Biodegradable Polymers. *In*: FRANCHETTI, S. M. M.; MARCONATO, J. C. Polímeros Biodegradáveis – Uma Solução parcial para diminuir a quantidade dos Resíduos Plásticos. Química Nova, v.29, n. 4, São Paulo, jul./ago de 2006, p. 811-816. ISSN 0100-4042. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010040422006000400031&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 20 de fev. de 2010.

KLOSS, J. R. Síntese e caracterização de poliuretanos biodegradáveis à base de poli(ϵ -caprolactona)diol. Tese de Doutorado – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2007. Disponível em: <<http://dspace.c3sl.ufpr.br/dspace/bitstream/1884/16899/1/JulianaReginaKloss.pdf>>. Acesso em: 09 de setembro de 2009.

KROSCWITZ, J. Enciclopédia de los polímeros e ingeniería, John Willey & Sons: Nova York, v. 17, 1985.

KRUPP, L. R., JEWELL, J. W. Biodegradability of Modified Plastic Films in Controlled Biological Enviroments. *In*: NASCIMENTO, Jefter Fernandes do. Estudo da Processabilidade e da caracterização do Poli (ácido 3-hidroxybutírico) – PHB obtido a partir de cana-de-açúcar / Jefter Fernandes do Nascimento. 2001. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Engenharia Química - Campinas , SP.

LEE, S.Y.: CHOI, J. High Level production of poly(3- hidroxybutirate-co-3hydroxyvaerate) by fed-batch culture of recombiant E. Coli. *In*: VIEGAS, R. P. C. Estudo da produção de Polihidroxicanoatos (PHAs) por *Chromobacterium violaceum*. 2005. Dissertação (mestrado) – Universidade de Santa Catarina – SC, Florianópolis, 2005.

LEMOIGNE, M. Produit de déshydratation et de polymérisation de l'acid β -oxybutyrique. *In*: CAMARGO, Francisco Adão de. Obtenção, caracterização e estudo de

biodegradação de blendas de poli(3-hidroxi-butirato-co-valerato)/(PHBV) com lignina de bagaço de cana de açúcar, 2003. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química. Campinas, SP:[s.n.], 2003.

MANO, E. B.; MENDES, L. C. Polímeros como Materiais de Engenharia. 1. ed. São Paulo:Edgard Blucher, 1991.

MARTINS, J. G., SANTOS R. Materiais de Construção Civil. 1. ed., 2004. p. 121. Disponível em: <www2.ufp.pt/~jguerra/PDF/Materiais/Plasticos.pdf>. Acesso em: 10 de out. de 2009.

MICHAELI, W.; GREIF, H.; KAUFMANN, H.; VOSSEBURGER, F. J. Tecnologia dos Plásticos. Alemanha:Edgard Blucher, São Paulo, 1995.

MORAES, V. F. M. Produção e Caracterização da blenda polimérica biodegradável poli(hidroxi-butirato) (PHB)/ Co-poliéster alifático aromático [Ecoflex®] para aplicações em embalagens. 2004. 134 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto e Universidade do estado de Minas Gerais. Belo Horizonte, Minas Gerais, 2004

NORA, M. C. A. COMERCIALIZAÇÃO DOS MATERIAIS RECICLÁVEIS EM FLORIANÓPOLIS: Catadores de Lixo em Foco, Florianópolis, Março de 2008, p. 65. Disponível em: <http://www.portalcse.ufsc.br/gecon/coord_mono/2007.2/Manuela.pdf.pdf>. Acesso em: 20 de set. 2010.

ORTEGA, S. F. O potencial da agroindústria canavieira do Brasil. São Paulo:Faculdade de Ciências Farmacêuticas, 2006. Disponível em: <http://www.fcf.usp.br/Departamentos/FBT/HP_Professores/Penna/EstudoDirigido/Agroindustria_Canavieira.pdf>. Último Acesso: 18/08/2010.

PIATTI, T. M.; RODRIGUES, R. A. F. Série: Conversando sobre ciências e impactos ambientais. Ed. UFAL. Maceió/AL., 2005. Disponível em: <http://crisspassinato.files.wordpress.com/2008/07/plasticos_caracteristicas_usos_producao_e_impactos_ambientais.pdf>. Acesso em 19 de nov. de 2009.

PRADELLA, J. G. C. - “Biopolímeros e Intermediários Químicos”, relatório técnico n. 84396-205, Centro de Tecnologia de Processos e Produtos, Laboratório de Biotecnologia Industrial – LBI/CTPP (2006). Disponível em: <<http://www.brasemb.or.jp/portugues/economy/pdf/Bioplasticos07.pdf>> Acesso em: 24 de nov. de 2009.

RAMALHO, M. Plásticos biodegradáveis proveniente da cana – de – açúcar, p.52. Trabalho de Conclusão de Curso – Faculdade de Tecnologia da Zona Leste, 2009. Disponível em: <<http://www.fateczl.edu.br/TCC/2009-2/tcc-123.pdf>>. Último Acesso: 11 de agosto de 2010.

REVISTA IBEROAMERICANA DE POLÍMEROS. Bilbao – Espanha. Universidade do País Vasco (UPV/EHU). ISSN 1988-4206. Disponível em: <<http://www.ehu.es/reviberpol/pdf/SEP09/lima.pdf>>. Acesso em: 01 de jan. de 2010.

REVISTA MEIO AMBIENTE INDUSTRIAL. Bioplástico é criado a partir de matéria-prima renovável. v. 24, p. 44-45, 2000.

ROCHA, R. C. S. et al. Controle da biossíntese de poli-hidroxicanoatos bacterianos através do fluxo de substratos. Química Nova, São Paulo, v. 30, n. 1, fev. de 2007.

RODRIGUES, A. D. Estudo da Produção de Polihidroxibutirato por *Cupriavidus necator* em fermentação no estado sólido. 2005. XI, 86 p. (COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia Química, 2005) Tese – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.

ROSA, D. S. et al. Avaliação da Biodegradação de Poli-beta-(Hidroxibutirato), Poli-beta-(Hidroxibutirato-co-valerato) e Poli-épsilon-(caprolactona) em Solo Compostado. Polímeros, São Carlos, v. 12, n. 4, out. de 2002. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010414282002000400015&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 26 de novembro de 2009.

STEINBÜCHEL, A.; VALENTIM, H. E.; FEMS Microbiol Lett. In: ROCHA, R. C. S. et al. Controle da biossíntese de poli-hidroxicanoatos bacterianos através do fluxo de substratos. Química Nova, São Paulo, v. 30, n. 1, fev. de 2007.

SILVA, L. F. da et al. Produção biotecnológica de poli-hidroxicanoatos para a geração de polímeros biodegradáveis no Brasil. *Química Nova*, São Paulo, v. 30, n. 7, 2007.

SNYDER, C. H. *The extraordinary chemistry of ordinary things*. 2. ed. Nova Iorque: John Wiley & Sons, 1995. p. 76-78. Disponível em: <<http://pubs.acs.org/doi/pdfplus/10.1021/ed073pA110.1>>. Acesso em: 19 de set. de 2009.

SQUIO, C. R.; ARAGAO, G. M. F. de. Estratégias de cultivo para produção dos plásticos biodegradáveis poli(3-Hidroxicbutirato) e poli(3-hidroxicbutirato-co-3-hidroxicvalerato) por bactérias. *Química Nova*, São Paulo, v. 27, n. 4, ago de 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010040422004000400016&lng=pt&nrm=iso>. Acessos em 25 de out. de 2010.

TADA, E. S. *Blendas com poli(3-hidroxicbutirato) (PHB) e copolímeros aleatórios: comportamento de fases e cinética de cristalização*. 2009. Tese de Doutorado. Campinas, SP: [s.n], 2009.

TSUGE, T. Metabolic Improvements and Use of Inexpensive Carbon Sources in Microbial Production of Polyhydroxyalkanoates. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. v. 94, n. 6, p. 579-584, 2002. Disponível em: <<http://www.elsevier.com>>. Acesso em: 01 de out. de 2010.

VIEGAS, R. P. C. *Estudo da produção de Polihidroxicanoatos (PHAs) por Chromobacterium violaceum*. 2005. Dissertação (mestrado) – Universidade de Santa Catarina – SC, Florianópolis, 2005

VILAR, W. D. *Química e Tecnologia dos Poliuretanos*, 3. ed. Rio de Janeiro: Vilar Consultoria, 2004, p. 400. Disponível em: <<http://www.poliuretanos.com.br/livro/livro.htm>> Acesso em : 11 de mar. de 2010.

VIVEIROS, M. Bagaço vira plástico biodegradável. *Folha de São Paulo*, 03/02/2002. Caderno Ambiente. P. A15. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/folha/cotidiano/ult95u62132.shtml>>. Acesso em: 20 de nov. de 2009

WANG, X.L.; YANG, K.K.; WANG, Y.Z. - J. MACROMOL. SC.-POLYM. *In:* CORRADINI, E.; LOTTI, C.; MEDEIROS, E. S. Amidos termoplásticos derivados do milho. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v. 15, n. 4, p. 268-273, 2005.

ANEXO I: Questionário

As questões a seguir foram enviadas para o Sr. Eduardo Brondi, que é graduado em administração de empresas, pós-graduado em negócios internacionais e desempenha a função de coordenador administrativo do projeto de produção do PHB, desenvolvido junto a Usina da Pedra.

- 1) Ortega, 2006 relatou que na planta piloto da Usina da Pedra de Serrana, BIOCYCLE®, o PHB é produzido pela bactéria *Ralstonia eutropha*. Esta é a única bactéria utilizada? Tal bactéria, precisa ser modificada? Já existem outras bactérias estudadas e utilizadas? Tais bactérias, são eficientes?
- 2) Atualmente, qual é a quantidade de PHB produzida anualmente pela usina? Qual é a produção anual brasileira deste polímero? A produção é para consumo interno ou parte da mesma é destinada à exportação?
- 3) Em linhas gerais, quais as principais dificuldades relacionadas à produção do PHB?
- 4) Segundo Casarin, 2004:

Dentre as várias etapas que compõem o processo de produção do PHB, destacam-se a etapa de fermentação, que determina a massa molar final do polímero obtido e a etapa de extração, **onde muitas propriedades** do produto final, como por exemplo, sua flexibilidade são obtidas.

Gostaria de saber mais detalhes sobre as propriedades do PHB que são influenciadas pelo seu processo de produção.

- 5) De acordo com a literatura consultada, o PHB-V é um copolímero do hidroxibutirato com segmentos aleatórios de hidroxivalerato. Este copolímero é obtido na Usina da Pedra? Além do PHB-V, há algum outro copolímero do PHB?
- 6) A vantagem do PHB em relação aos plásticos convencionais, sintetizados a partir de matérias-primas provenientes de fontes não renováveis, é o seu menor tempo de degradação? As propriedades mecânicas exibidas pelo PHB são comparáveis as exibidas pelos plásticos convencionais? Quanto tempo o PHB leva para se decompor?
- 7) Que objetos podem ser confeccionados com PHB?
- 8) Qual o custo de 1 tonelada de PHB?