

FUNDAÇÃO DE ENSINO “EURÍPIDES SOARES DA ROCHA”  
CENTRO UNIVERSITÁRIO EURÍPIDES DE MARÍLIA – UNIVEM  
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**ANA CAROLINA PERINI COSTA**

**ANÁLISE DA SUBSTITUIÇÃO DE POLÍMEROS CONVENCIONAIS  
POR POLÍMEROS BIODEGRADÁVEIS – UM ESTUDO DE CASO**

MARÍLIA  
2013

FUNDAÇÃO DE ENSINO “EURÍPIDES SOARES DA ROCHA”  
CENTRO UNIVERSITÁRIO EURÍPIDES DE MARÍLIA – UNIVEM  
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**ANA CAROLINA PERINI COSTA**

**ANÁLISE DA SUBSTITUIÇÃO DE POLÍMEROS CONVENCIONAIS  
POR POLÍMEROS BIODEGRADÁVEIS – UM ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção da Fundação de Ensino “Eurípides Soares da Rocha”, mantenedora do Centro Universitário Eurípides de Marília – UNIVEM, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador:  
Prof. MSc. Rodrigo Fabiano Ravazi

MARÍLIA  
2013

Costa, Ana Carolina Perini

Análise da substituição de polímeros convencionais por polímeros biodegradáveis / Ana Carolina Perini Costa; Orientador: Rodrigo Fabiano Ravazi. Marília, SP: [s.n.], 2013.

63 f.

Trabalho de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) - Curso de Engenharia de Produção, Fundação de Ensino “Eurípides Soares da Rocha”, mantenedora do Centro Universitário Eurípides de Marília –UNIVEM, Marília, 2013.

1. Plásticos 2. Biodegradação 3. Sustentabilidade

CDD: 547.7



FUNDAÇÃO DE ENSINO "EURÍPIDES SOARES DA ROCHA"  
Mantenedora do Centro Universitário Eurípides de Marília - UNIVEM

Curso de Engenharia de Produção.

Ana Carolina Perini Costa - 44156-2

TÍTULO "Análise da substituição de polímeros convencionais por polímeros biodegradáveis - Um estudo de caso. "

Banca examinadora do Trabalho de Curso apresentada ao Programa de Graduação em Engenharia de Produção da UNIVEM, F.E.E.S.R, para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Nota: 95

ORIENTADOR: \_\_\_\_\_

*Rodrigo Fabiano Ravazi*  
Rodrigo Fabiano Ravazi

1º EXAMINADOR: \_\_\_\_\_

*Geraldo Cesar Meneghelo*  
Geraldo Cesar Meneghelo

2º EXAMINADOR: \_\_\_\_\_

*Edson Detregiachi Filho*  
Edson Detregiachi Filho

Marília, 03 de dezembro de 2013.

*À Deus, pela força, sabedoria e discernimento;*

*Aos meus pais, ao meu irmão e ao meu noivo,  
pelo apoio e amor incondicional;*

## AGRADECIMENTOS

*Primeiramente agradeço à Deus, pela força, pelo apoio e pelo discernimento e sabedoria dedicados a mim durante todo este tempo.*

*Agradeço aos meus pais, Paulo e Denise, pelo amor e apoio incondicional e por me proporcionarem a conclusão desta graduação, por meio de muita luta. Agradeço principalmente ao apoio e dedicação que eles sempre me deram, não me deixando desistir jamais deste sonho, me fazendo levantar a cada batalha que passei.*

*Também agradeço ao meu noivo, Fábio, pela paciência, pelo amor, pelo auxílio, pelo carinho e pelo companheirismo durante todo o desenrolar deste trabalho.*

*Agradeço às minhas amigas Magna e Patrícia, que me acompanharam durante todos estes anos de graduação, pelos momentos vividos, pelas conquistas que conseguimos juntas e pelo apoio e companheirismo durante todos estes anos.*

*Agradeço à minha amiga Sheila, que não pôde concluir a graduação conosco, mas que foi de fundamental importância durante este ciclo concluído, pela amizade, pelo carinho e pela jornada que vivemos juntas.*

*Quero agradecer também ao Caio Balarim, pela colaboração, que foi de grande ajuda e teve muita contribuição para a conclusão deste trabalho.*

*Agradeço ao meu professor e orientador Rodrigo Ravazi, pela compreensão, paciência e pelo auxílio dedicado a mim durante a elaboração deste trabalho.*

*Aos meus professores de todos os anos de graduação, agradeço pelo conhecimento profissional e pessoal adquirido durante a graduação.*

*“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível.”*

*Charles Chaplin*

COSTA, Ana Carolina Perini. **Análise da substituição de polímeros convencionais por polímeros biodegradáveis – um estudo de caso.** 2013. 63f. Trabalho de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) – Centro Universitário Eurípides de Marília, Fundação de Ensino “Eurípides Soares da Rocha”, Marília, 2013.

## RESUMO

Os materiais poliméricos, usualmente conhecidos como plásticos, são utilizados em larga escala e tem substituído outros materiais como vidros, metais e madeiras, devido às suas propriedades mecânicas, estruturais, pelo seu baixo peso e pelo custo ser menor do que os outros materiais.

O alto consumo destes materiais tem causado grande impacto ambiental, devido ao descarte incorreto e pelo tempo em que demoram para se degradar no meio ambiente.

As soluções atuais para minimizar o impacto ambiental causado pelos materiais plásticos não são totalmente eficazes, e muitas vezes acabam gerando mais problemas ambientais.

Os plásticos convencionais são polímeros que tem um tempo de vida, após o seu descarte, muito longo, e acabam se acumulando nos aterros sanitários por anos e anos. Entretanto, os polímeros biodegradáveis, são provenientes de fontes renováveis, que ao serem descartados ao final de seu ciclo de vida, são degradados por organismos vivos, que os transformam em água, gás carbônico e nutrientes para o solo.

Este trabalho científico tem por objetivo estudar e analisar, por meio de pesquisa bibliográfica e estudo de caso, a substituição dos polímeros convencionais pelos polímeros biodegradáveis, visando à minimização do impacto gerado pelos resíduos sólidos no final do ciclo de vida dos materiais poliméricos.

**Palavras-chave:** Polímeros. Biodegradação. Sustentabilidade.

COSTA, Ana Carolina Perini. **Análise da substituição de polímeros convencionais por polímeros biodegradáveis – um estudo de caso.** 2013. 63f. Trabalho de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) – Centro Universitário Eurípides de Marília, Fundação de Ensino “Eurípides Soares da Rocha”, Marília, 2013.

## ABSTRACT

Polymeric materials, usually called plastics, are used in large scale and they has replaced others materials as glasses, metals and woods, due to their mechanical and structural properties, due to low weight and by their cost be less than other materials.

Higher consumption of these materials has caused a large environmental impact, for incorrect disposal and because their spending many time to degrade themselves in the environment.

Nowadays, the current solutions to minimize the environmental impact caused by plastics materials isn't overall effective, and often has created more environmental troubles.

Conventional plastics are polymers that have a long lifetime, after their disposal at environment, and end up accumulating in the landfills for many years. However, the biodegrade polymers are derivate from renewable sources, when they are disposed in the end of their cycle of life, they are degraded by microorganisms that transform them in water, carbon dioxide and nutrients to the ground.

The purpose of this paper is study and analyze through bibliographic review end cases, the conventional polymers substitution for biodegrade polymers, focusing by reducing the environmental impact caused by solids leavings in the end of the materials plastics cycle of life.

**Keywords:** Polymers. Biodegradation. Sustainability.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Processo de obtenção de um polímero plástico convencional.....	15
Figura 2: Simbologia utilizada para identificação de embalagens poliméricas .....	17
Figura 3: Consumo dos materiais plásticos produzidos a partir de PEAD e PEBD.....	18
Figura 4: Consumo dos materiais plásticos produzidos a partir de PVC.....	19
Figura 5: Consumo dos materiais plásticos produzidos a partir de PP.....	20
Figura 6: Consumo dos materiais plásticos produzidos a partir de PS.....	21
Figura 7: Distribuição do uso dos processos de transformação de termoplásticos .....	22
Figura 8: Processo de transformação de polímeros por injeção .....	23
Figura 9: Processo de transformação de polímeros por extrusão .....	24
Figura 10: Processo de transformação de polímeros por sopro.....	24
Figura 11: Processo de transformação de polímeros por sopro.....	25
Figura 12: Ciclo do processo de rotomoldagem.....	25
Figura 13: Processo de transformação de polímeros por rotomoldagem.....	26
Figura 14: Comportamento dos materiais poliméricos no interior do molde com o aquecimento.....	26
Figura 15: Processo de transformação de polímeros por termoformagem .....	27
Figura 16: Produto plástico produzido por processo de termoformagem .....	27
Figura 17: Participação dos materiais na indústria de embalagens .....	28
Figura 18: Segmentação do mercado de materiais plásticos por aplicação .....	29
Figura 19: Destinação dos resíduos sólidos plásticos.....	30
Figura 20: Descarte dos materiais plásticos em lixões .....	30
Figura 21: Ciclo de vida de um produto.....	31
Figura 22: Ciclo de vida dos produtos plásticos.....	32
Figura 23: Ciclo de vida de um polímero plástico.....	33
Figura 24: Processo de reciclagem mecânica dos materiais plásticos .....	34
Figura 25: Micrografia eletrônica mostrando os grânulos de PHAs no interior da bactéria....	36
Figura 26: Ciclo de vida dos materiais poliméricos biodegradáveis e convencionais.....	39
Figura 27: Potencial de substituição dos polímeros convencionais por biodegradáveis .....	41
Figura 28: Fluxo unidirecional dos materiais poliméricos convencionais.....	47
Figura 29: Ciclo de vida de um polímero biodegradável.....	48
Figura 30: Processo de produção dos polímeros PHB.....	49

Figura 31: Produto produzido através do processo de injeção .....	52
Figura 32: Produto produzido através do processo de injeção .....	53
Figura 33: Produto produzido através do processo de extrusão de chapas .....	53
Figura 34: Produto produzido através do processo de extrusão .....	53
Figura 35: Produto produzido através do processo de injeção .....	54
Figura 36: Produto produzido através do processo de injeção .....	54
Figura 37: Produto com aplicações por fibras .....	54

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Comparação entre as propriedades do PHB e do PP .....	40
Tabela 2: Aplicações atuais de polímeros biodegradáveis .....	41
Tabela 3: Ficha técnica do polímero BIOCYCLE 1000 .....	50
Tabela 4; Ficha técnica do polímero BIOCYCLE 18BC-1 .....	51
Tabela 5: Ficha técnica do polímero BIOCYCLE 189C-1 .....	51
Tabela 6: Ficha técnica do polímero BIOCYCLE 189D-1 .....	52

## SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	14
1.1 Definição de Polímeros .....	14
1.2 Plásticos Convencionais .....	15
1.2.1 Principais plásticos convencionais e suas características .....	16
1.2.1.1 Politereftalato de etileno (PET).....	17
1.2.1.2 Polietileno de alta e baixa densidade (PEAD e PEBD).....	18
1.2.1.3 Policloreto de vinila (PVC).....	18
1.2.1.4 Polipropileno (PP).....	19
1.2.1.5 Poliestireno (PS).....	20
1.2.1.6 Plásticos de engenharia.....	21
1.3 Processos de transformação de polímeros .....	22
1.3.1 Injeção .....	22
1.3.2 Extrusão .....	23
1.3.3 Sopro .....	24
1.3.4 Rotomoldagem.....	25
1.3.5 Termoformagem.....	27
1.4 Consumo dos materiais plásticos .....	28
1.5 Problemas decorrentes do alto consumo de materiais plásticos .....	29
1.5.1 O descarte incorreto e impactos ambientais .....	29
1.6 Análise do ciclo de vida de um produto .....	31
1.6.1 O que é ciclo de vida de um produto.....	31
1.6.2 Ciclo de vida de um produto plástico .....	32
1.7 Soluções atuais para redução dos problemas gerados pelos plásticos .....	33
1.7.1 Incineração.....	33
1.7.2 Reciclagem química .....	34
1.7.3 Reciclagem mecânica .....	34
CAPÍTULO 2 – SOLUÇÃO PROPOSTA PARA O PROBLEMA .....	35
2.1 Substituição dos plásticos convencionais por polímeros biodegradáveis .....	35
2.2 O que são polímeros biodegradáveis.....	35
2.3 Principais tipos de polímeros biodegradáveis e suas características.....	36
2.3.1 Polímeros biodegradáveis naturais.....	36
2.3.2 Polímeros biodegradáveis sintéticos .....	37
2.4 Análise da substituição dos plásticos convencionais por biodegradáveis .....	38
2.4.1 Aspectos Positivos .....	38
2.4.2 Aspectos negativos.....	39
2.4.3 Potencial de substituição dos plásticos convencionais pelos plásticos biodegradáveis ..	40
CAPÍTULO 3 – OBJETIVO .....	42
3.1 Objetivos Específicos.....	42
CAPÍTULO 4 – METODOLOGIA .....	43
CAPÍTULO 5 – ESTUDOS DE CASO .....	44
5.1 Realizado em uma empresa transformadora de polímeros convencionais .....	44
5.1.1 Sobre a empresa .....	44
5.1.2 Estudo realizado .....	45

5.2 Realizado em uma empresa produtora e transformadora de polímeros biodegradáveis ....	46
5.2.1 Sobre a empresa .....	47
5.2.2 Estudo realizado .....	47
CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES .....	55
REFERÊNCIAS.....	57
APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO.....	60

## INTRODUÇÃO

Atualmente, a utilização de produtos plásticos vem crescendo em grande escala devido à maleabilidade, variedade de processos de transformações e suas características estruturais.

O plástico é um material não biodegradável, o que significa que não sofre a ação de seres decompositores quando está em contato com o ar, água ou com o solo.

Há vários anos os plásticos vêm substituindo vários tipos de materiais como vidro, metais e madeira, devido à suas características estruturais como elevada resistência mecânica e resistência química, maleabilidade, fácil processamento, baixo custo de produção e pouco peso.

Hoje em dia, quase tudo que encontramos ou compramos são produzidos a partir do plástico, como embalagens de alimentos, embalagens de produtos para higiene e limpeza, produtos automotivos, utensílios domésticos em geral, equipamentos industriais, etc.

O tempo que os plásticos levam para se decompor e o consumo excessivo destes materiais têm gerado grandes danos ao meio ambiente, como o descarte incorreto dos resíduos de materiais plásticos, causando assim a poluição ambiental.

Os problemas resultantes pela poluição ambiental, cuja qual grande parte é gerada por resíduos plásticos, têm levado a ciência a refletir sobre maneiras de diminuir o impacto causado pelo plástico, através de estudos sobre reciclagem destes materiais e possíveis alternativas de substituição dos polímeros convencionais por polímeros biodegradáveis.

Materiais encontrados na natureza de característica renovável, chamados de biopolímeros, vêm sendo utilizados para a produção de plásticos biodegradáveis que em condições normais de umidade, pressão e temperatura se degradam rapidamente, deixando resíduos como água, gás carbônico e nutrientes que servem de adubo para o solo.

Este trabalho científico tem por objetivo estudar os possíveis substitutos biodegradáveis para plásticos convencionais que reduzam o impacto ambiental, sendo estes de caráter renovável, sem comprometer as mesmas funções a que os plásticos usuais são submetidos atualmente.

## CAPÍTULO 1 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 1.1 Definição de Polímeros

Polímeros são moléculas orgânicas formadas por unidades, chamadas de “meros”, que se repetem muitas vezes, por isso o nome *Polímeros* (muitos meros).

O polímero é uma estrutura molecular formada por vários meros que se agrupam em forma de macromoléculas, num processo de polimerização, podendo ser obtidos, assim, vários tipos de plásticos.

Os polímeros são divididos em três categorias principais: os termoplásticos (usualmente chamados de plásticos), os termofixos e os elastômeros.

Termoplásticos são polímeros que sob pressão e calor sofrem transformação física, mas não sofrem transformação química, ou seja, não sofrem alterações em sua estrutura molecular, e podem ser processados novamente.

Termofixos são polímeros que quando são processados sofrem tanto transformação física quanto transformação química, ou seja, sofrem alterações em sua estrutura molecular, não podendo mais ser transformados em outros produtos. O processo de formação de termofixos é irreversível, pois uma vez formado, não se consegue processar novamente.

Elastômeros são polímeros que suportam grandes deformações antes de sua ruptura, pois possuem propriedades “elásticas”. Estes polímeros possuem uma capacidade de estiramento muito elevada, podendo sofrer uma deformação elástica e ser reversível. A borracha, como este polímero é conhecido, pode ser um polímero natural ou sintético e possui uma variedade de aplicações industriais como, por exemplo, fabricação de materiais hospitalares, pneumáticas (“pneus”) e artigos para recreação (bolas).

A palavra plástico tem sua origem da palavra grega “*plastikos*” e significa “capaz de ser moldado”, devido à sua característica de ser maleável e de fácil moldagem.

Existem plásticos naturais e sintéticos, no qual o plástico natural é um polímero proveniente do petróleo ou de fontes renováveis naturais e o sintético é obtido através de processos de polimerização sintetizados em laboratório.

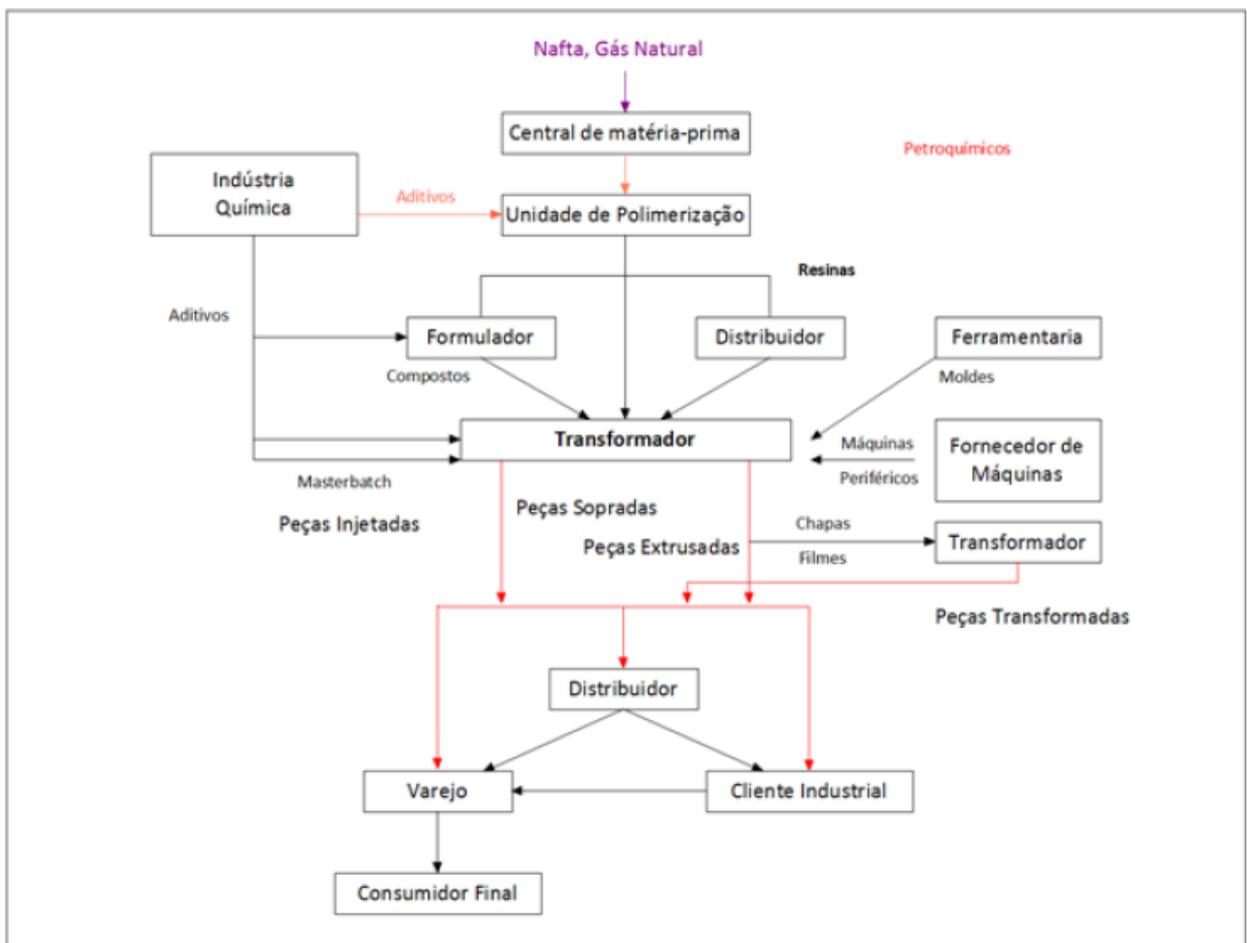
Ao ser realizado o processo de destilação fracionada do petróleo obtém vários subprodutos chamados de hidrocarbonetos, que são compostos por moléculas de hidrogênio e carbono.

Os hidrocarbonetos são separados a partir do tamanho de suas moléculas formadas, quanto maior a molécula maior é o ponto de ebulição. O plástico é um hidrocarboneto

formado neste processo de destilação, e é formado por macromoléculas chamadas de polímeros.

A figura 1 a seguir ilustra o processo de obtenção de um material plástico convencional, a partir do refino do petróleo.

Figura 1: Processo de obtenção de um polímero plástico convencional



Fonte: Padilha, G. Caracterização e Perfil Competitivo da Indústria de Transformação de Plástico: Um estudo de Indústrias do rio de Janeiro, EQ/UFRJ, 1999

## 1.2 Plásticos Convencionais

Os plásticos convencionais são plásticos provenientes do petróleo e possuem grupos de materiais identificados conforme suas características estruturais e mecânicas. Cada grupo possui uma numeração especificada pela ABNT, para facilitar a identificação do tipo de

polímero utilizado para a fabricação e, assim, poder diferenciar o tipo de plástico visivelmente pelo produto e facilitar a separação do material.

Segundo a ABIPLAST (Associação Brasileira da Indústria do Plástico), os plásticos mais consumidos atualmente são os chamados de commodities, devido à grande aplicação e produção como, por exemplo, o polietileno (PE), o polipropileno (PP), o poliestireno (PS), o policloreto de vinila (PVC) e o politereftalato de etileno (PET).

Além dos plásticos convencionais, temos também os chamados plásticos de engenharia que são produzidos em quantidades menores, pois possuem um custo elevado e aplicações específicas.

### **1.2.1 Principais plásticos convencionais e suas características**

Os materiais plásticos possuem várias características que justificam o consumo excessivo e crescente de polímeros no mercado. Sendo alguns deles:

- baixo peso: os materiais poliméricos são mais leves do que metais ou cerâmica, e em alguns casos podem até flutuar sobre a água. Por este motivo são largamente utilizados na indústria automobilística, na construção de aviões e em equipamentos esportivos. O uso de peças plásticas tornam os automóveis e os aviões mais leves e com custo menor.

- Facilidade de processamento: os materiais plásticos possuem uma temperatura de processamento muito abaixo do que metais, sendo relativamente menor o custo de processamento dos plásticos já que não necessita de tanta energia para o processamento.

- Maleabilidade: Os plásticos são flexíveis e isso se torna uma vantagem tanto para o processo de produção quanto para a utilização.

- Resistência mecânica: um material plástico possui melhor resistência mecânica quanto ao impacto do que um material de vidro, não se quebra facilmente, e também possui a grande vantagem de possuir as mesmas propriedades ópticas do que o vidro.

- Propriedades otimizadas: em função da baixa temperatura de processo produtivo dos materiais plásticos, permite-se ser acrescentados aditivos como corantes, cargas de reforço, e aditivos para melhorar as propriedades dos materiais plásticos.

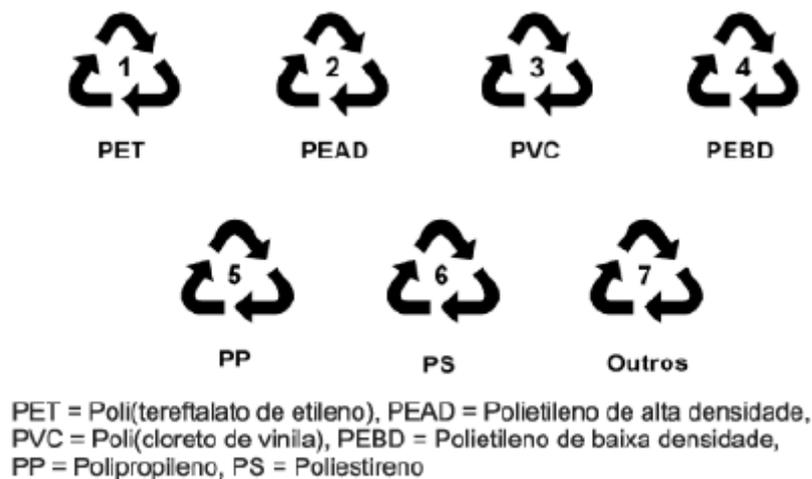
- Isolamento elétrico e térmico: os plásticos são maus condutores de energia elétrica e de calor ou frio, sendo assim bem utilizados como bons isolantes do calor e de energia.

Os materiais plásticos também possuem como característica alta resistência ao ataque de substâncias químicas como ácidos, bases e até mesmo o oxigênio. Além do mais, os

polímeros plásticos podem ser misturados a outras substâncias, que lhe conferem outras características e propriedades, como cor, resistência, etc.

Os plásticos convencionais possuem uma simbologia diferente para cada grupo de materiais plásticos, padronizados pela ABNT, com o objetivo de identificar os tipos de plásticos mais utilizados e facilitar a separação e reciclagem dos materiais, sendo os mais utilizados e mais difundidos, os grupos de plásticos exemplificados na figura 2.

Figura 2: Simbologia utilizada para identificação de embalagens poliméricas



Fonte: Norma NBR 13.230

### 1.2.1.1 Politereftalato de etileno (PET)

O Politereftalato de etileno, mais conhecido como PET, é um poliéster com um consumo elevado no Brasil, é bastante utilizado na fabricação de embalagens para refrigerantes, águas e garrafas em gerais.

Tem por características ser transparente, inquebrável, possui baixo peso, ótima resistência ao ataque de substâncias químicas, resistência a deformações mecânicas, possui baixo nível de absorção de umidade e seu custo é uma das principais vantagens por ser baixo.

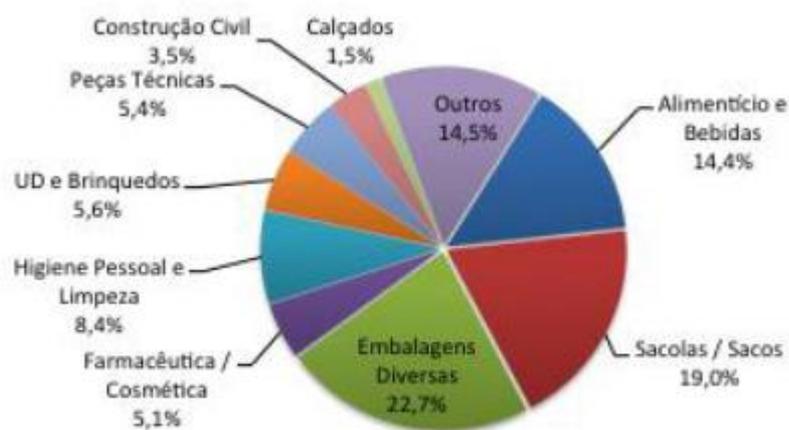
O PET atualmente é um dos plásticos mais consumidos no mundo e, segundo informações colhidas no site do Ambiente Brasil, sua utilização abrange desde embalagens para uso alimentício e hospitalar, até fibras têxteis.

### 1.2.1.2 Polietileno de alta e baixa densidade (PEAD e PEBD)

Os polietilenos de alta densidade (PEAD) e baixa densidade (PEBD) são uns dos plásticos mais conhecidos e amplamente utilizados. A caracterização de alta ou baixa densidade dá-se de acordo com as condições em que o processo de polimerização do etileno é realizado, se durante o processo obtêm-se moléculas muito grandes, tem-se o PEAD, que é um sólido com alta resistência e compacto, largamente utilizado na fabricação de canetas e brinquedos, porém, se no processo de polimerização formarem-se macromoléculas menores, tem-se o PEBD tendo como característica ser mais flexível, o PEBD é muito utilizado na fabricação de sacolas e sacos, devido à sua maleabilidade.

O consumo estimado dos materiais plásticos produzidos a partir do PEAD e do PEBD é ilustrado conforme gráfico, exemplificado pela figura 3.

Figura 3: Consumo dos materiais plásticos produzidos a partir de PEAD e PEBD



Fonte: Estudo de viabilidade insumos nanométricos, pg. 27 – 2012

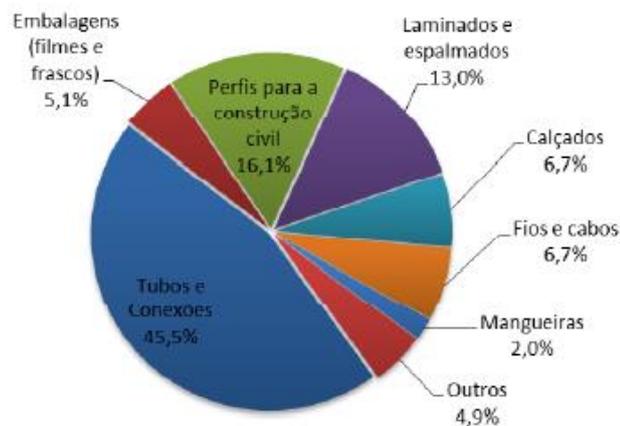
### 1.2.1.3 Policloreto de vinila (PVC)

O PVC é um material termoplástico altamente resistente, porém seu processo de produção possui certa complexidade, por ser um produto muito instável e viscoso precisa ser combinado outros ingredientes em sua fase de polimerização.

Atualmente o PVC é largamente utilizado na construção civil, em tubulações, conexões, cabos, etc. Possui aplicação também nas indústrias de brinquedos, cartões de créditos e caixa para armazenagem de alimentos.

O consumo dos materiais plásticos de PVC está ilustrado e segmentado conforme gráfico exemplificado pela figura 4.

Figura 4: Consumo dos materiais plásticos produzidos a partir de PVC



Fonte: Estudo de viabilidade insumos nanométricos, pg. 32 – 2012

#### 1.2.1.4 Polipropileno (PP)

O polipropileno é um plástico que apresenta como características resistência alta resistência a rupturas, boa resistência a impactos, resistência química, possui excelentes propriedades elétricas, e é amplamente utilizado na fabricação de utensílios domésticos e recipientes em geral. O polipropileno é muito utilizado na fabricação de autopeças, sendo, para isto, reforçada com fibra de vidro.

O consumo dos materiais plásticos produzidos a partir do PP é ilustrado conforme gráfico de segmentação exemplificado pela figura 5.

Figura 5: Consumo dos materiais plásticos produzidos a partir de PP



Fonte: Estudo de viabilidade insumos nanométricos, pg. 29 – 2012

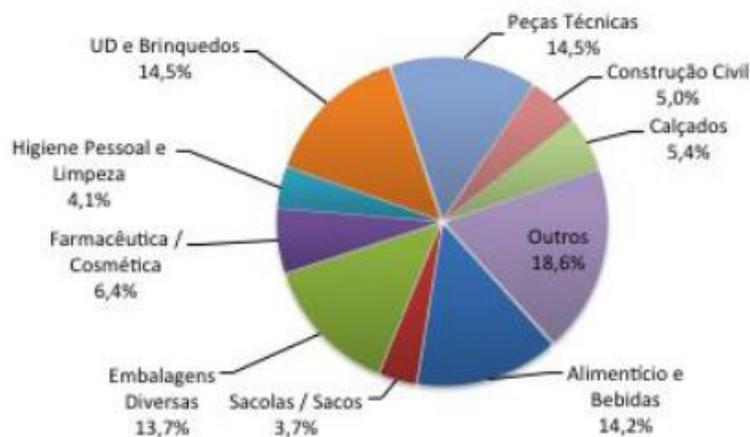
### 1.2.1.5 Poliestireno (PS)

O poliestireno é um polímero termoplástico que apresenta como principais características rigidez, impermeabilidade, baixo peso e é um plástico transparente. Devido à sua rigidez, o poliestireno se torna um material frágil.

As principais aplicações do PS são materiais do setor de embalagens e descartáveis (como copos, talheres, pratos, etc.), peças de eletrodomésticos e eletroeletrônicos, brinquedos e caixas para CDs.

O consumo dos materiais plásticos produzidos a partir do PS é descrito conforme gráfico exemplificado pela figura 6.

Figura 6: Consumo dos materiais plásticos produzidos a partir de PS



Fonte: Estudo de viabilidade insumos nanométricos, pg. 30 – 2012

### 1.2.1.6 Plásticos de engenharia

Os plásticos de engenharia são superiores aos outros plásticos quanto à sua estrutura molecular. São plásticos utilizados quando se faz necessário uma resistência mecânica elevada ou quando o produto estará sujeito a altas temperaturas.

Possuem aplicações específicas e elevado custo de processamento, são utilizados em peças automobilísticas, eletrodomésticos, eletroeletrônicos, etc.

São exemplos de plásticos de engenharia o ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno), o PC (Policarbonato), o PA (Poliamida) e o PTFE (Politetraflúoretileno “Teflon”).

O Teflon (PTFE) apresenta como principais características a inércia química, e baixo coeficiente de atrito. Devido ao baixo teor de atrito, muitas substâncias não aderem ao teflon e isto fez com que este material fosse muito utilizado na indústria de painéis.

Poliamida (PA) é uma resina que apresenta tenacidade e resistência a desgastes, assim como o teflon, possui baixo coeficiente de atrito e possuem muitas aplicações, como por exemplo, fibras têxteis.

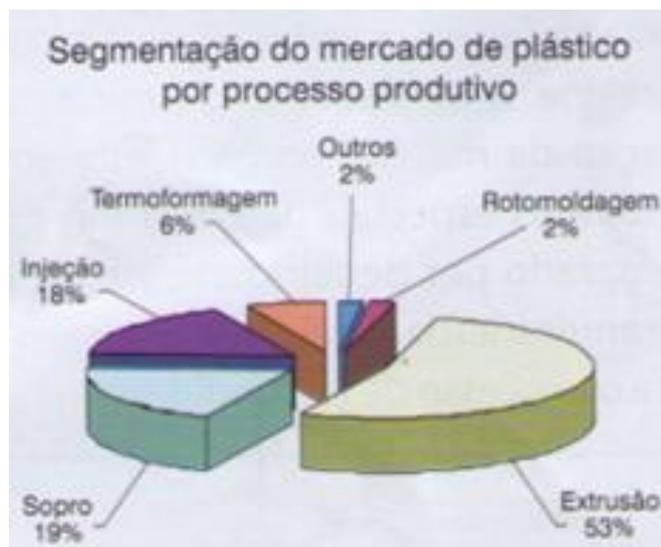
O Policarbonato (PC) é um plástico com alta resistência mecânica e é muito utilizado em indústrias automobilísticas.

### 1.3 Processos de transformação de polímeros

Os processos de transformações de polímeros são processos onde a matéria prima, grânulos ou pós de polímeros, se submetem a temperaturas, pressões, tempo de processamento, e específicos para cada tipo de produto final, formando-se o produto plástico próprio para o consumo.

Dentre os principais processos de transformação de polímeros temos: o processo de injeção, processo de extrusão, processo por sopro, processo por rotomoldagem e processo por termoformagem.

Figura 7: Distribuição do uso dos processos de transformação de termoplásticos



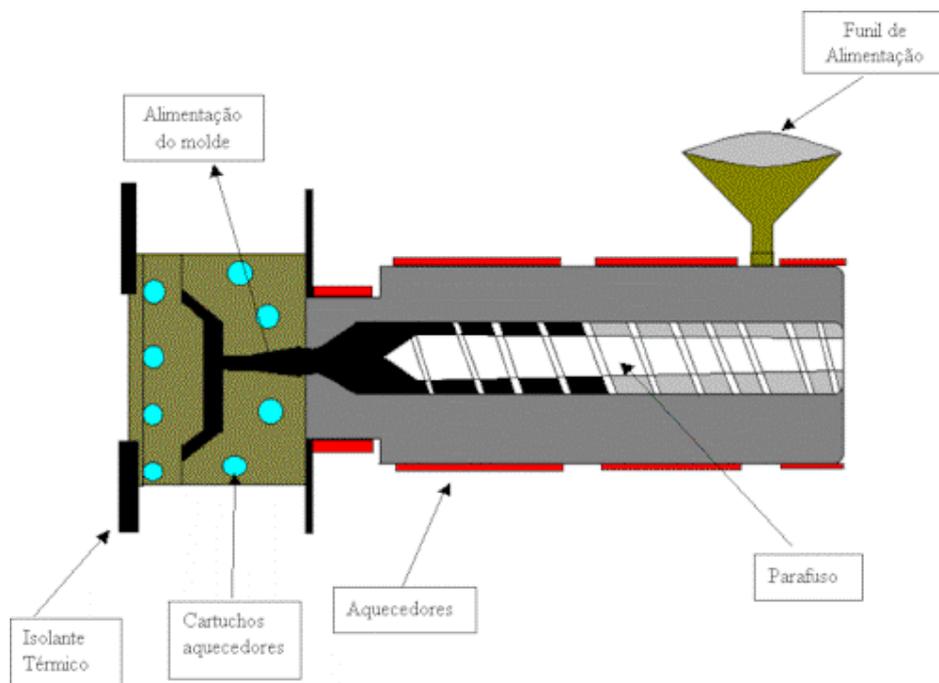
Fonte: Portal dos Moldes

#### 1.3.1 Injeção

O processo de injeção consiste no amolecimento do material por meio de um cilindro aquecido por termopares e a injeção do material já amolecido dá-se através de uma alta pressão, que encaminha o material para o interior de um molde relativamente frio, onde este material polimérico solidifica e toma a sua forma final. Após o material ser moldado, ele é

então expelido do molde por meio dos pinos ejetores. Este processo é considerado como um processo cíclico.

Figura 8: Processo de transformação de polímeros por injeção

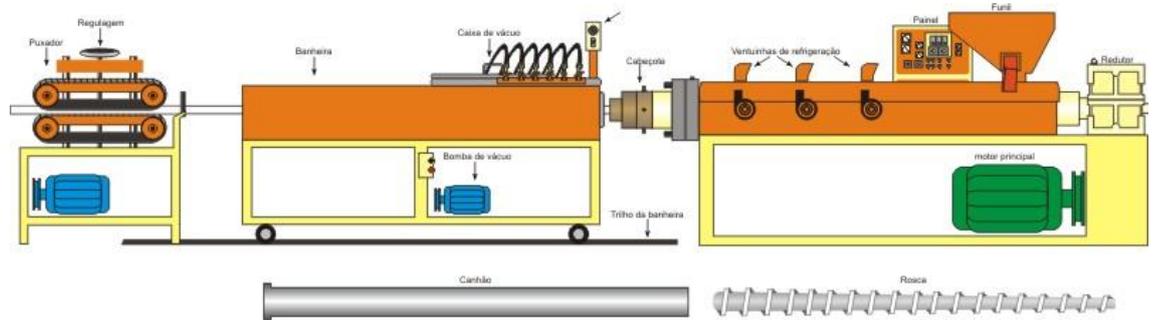


Fonte: LEPCOM – Laboratório de Engenharia de Polímeros e Compósitos

### 1.3.2 Extrusão

O processo de extrusão consiste essencialmente no cisalhamento do material polimérico através de um cilindro em cujo interior gira por meio de uma rosca sem-fim, que promove o amolecimento e transporte do material plástico. Este material polimérico é aquecido, plastificado e comprimido, sendo forçado através de uma matriz situada na extremidade do cilindro. O aquecimento do material é promovido no interior do cilindro, geralmente por resistências elétricas e este processo é considerado um processo contínuo.

Figura 9: Processo de transformação de polímeros por extrusão

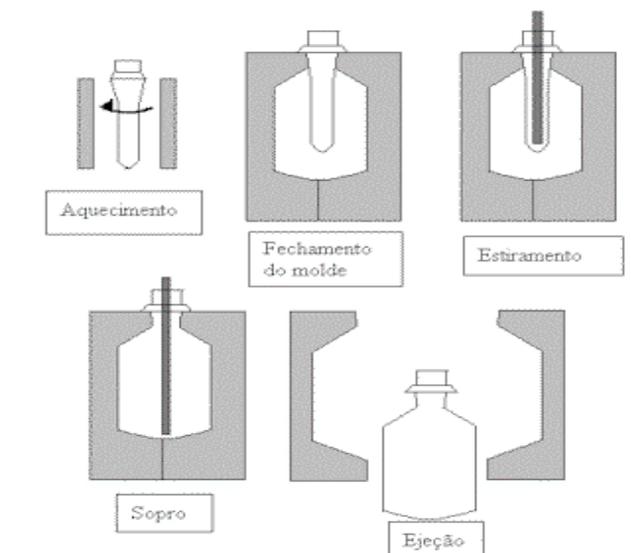


Fonte: Lumaplastic

### 1.3.3 Sopro

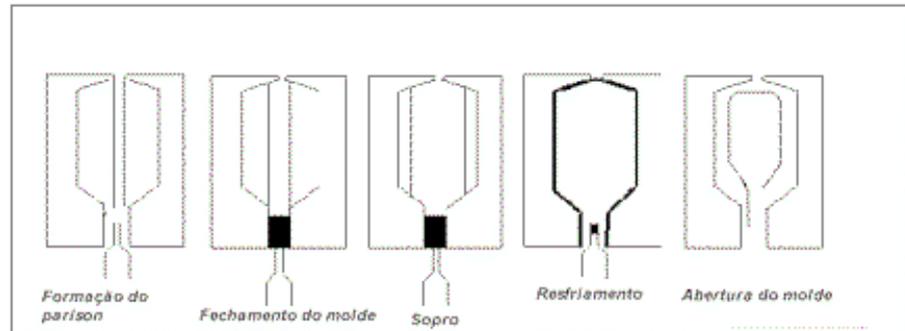
O processo de sopro é um processo utilizado normalmente para produção de peças ocas, pois seu método de funcionamento consiste em inflar os materiais poliméricos, já em uma pré-forma, contra a parede do molde do produto final. A pré-forma é obtida a partir do processo de injeção ou de extrusão. Possui aplicação geralmente em produção de garrafas e frascos com materiais termoplásticos. Este processo é caracterizado como um processo cíclico.

Figura 10: Processo de transformação de polímeros por sopro



Fonte: LEPCOM – Laboratório de Engenharia de Polímeros e Compósitos

Figura 11: Processo de transformação de polímeros por sopro

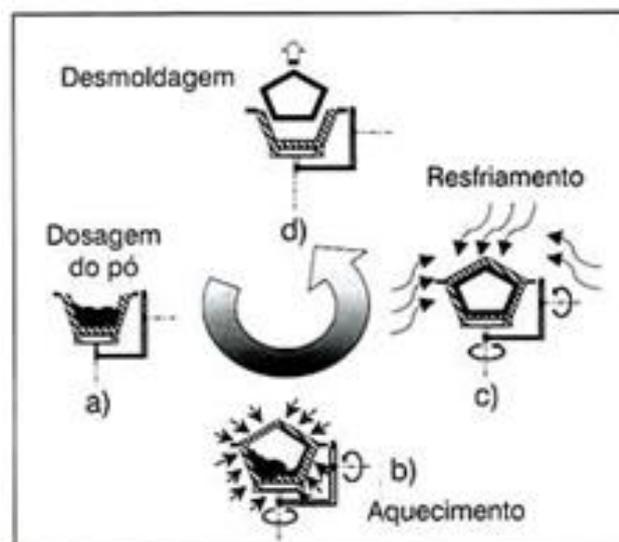


Fonte: LEPCOM – Laboratório de Engenharia de Polímeros e Compósitos

### 1.3.4 Rotomoldagem

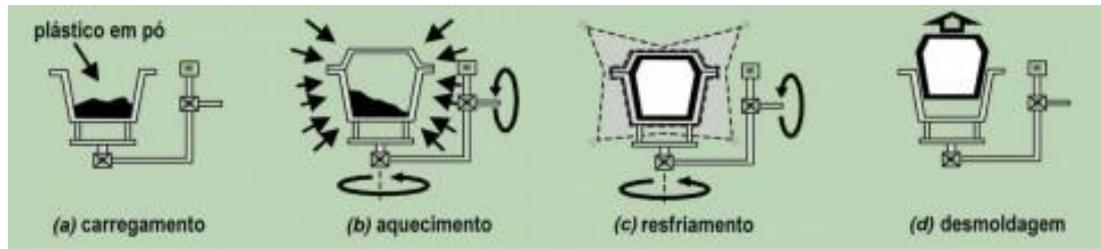
O processo de rotomoldagem é realizado com o material polimérico na forma de pó, onde este é inserido na cavidade do molde com a forma escolhida do produto, nas quantidades adequadas que atendam a espessura requerida do produto, este molde então é fechado, colocado em um local de aquecimento, normalmente em fornos, e girado nos sentidos vertical e horizontal. Este processo tem por característica ser um processo cíclico.

Figura 12: Ciclo do processo de rotomoldagem



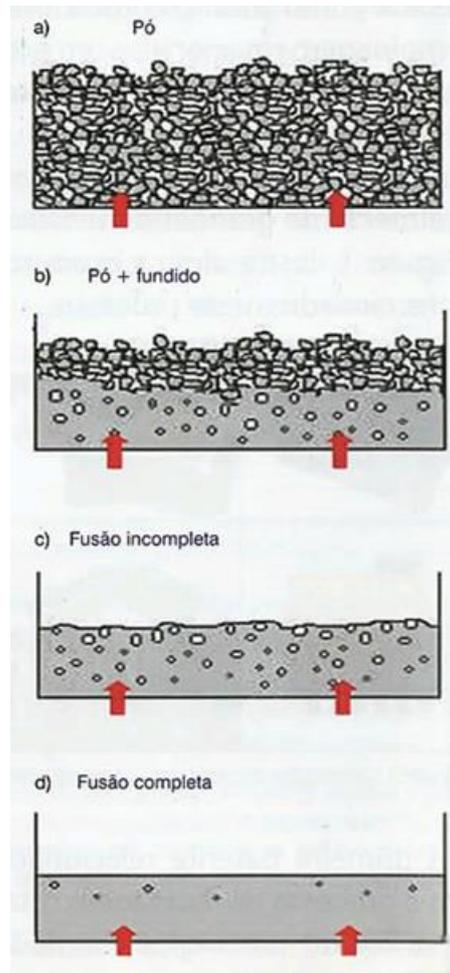
Fonte: Portal dos Moldes

Figura 13: Processo de transformação de polímeros por rotomoldagem



Fonte: Brasita

Figura 14: Comportamento dos materiais poliméricos no interior do molde com o aquecimento

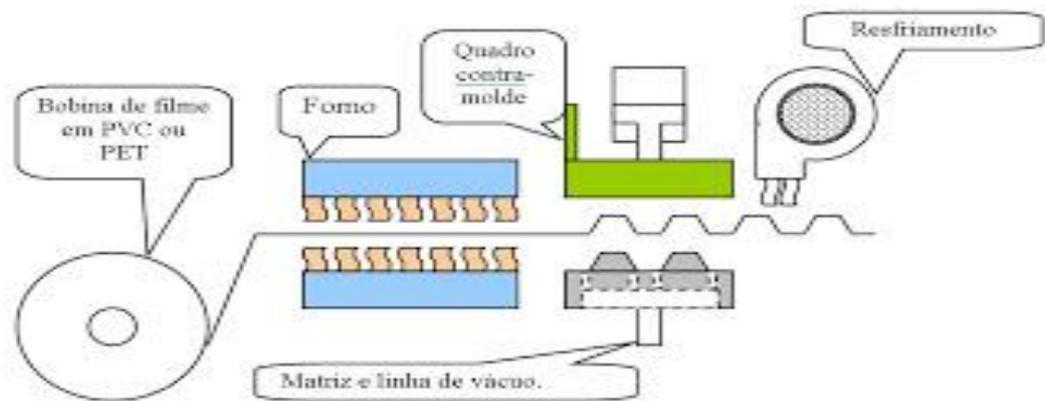


Fonte: Portal dos Moldes

### 1.3.5 Termoformagem

O processo de termoformagem consiste no aquecimento de uma lâmina do material polimérico a uma temperatura pré-determinada, causando o amolecimento do material plástico, após a lâmina ser aquecida, ela é encaminhada para cima do molde desejado. Esta lâmina, então, é colocada sobre todo o molde, cujo qual possui um lado macho e outro fêmea, onde, ao ocorre o encontro do molde macho com o molde fêmea, acontece a moldagem da lâmina aquecida, formando assim o produto requerido. Este processo possui aplicações geralmente para produção de caçambas de caminhonetes e pick-up's.

Figura 15: Processo de transformação de polímeros por termoformagem



Fonte: Diário de Envase

Figura 16: Produto plástico produzido por processo de termoformagem



Fonte: Plastvac

## 1.4 Consumo dos materiais plásticos

Os materiais plásticos são largamente utilizados em todos os setores industriais como têxtil, alimentício, automotivo, etc, e sua utilização está em crescente desenvolvimento. A cada dia novos produtos plásticos são lançados no mercado substituindo produtos já existentes ou trazendo inovações.

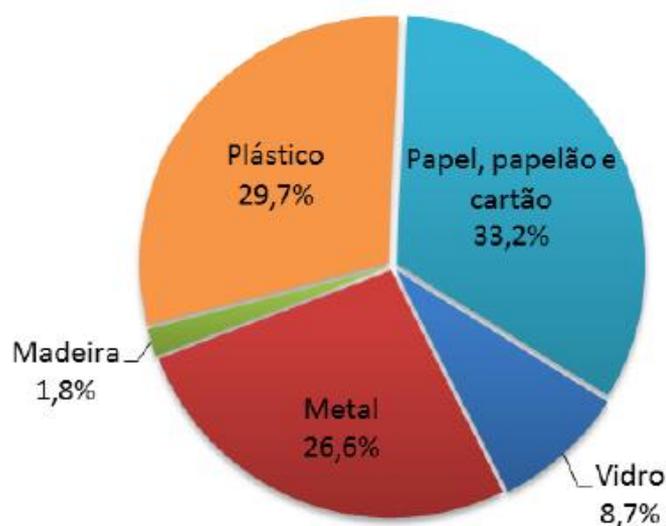
Os plásticos têm substituído vários tipos de materiais, como madeira, vidro e metais, devido às suas características estruturais quanto à maleabilidade, facilidade de processamento, e menor custo.

O setor de embalagens têm se destacado pela crescente utilização de materiais poliméricos, por atender às necessidades de resistência, atoxidade, baixo peso, transparência, maleabilidade e baixo custo, grande parte vem sendo utilizada pelas indústrias alimentícias.

Dentro do setor de embalagens os materiais plásticos ficam em segundo lugar, ficando atrás apenas das embalagens de papel e papelão, conforme ilustra o gráfico representado na figura 17.

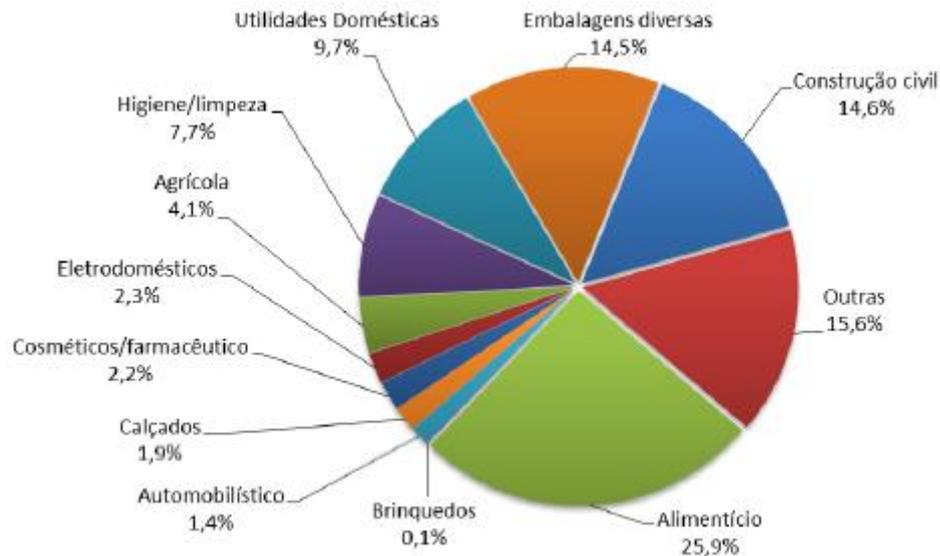
A figura 18 ilustra o consumo dos materiais plásticos por segmentação e aplicação de mercado.

Figura 17: Participação dos materiais na indústria de embalagens



Fonte: Estudo Macroeconômico da Embalagem ABRE/ FGV – 2012

Figura 18: Segmentação do mercado de materiais plásticos por aplicação



Fonte: Estudo de viabilidade insumos nanométricos, pg. 22. (2012)

## 1.5 Problemas decorrentes do alto consumo de materiais plásticos

### 1.5.1 O descarte incorreto e impactos ambientais

O alto consumo dos materiais plásticos gera um grande impacto ambiental, pelo fato de que a maioria dos resíduos do consumo dos plásticos vira lixo e é descartado incorretamente no meio ambiente.

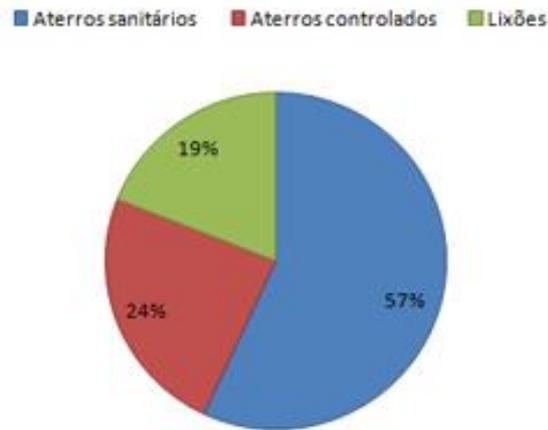
Um dos maiores problemas com o consumo excessivo dos materiais plásticos é o descarte inadequado dos resíduos plásticos, o que acarreta em um grande acúmulo de lixo nos aterros sanitários e nos lixões.

Segundo dados do IBGE (2000), 21% dos resíduos gerados pela população no Brasil é descartado em lixões à céu aberto.

Nos lixões e aterros sanitários grande parte dos resíduos sólidos é proveniente do consumo excessivo dos materiais plásticos.

Segundo informações coletadas no SustentaneWS (2011), do total dos resíduos sólidos que são gerados 56,8% vão para aterros sanitários, 23,9% para aterros controlados e 19% diretamente para lixões, o que está exemplificado na figura 19.

Figura 19: Destinação dos resíduos sólidos plásticos



Fonte: Sustentanews

O plástico é popularmente conhecido como “material descartável”, devido à sua grande utilização na produção de materiais descartáveis por seu baixo custo, isto faz com que a população caracterize os plásticos como lixos.

Os plásticos não são digeridos por seres biológicos e por este motivo não possui boa biodegradabilidade. Um material plástico demora em torno de 100 anos para se decompor de maneira natural, o que acarreta em um acúmulo cada vez maior de materiais plásticos nos lixões e aterros sanitários.

Figura 20: Descarte dos materiais plásticos em lixões



Fonte: Alunos online

## 1.6 Análise do ciclo de vida de um produto

### 1.6.1 O que é ciclo de vida de um produto

O Ciclo de vida de um produto engloba todas as atividades relacionadas ao produto no decorrer de sua vida, desde a sua fabricação, sua utilização, até o seu descarte final.

O ciclo de vida compreende os estágios de um produto desde a retirada de matéria prima, as operações de produção, o consumo, até o descarte ao final da vida útil do produto. Os estágios de um ciclo de vida de um produto possuem entradas, processos e consequentemente possuem saídas resultantes destes processos.

Segundo o Portal Info Escola (2006), o ciclo de vida se inicia quando a matéria prima é removida de sua origem – o berço, e finaliza-se quando este material retorna para a terra – o túmulo. A partir deste princípio, surgiu então a expressão “do berço até o túmulo”.

Figura 21: Ciclo de vida de um produto



Fonte: Moda ética

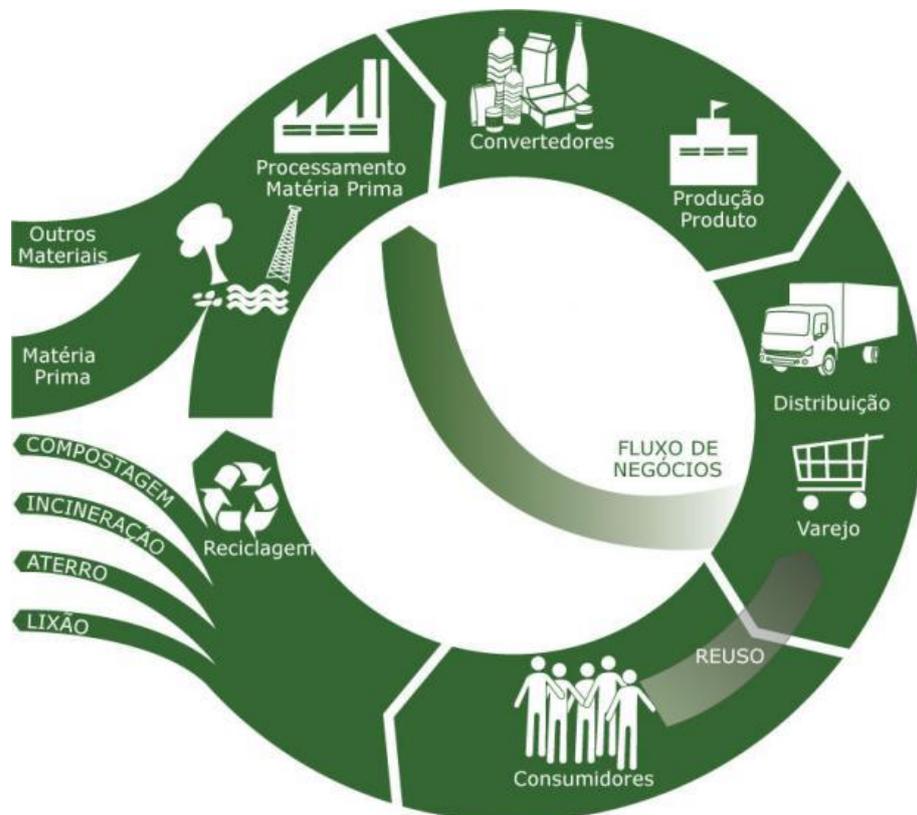
### 1.6.2 Ciclo de vida de um produto plástico

A primeira etapa do ciclo de vida de um produto plástico é a extração da matéria prima por meio do refino do petróleo, sendo este um produto de característica não renovável e com grande possibilidade de contaminação de águas e da atmosfera por meio de vazamentos e emissão de gases que causam o efeito estufa.

Logo após a retirada da matéria prima, a mesma é encaminhada às fábricas de processamento de polímeros plásticos para a transformação da matéria prima em grânulos e em seguida a transformação em produtos plásticos para o consumo.

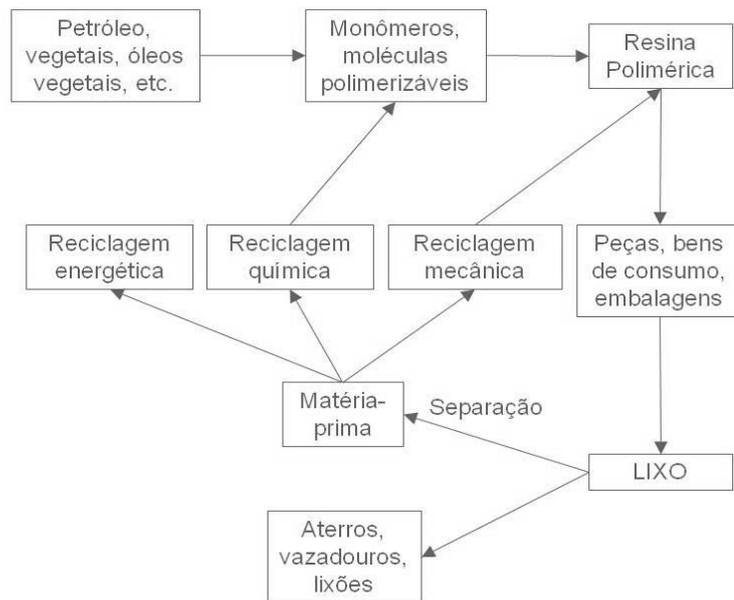
Após o consumo dos materiais plásticos e no final de sua vida útil, estes podem ser descartados de quatro maneiras diferentes, sendo elas a reutilização, a reciclagem, o reaproveitamento ou o descarte como lixos.

Figura 22: Ciclo de vida dos produtos plásticos



Fonte: Ciclo Vivo

Figura 23: Ciclo de vida de um polímero plástico



Fonte: Polikem – Tecnologia em Polímeros

## 1.7 Soluções atuais para redução dos problemas gerados pelos plásticos

### 1.7.1 Incineração

O processo de incineração consiste em aproveitar em forma de energia térmica os resíduos sólidos plásticos, o aproveitamento é dado pela queima dos resíduos, reduzindo assim o volume.

Segundo Franchetti e Marconato (2006), a incineração é um processo que diminui 80% do volume dos materiais plásticos, porém não se trata de uma solução recomendável, pois possui altos custos de operação e gera vários problemas ambientais, devido à liberação de produtos tóxicos à atmosfera.

O PVC, por exemplo, ao ser incinerado, libera o gás HCl, que ao ser acumulado na atmosfera pode voltar à terra em forma de chuva ácida.

### 1.7.2 Reciclagem química

A reciclagem química consiste em transformar os materiais plásticos em suas matérias primas de origem, através do reprocessamento dos materiais plásticos por meio de processos químicos, o plástico volta a ser o hidrocarboneto que serviu de matéria prima para sua produção.

Segundo informações colhidas no portal do Ambiente Brasil os principais tipos de reciclagem química são hidrogenação, gaseificação, quimólise e pirólise.

### 1.7.3 Reciclagem mecânica

A reciclagem mecânica consiste no processo de transformação física dos produtos plásticos pós-industriais ou pós-consumo, onde os materiais são separados de acordo com a classificação dos grupos de materiais, lavados e triturados.

Após o material ser triturado, ele é submetido ao processo de extrusão, para se transformar em grânulos novamente e para poderem ser reutilizados na produção de novos produtos.

A figura 24, a seguir, descreve o ciclo do processo de reciclagem mecânica de materiais plásticos, descartados como lixos.

Figura 24: Processo de reciclagem mecânica dos materiais plásticos



Fonte: Apostila de Polímeros – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia

## **CAPÍTULO 2 – SOLUÇÃO PROPOSTA PARA O PROBLEMA**

### **2.1 Substituição dos plásticos convencionais por polímeros biodegradáveis**

Segundo a norma ISO 14000, prevenir a poluição ambiental pode ser através de: “uso de processos, práticas, materiais ou produtos que evitem, reduzam ou controlem a poluição, os quais podem incluir reciclagem, tratamento, mudanças no processo, mecanismos de controle, uso eficiente de recursos e substituição de materiais”.

Seguindo as diretrizes da norma ISO, este trabalho científico propõe prevenir a poluição e diminuir o impacto ambiental através da substituição de materiais utilizados para a produção de produtos plásticos.

A solução proposta para o problema do impacto ambiental causado pelo descarte dos materiais plásticos é atingir a primeira etapa do ciclo de vida do produto plástico: a matéria prima, ou seja, a utilização de matérias primas provenientes de fontes renováveis e que ao serem descartadas no meio ambiente se degradam em tempo muito menor do que os plásticos provenientes de fontes não renováveis.

### **2.2 O que são polímeros biodegradáveis**

Segundo Franchetti e Marconato (2006), biodegradação é um processo que consiste na modificação física ou química de um polímero, através da ação de micro-organismos, sob determinadas condições de calor, pressão e umidade.

Materiais biodegradáveis são todos aqueles que quando entram em contato com o meio ambiente, se degrada transformando-se nos elementos naturais de sua composição, fechando o ciclo biológico da cadeia.

Plásticos biodegradáveis são polímeros naturais ou sintéticos que sob ação de micro-organismos, como fungos e bactérias, se degradam em forma de gás carbônico, água e nutrientes para o solo.

Os polímeros biodegradáveis são classificados em duas classes principais: naturais ou sintéticos.

## 2.3 Principais tipos de polímeros biodegradáveis e suas características

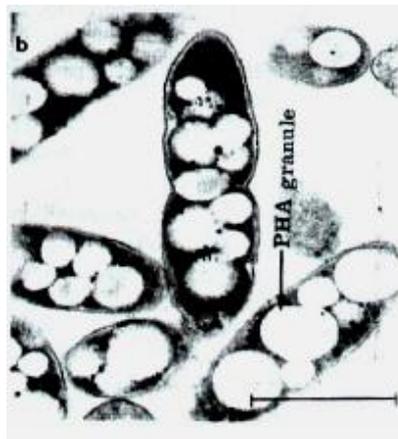
### 2.3.1 Polímeros biodegradáveis naturais

Polímeros biodegradáveis naturais são aqueles que são produzidos durante o ciclo de crescimento de alguns organismos vivos. Geralmente a síntese destes polímeros envolve reações realizadas por enzimas e são produzidos dentro das células por processos metabólicos complexos.

Segundo Franchetti e Marconato (2006), os polímeros naturais são degradados na natureza por fungos, que podem secretar enzimas, catalisando as reações de oxidação da celulose e do amido. Fungos e bactérias podem agir em conjunto, transformando celulose em glicose e que, por sua vez, é degradada aos produtos finais da biodegradação, sendo eles: gás carbônico e água.

Os polímeros naturais são produzidos por uma grande variedade de bactérias e são considerados, assim, como polímeros provenientes de fonte renovável.

Figura 25: Micrografia eletrônica mostrando os grânulos de PHAs no interior da bactéria



Fonte: Cedido pela empresa do estudo de caso I (transformadora de polímeros convencionais)

Dentre os polímeros biodegradáveis naturais temos como principal classe a família PHA. Os poli(hidroxicanoatos), conhecidos como PHAs, são poliésteres alifáticos considerados biopolímeros.

Segundo Franchetti e Marconato (2006), a família de biopolímeros PHA possui uma grande variação em suas propriedades, isto é, podem ser materiais rígidos e quebradiços até mesmo plásticos com boas propriedades de impacto ou até elastômeros resistentes.

Alguns dos mais conhecidos biopolímeros da família PHA são os poli( $\beta$ -hidroxibutirato) (PHB), poli( $\beta$ -hidroxivalerato) (PHV) e poli(hidroxibutirato-co-valerato) (PHB-V), sendo o PHB-V mais conhecido como Biopol.

O PHB é um polímero produzido a partir da cadeia de carbono existente na cana-de-açúcar, sua produção é realizada por meio de enzimas que consomem o carbono contido nas moléculas da cana-de-açúcar e tem por produto o polímero polihidroxibutirato, pertencente à família dos polihidroxicarboxilatos.

Este composto é formado por carbono, hidrogênio e oxigênio e é caracterizado como um poliéster de origem natural.

Segundo a empresa Biocycle, a produção de PHB é realizada através da fermentação da cana-de-açúcar, sendo invertido para um processo enzimático, onde se é adicionado um álcool que tem por finalidade extrair o polímero.

Segundo Franchetti e Marconato (2006), o polímero PHB tem a característica de ser cristalino, possui alta temperatura de fusão ( $T_f = 180\text{ }^\circ\text{C}$ ) e temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ) de cerca de  $5\text{ }^\circ\text{C}$ .

Estas características faz com que os filmes de PHB sejam muito quebradiços, e segundo Franchetti e Marconato (2006), pode-se ser melhorado com a utilização do copolímero PHB-V.

### **2.3.2 Polímeros biodegradáveis sintéticos**

Polímeros biodegradáveis sintéticos são ésteres alifáticos e possuem cadeias carbônicas hidrolisáveis.

Dentre os polímeros biodegradáveis sintéticos, os mais conhecidos e utilizados têm sido o poli(ácido láctico) (PLA), poli(ácido glicólico) (PGA), poli(ácido glicólico-ácido láctico) (PGLA), poli( $\epsilon$ -caprolactona) (PCL).

Segundo Franchetti e Marconato (2006), os polímeros PLA, PGA e PGLA são poliésteres muito utilizados em suturas absorvíveis utilizadas em cirurgias onde são

absorvidas por um sistema vivo, e tem como grande vantagem a biodegradabilidade por hidrólise nos sistemas aquosos existentes no corpo humano.

Este tipo de polímero biodegradável vem sendo utilizado na biomedicina, sendo empregados em cápsulas para liberação controlada em organismos, materiais cirúrgicos como suturas, pinos, etc, e também para alguns tipos de embalagens.

Segundo Franchetti e Marconato (2006), o polímero PCL foi muito estudado como matriz para liberação controlada de drogas em organismos vivos e é biodegradado através da hidrólise realizada por fungos.

As características físicas destes polímeros, segundo Franchetti e Marconato (2006), tem como temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ) e temperatura de fusão ( $T_f$ ) para o PCL -60 e 60°C, para o PLA 58 e 180°C e para o PGA 36 e 224-226°C.

## **2.4 Análise da substituição dos plásticos convencionais por biodegradáveis**

### **2.4.1 Aspectos Positivos**

O principal aspecto positivo da substituição dos polímeros convencionais pelos polímeros biodegradáveis é que os materiais biodegradáveis são degradados por microorganismos vivos, e os materiais poliméricos convencionais colaboram para a poluição e o impacto ambiental, devido a sua degradação demorar mais de 100 anos.

A família PHA possui características termoplásticas semelhantes ao polímero polipropileno, possui uma alta regularidade de sua cadeia polimérica e uma elevada massa molecular.

Segundo Franchetti e Marconato (2006), o PHB-V tem excelentes propriedades de barreira ao gás, que certificam ao produto uma baixa permeabilidade ao oxigênio, alta resistência à água em ebulição e boa capacidade de adesão.

O ciclo de vida de um polímero biodegradável é caracterizado por um ciclo completo, um ciclo fechado, onde a matéria prima utilizada na fabricação dos polímeros biodegradáveis é de fonte renovável. Estes polímeros, no final de seu ciclo de vida, sofrem degradação de microorganismos que o decompõe em água, gás carbônico e nutrientes, que retornam para o solo.

Já os polímeros convencionais, ao final de seu ciclo de vida, retornam para o solo como forma de descarte, de lixo, e ficam expostos ao céu aberto em aterros sanitários e lixões.

Figura 26: Ciclo de vida dos materiais poliméricos biodegradáveis e convencionais



Fonte: Cedido pela empresa do estudo de caso I (transformadora de polímeros convencionais)

### 2.4.2 Aspectos negativos

Segundo Franchetti e Marconato (2006), os poliésteres microbianos são resistentes à hidrólise química, mas são predispostos ao ataque bacteriológico, o que pode restringir o seu uso para embalar alimentos.

Um dos maiores aspectos negativos em relação à substituição dos plásticos convencionais pelos biodegradáveis, atualmente, é o alto custo de produção destes polímeros.

Atualmente, as características dos polímeros biodegradáveis como a dureza, a degradação térmica rápida, a processabilidade limitada impactam as aplicações destes materiais.

Os estudos que foram realizados até os dias atuais ainda não comprovam a substituição por completa de todos os tipos de materiais plásticos convencionais, o que abre espaço para novas pesquisas e testes para que a substituição dos materiais plásticos convencionais seja por completa.

### 2.4.3 Potencial de substituição dos plásticos convencionais pelos plásticos biodegradáveis

O PHB possui propriedades estruturais, mecânicas e físicas semelhantes ao Polipropileno, conforme ilustrado na tabela 1, o que potencializa a substituir completamente este polímero convencional.

Tabela 1: Comparação entre as propriedades do PHB e do PP

	PHB	PP
% de cristalinidade	80	70
Massa molar ponderal média (g/mol)	$4 \times 10^5$	$2 \times 10^5$
Temperatura de fusão (°C)	175	176
Temperatura de transição vítrea (°C)	-5	-10
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	1,2	0,905
Módulo de flexão (GPa)	1,4 – 3,5	1,7
Resistência à tração (MPa)	40 – 15	38
Alongamento na ruptura (%)	4 – 10	400
Resistência ao UV	Boa	Pobre
Resistência a solventes	Pobre	Boa

Fonte: Cedido pela empresa do estudo de caso I (transformadora de polímeros convencionais)

Além disso, conforme pode ilustrar na figura 27, os polímeros biodegradáveis podem substituir parcialmente ou totalmente muitos dos polímeros convencionais, como por exemplo, os mais utilizados atualmente, como os PEAD e PEBD, o PP e o PET.

. Os polímeros convencionais que ainda não poderiam ser substituídos pelos polímeros biodegradáveis são os plásticos de engenharia, como exemplificado na figura 27 pelo PMMA, sendo estes, plásticos de utilização específica e não são considerados commodities.

Figura 27: Potencial de substituição dos polímeros convencionais por biodegradáveis

<b>Materiais</b>	<b>PVC</b>	<b>PEAD</b>	<b>PEBD</b>	<b>PP</b>	<b>PS</b>	<b>PMMA</b>	<b>PA</b>	<b>PET</b>		<b>PC</b>
<b>Polímeros de amido</b>	-	+	+	+	+	-	-	-		-
<b>PLA</b>	-	+	-	+	+	-	+	+		-
<b>PTT</b>	-	-	-	+	-	-	++	++		+
<b>PBT</b>	-	-	-	++	-	-	+	++		+
<b>PHB</b>	-	+	-	++	+	-	-	-		-
<b>PHB/HHx</b>	+	++	++	++	+	-	-	+		-

++ substituição completa;  
 + substituição parcial;  
 - não substituição.  
 PVC: cloreto de polivinila  
 PEAD: polietileno de alta densidade  
 PEBD: polietileno de baixa densidade  
 PBT: polibutileno tereftalato

PP: polipropileno  
 PS: poliestireno  
 PMMA: polimetil metacrilato  
 PA: poliamida  
 PET: polietileno tereftalato  
 PC: policarbonato

Fonte: PRO-Bip, 2004

Atualmente alguns polímeros biodegradáveis já possuem aplicações ou estudos para possíveis aplicações semelhantes ao dos polímeros convencionais, conforme exemplificado na tabela 2.

Tabela 2: Aplicações atuais de polímeros biodegradáveis

<b>Polímero</b>	<b>Aplicações</b>
Amido Modificado e Amido-PCL	<b>Embalagens:</b> sacos; bandejas; talheres; filme para embrulhar. <b>Agricultura:</b> filme de recobrimento; vasos para mudas; encapsulação e agente de liberação de agroquímicos. <b>Outros:</b> uso na composição de pneus como enchimento ( <i>filler</i> )
PLA	<b>Embalagens:</b> alimentos, óleos e produtos gordurosos. <b>Fibras e tecidos:</b> uso em interiores de automóveis; tapetes, carpetes, tecidos para roupas.
PTT	<b>Embalagens:</b> Fibras e filmes para embalagens; cordas. <b>Fibras e tecidos:</b> uso em interiores de automóveis; tapetes, carpetes, tecidos para roupas. <b>Outros:</b> fitas magnéticas; pisos de recobrimento; corpos de equipamentos eletrônicos.
PBT	<b>Elétrico-eletrônico:</b> isolamento em eletrodomésticos e relays; cabos de conexão; componentes para chaves e tomadas.
PBS e PBSA	<b>Embalagens:</b> sacos; frascos; filme para embrulhar. <b>Agricultura:</b> filme de recobrimento. <b>Outros:</b> plastificante para PVC.
PHB; PHB/HV E PHB/HHx	<b>Embalagens:</b> frascos para alimentos e produtos aquosos e gordurosos; artigos de descarte rápido; filmes para recobrimento de cartões. <b>Agricultura:</b> vasos para mudas; encapsulação e agente de liberação de agroquímicos. <b>Outros:</b> microcápsulas para liberação controlada de ativos; moldes para engenharia de tecidos; partes de fraldas e absorventes íntimos.

Fonte: CGEE, 2006

## **CAPÍTULO 3 – OBJETIVO**

Este trabalho tem por objetivo principal estudar e analisar as características dos plásticos convencionais e dos plásticos biodegradáveis, mediante aspectos estruturais, aplicações, processamento e degradação, com o intuito de propor a substituição dos plásticos convencionais por plásticos biodegradáveis.

### **3.1 Objetivos Específicos**

O objetivo específico deste trabalho é verificar a viabilidade da substituição dos plásticos convencionais pelos plásticos biodegradáveis, visando a diminuição do impacto ambiental causado pelo descarte incorreto dos materiais plásticos e pelo tempo de degradação de um material plástico convencional.

O trabalho tem por objetivos identificar os pontos positivos e negativos da utilização dos plásticos biodegradáveis e realizar a análise de quais plásticos convencionais podemos substituir por biodegradáveis sem alterar as características físicas e estruturais dos produtos à quais são aplicados.

## **CAPÍTULO 4 – METODOLOGIA**

A metodologia aplicada a este trabalho refere-se ao método dedutivo com base no tipo de pesquisa exploratória, onde serão pesquisadas e analisadas as informações coletadas a partir de estudo de pesquisas científicas, trabalhos de conclusões de cursos, artigos científicos e livros.

A modalidade de pesquisa a ser utilizada na elaboração deste trabalho é a bibliográfica, onde serão analisados e estudados os conhecimentos científicos referentes à problemática do tema em questão.

Para uma melhor análise e melhores conclusões a respeito do tema, foi efetuado um estudo de caso em uma empresa produtora de materiais plásticos através de polímeros convencionais da região de Marília/SP, por meio de um questionário aplicado, e um estudo de caso em uma empresa produtora de materiais plásticos através de polímeros biodegradáveis, por meio de uma pesquisa exploratória, de acordo com informações disponibilizadas em seu site, por meio eletrônico.

## **CAPÍTULO 5 – ESTUDOS DE CASO**

### **5.1 Realizado em uma empresa transformadora de polímeros convencionais**

Para melhores conclusões e análises sobre a atual utilização dos polímeros biodegradáveis e os estudos realizados para possíveis aplicações, foi realizado um estudo de caso em uma empresa situada em uma cidade da região de Marília/SP, do ramo de transformação de produtos plásticos.

O estudo de caso foi realizado por meio de um questionário enviado a um funcionário do setor de Projetos desta empresa, que possui Graduação em Engenharia de Materiais e Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais.

#### **5.1.1 Sobre a empresa**

A empresa estudada situa-se na região de Marília/SP, mas especificamente na cidade de Pompéia/SP, e atua no segmento de transformação de plásticos. É uma empresa considerada de médio porte e tem como propósito prover soluções inovadoras, que integram serviços e tecnologias de aplicação de polímeros, agregando valor à cadeia.

Atualmente é uma empresa que serve de referência para empresas nacionais e internacionais e executa oito processos de transformação, sendo eles: sopro, injeção, injeção espumada estruturada, extrusão, termoformagem, rotomoldagem, borracha e cerâmica.

Os principais setores de produtos plásticos produzidos e comercializados pela empresa são:

- Embalagens para indústrias química, agroquímica, alimentícia, veterinária e de adubo foliar.
- Automobilístico e autopeças - componentes técnicos.
- Agropecuária e laticínios.
- Área médica, odontológica e laboratorial.
- Soluções logísticas.
- Componentes técnicos feitos de borracha e cerâmica para indústrias de alta tecnologia.

### 5.1.2 Estudo realizado

Conforme estudo realizado com o Engenheiro da empresa transformadora de produtos plásticos em questão, atualmente os polímeros convencionais mais utilizados nos processos de fabricação dos produtos da empresa são as commodities PEBD, PEAD, e PP. Também trabalham com termoplásticos especiais como PMMA, EVA, termoplásticos de engenharia (entre eles o PBT, poliamidas, PC, entre outros).

Estes polímeros são processados pelos mais variados processos de transformação, dos quais a empresa possui atuação nos processos de injeção, processo por extrusão, processo por rotomoldagem, processo por termoformagem e por sopro.

Os processos de transformação de polímeros geram resíduos sólidos através de refugos. Estes resíduos são gerados por meio do processo de acabamento das peças produzidas, através da rebarbação de pontos que não fazem parte do produto final, são gerados também por meio de controle de qualidade, onde as peças não conformes são descartadas, e também por meio de setup de máquinas, onde os materiais poliméricos que são consumidos durante o setup das máquinas são descartados. De acordo com o colaborador o índice de rejeição e resíduos gerado pela empresa varia muito, dependendo do processo, do produto e da máquina utilizada para a produção.

Estes resíduos sólidos gerados durante o processo são tratados de forma diferenciada, de acordo com o tipo e classificação do resíduo. Os resíduos considerados como classe 1, cujos quais são aqueles que podem apresentar riscos para o meio ambiente e são considerados perigosos, são destinados pela empresa para tratamento e destinação em terceiros. As sobras de processo, geradas pelo processo de acabamento e pelo controle de qualidade, são reutilizados no processo ou são destinados para um consumo posterior em outros produtos.

Quando questionado sobre a utilização de polímeros provenientes de fontes renováveis pela empresa na produção de produtos plásticos, o colaborador mencionou que há utilização do PE verde em processos de sopros de alguns produtos específicos, porém, atualmente a empresa não atua ainda na produção direta com polímeros biodegradáveis, mas está intensificando os estudos e testes já em andamento para implantação destes polímeros em seus processos de produção.

Dentro do segmento comercial atendido pela empresa, atualmente, existe um potencial de substituição muito grande em todos os setores da empresa.

Há também uma forte pressão do mercado no que diz respeito à sustentabilidade. O Engenheiro da empresa enfatizou que a entrada no mercado destes polímeros biodegradáveis é inevitável.

Visando a entrada no mercado com os polímeros biodegradáveis, no primeiro momento a empresa visará à substituição dos polímeros como o PE e PP em aplicações específicas, que não foram informadas, devido ao sigilo referente aos estudos da empresa. Os processos que serão iniciados os estudos e testes de polímeros biodegradáveis na empresa são o de injeção e o de extrusão.

Nas aplicações em que a empresa está realizando estudos no processo de injeção, não haverá necessidade de alterações no processo de produção, porém para aplicações em processo de extrusão pode ocorrer a necessidade de mudança no perfil da rosca, para evitar o cisalhamento excessivo do material.

Outro foco de atenção para realizar a substituição seria em relação aos aditivos e pigmentos que são utilizados e desenvolvidos nos polímeros convencionais e precisarão ser adaptados e estudados nos polímeros biodegradáveis.

Segundo o Engenheiro da empresa estudada, o mercado dos polímeros biodegradáveis está limitado a aplicações específicas, pois alguns polímeros ainda possuem limitação de menos de um ano de armazenamento.

Um dos maiores empecilhos para os polímeros biodegradáveis terem condições de concorrer com os plásticos de grande utilização como os polietilenos – PE, polipropileno – PP ou poli (tereftalato de etileno) – PET, ainda é a questão dos custos serem elevados. Também há a questão de que alguns polímeros não possuem as mesmas características dos convencionais, o que demanda tempo para estudos e abre novos horizontes para pesquisas.

## **5.2 Realizado em uma empresa produtora e transformadora de polímeros biodegradáveis**

Com a finalidade de comprovar a eficácia da substituição dos polímeros convencionais pelos polímeros biodegradáveis, foi realizado um estudo de caso em uma empresa que já possui uma planta produtora e transformadora de materiais plásticos a partir de polímeros biodegradáveis, o PHB.

O estudo de caso foi realizado por meio de uma pesquisa exploratória, via dados publicados pela empresa, disponíveis para consulta em seu site.

### 5.2.1 Sobre a empresa

A empresa estudada é uma empresa pioneira em produção de produtos plásticos a partir do polímero biodegradável PHB, possui a marca registrada chamada de Biocycle®, os processos são realizados em uma planta piloto para produção situada no município de Serrana/SP.

A principal missão da empresa é, segundo informações colhidas no site da mesma, produzir e transformar biomassa em produtos plásticos, preservando o meio ambiente.

### 5.2.2 Estudo realizado

Segundo a empresa, a descoberta dos materiais poliméricos convencionais criou um fluxo unidirecional, conforme descrito na figura 28.

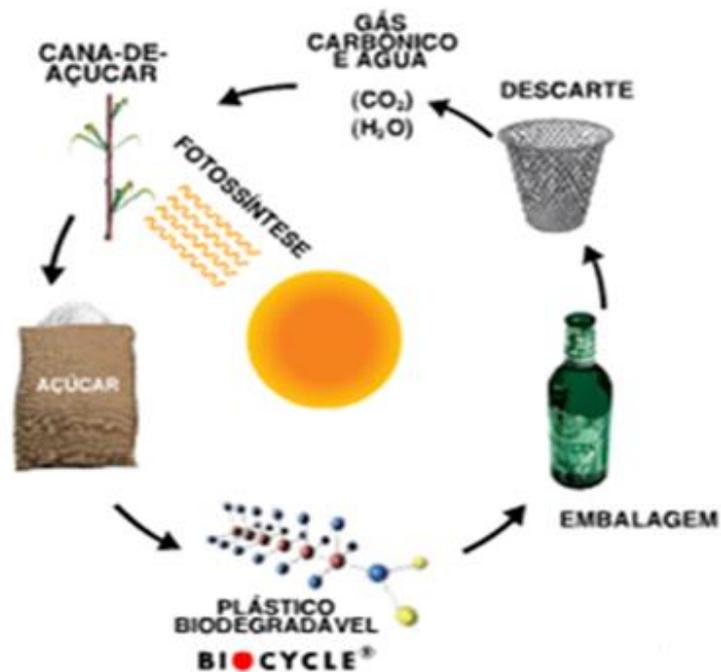
Figura 28: Fluxo unidirecional dos materiais poliméricos convencionais



Fonte: O autor

O ciclo de vida de um polímero biodegradável, segundo informações coletadas no site da empresa, pode ser ilustrado conforme figura 29.

Figura 29: Ciclo de vida de um polímero biodegradável



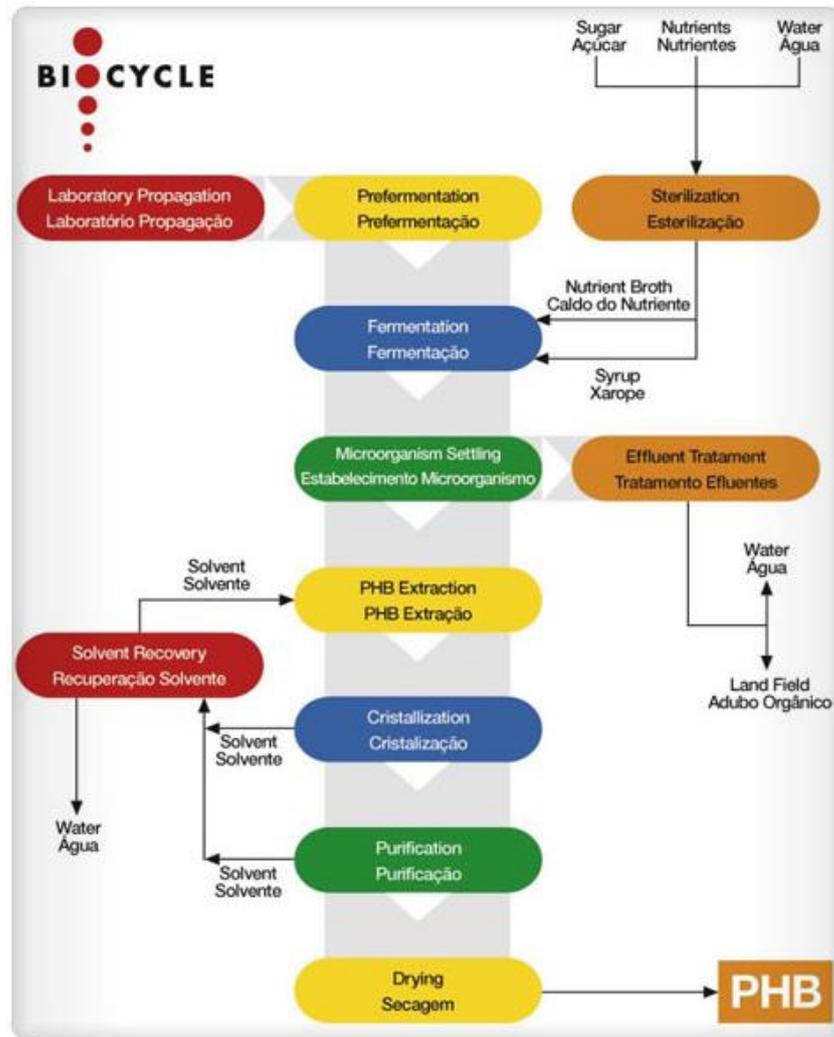
Fonte: Biocycle

Segundo a Biocycle® o PHB é um polímero ecologicamente correto, pois sua produção é realizada por meio da fermentação da cana-de-açúcar e ao final da produção do polímero pela bactéria, a matéria orgânica (da bactéria) e a água, que sobram no final do processo, são lançadas na lavoura como fertilizante. Além do mais, ao final do ciclo de vida deste polímero, o mesmo se degrada, por meio de organismos vivos, transformando-se em água, gás carbônico e nutrientes para o solo, colaborando assim para o desenvolvimento sustentável.

Além destes fatores positivos, a produção de PHB, segundo a empresa, consome somente 10% da energia não renovável utilizada no processo de produção do PP, durante quase todo o processo de produção do PHB, é utilizado fontes de energias renováveis.

O processo de produção do polímero PHB pela empresa é descrito conforme fluxograma ilustrado na figura 30.

Figura 30: Processo de produção dos polímeros PHB



Fonte: Biocycle

As principais aplicações atualmente do polímero Biocycle® é a produção de materiais para uso rápido, como os materiais plásticos descartáveis. Os polímeros biodegradáveis também têm sido utilizados para produção de materiais de uso na medicina para humanos e uso veterinário.

Os processos de transformação em que atualmente a empresa utiliza para produção dos materiais plásticos a partir do Biocycle®, são extrusão, injeção, termoformagem e fibras.

O polímero Biocycle® é certificado pelos institutos internacionais europeus DinCertco e AIB-Vinçotte, atendendo as normas de biodegradabilidade e compostagem.

A empresa atua com vários tipos de PHB, onde, a partir de estudos e experimentos foram aprimorando o polímero PHB para poder adaptar às aplicações e aos produtos que desejava alcançar.

O polímero biodegradável BIOCYCLE 1000 possui aplicações nos processos de injeção, extrusão e fibras, tendo suas principais características descritas conforme ficha técnica descrita na tabela 3.

Tabela 3: Ficha técnica do polímero BIOCYCLE 1000

### BIOCYCLE 1000 - Propriedades

	ASTM		ISO	
	Valor	Método	Valor	Método
<b>Propriedades Físicas</b>				
Densidade	1,20g/cm <sup>3</sup>	D792	1,20g/cm <sup>3</sup>	1183
Índice de Fluidez	6,5g/10min	D1238 (190°C, 2,16kg)	6,5g/10min	1133(190°C, 2,16kg)
<b>Propriedades Mecânicas</b>				
Resistência à tração	32MPa	D638	32MPa	527
Alongamento na Ruptura	4,0%	D638	3,5%	527
Módulo de Flexão	2.200MPa	D790	2.250MPa	178
Resistência ao Impacto Izod com entalhe	28J/m	D256	26J/m	180,1/A
<b>Propriedades Térmicas</b>				
Temperatura de fusão cristalina	170-175°C	D3418	-----	-----
Temperatura de Distorção ao Calor - HDT	117°C	D648 (0,45MPa)	115°C	75, B
	65°C	D648 (1,8MPa)	65°C	75, A
Temperatura de Amolecimento Vicat	135°C	D1525	135°C	306, A120

Fonte: Biocycle

Já o polímero biodegradável BIOCYCLE 18BC-1 possui aplicações nos processos de injeção, extrusão e termoformagem, tendo suas principais características descritas conforme ficha técnica descrita na tabela 4.

Tabela 4; Ficha técnica do polímero BIOCYCLE 18BC-1

**BIOCYCLE 18BC-1 - Propriedades**

	ASTM		ISO	
	Valor	Método	Valor	Método
<b>Propriedades Físicas</b>				
Densidade	1,30g/cm <sup>3</sup>	D792	1,30g/cm <sup>3</sup>	1183
Índice de Fluidez	16g/10min	D1238 (190°C, 2,16kg)	16g/10min	1133(190°C, 2,16kg)
<b>Propriedades Mecânicas</b>				
Resistência à tração	25MPa	D638	24MPa	527
Alongamento na Ruptura	2,2%	D638	2,0%	527
Módulo de Flexão	2.400MPa	D790	2.450MPa	178
Resistência ao Impacto Izod com entalhe	20J/m	D256	19J/m	180,1/A
<b>Propriedades Térmicas</b>				
Temperatura de fusão cristalina	165-170°C	D3418	-----	-----
Temperatura de Distorção ao Calor - HDT	117°C	D648 (0,45MPa)	117°C	75, B
	65°C	D648 (1,8MPa)	65°C	75, A
Temperatura de Amolecimento Vicat	135°C	D1525	135°C	306, A120

Fonte: Biocycle

Está disponível também o polímero biodegradável BIOCYCLE 189C-1 que possui aplicações nos processos de injeção e extrusão de chapas, tendo suas principais características descritas conforme ficha técnica descrita na tabela 5.

Tabela 5: Ficha técnica do polímero BIOCYCLE 189C-1

**BIOCYCLE 189C-1 - Propriedades**

	ASTM		ISO	
	Valor	Método	Valor	Método
<b>Propriedades Físicas</b>				
Densidade	1,30g/cm <sup>3</sup>	D792	1,30g/cm <sup>3</sup>	1183
Índice de Fluidez	15g/10min	D1238 (190°C, 2,16kg)	15g/10min	1133(190°C, 2,16kg)
<b>Propriedades Mecânicas</b>				
Resistência à tração	30MPa	D638	30MPa	527
Alongamento na Ruptura	2,2%	D638	2,2%	527
Módulo de Flexão	2.600MPa	D790	2.650MPa	178
Resistência ao Impacto Izod com entalhe	23J/m	D256	21J/m	180,1/A
<b>Propriedades Térmicas</b>				
Temperatura de fusão cristalina	165-170°C	D3418	-----	-----
Temperatura de Distorção ao Calor - HDT	121°C	D648 (0,45MPa)	120°C	75, B
	70°C	D648 (1,8MPa)	70°C	75, A
Temperatura de Amolecimento Vicat	135°C	D1525	135°C	306, A120

Fonte: Biocycle

Por fim, o polímero biodegradável BIOCYCLE 189D-1 possui aplicações nos processos de injeção, tendo suas principais características descritas conforme ficha técnica descrita na tabela 6.

Tabela 6: Ficha técnica do polímero BIOCYCLE 189D-1

### BIOCYCLE 189D-1 - Propriedades

	ASTM		ISO	
	Valor	Método	Valor	Método
<b>Propriedades Físicas</b>				
Densidade	1,30g/cm <sup>3</sup>	D792	1,30g/cm <sup>3</sup>	1183
Índice de Fluidez	20g/10min	D1238 (190°C, 2,16kg)	20g/10min	1133(190°C, 2,16kg)
<b>Propriedades Mecânicas</b>				
Resistência à tração	36MPa	D638	38MPa	527
Alongamento na Ruptura	2,0%	D638	2,0%	527
Módulo de Flexão	3.800MPa	D790	3.850MPa	178
Resistência ao Impacto Izod com entalhe	36J/m	D256	34J/m	180,1/A
<b>Propriedades Térmicas</b>				
Temperatura de fusão cristalina	165-170°C	D3418	-----	-----
Temperatura de Distorção ao Calor - HDT	125°C	D648 (0,45MPa)	123°C	75, B
	75°C	D648 (1,8MPa)	74°C	75, A
Temperatura de Amolecimento Vicat	137°C	D1525	136°C	306, A120

Fonte: Biocycle

Os polímeros biodegradáveis são transformados pela empresa através dos processos de injeção, extrusão, extrusão de chapas, termoformagem e fibras, e os principais produtos que atualmente são produzidos estão ilustrados conforme figuras 31, 32,33, 34, 35, 36 e 37.

Figura 31: Produto produzido através do processo de injeção



Fonte: Biocycle

Figura 32: Produto produzido através do processo de injeção



Fonte: Biocycle

Figura 33: Produto produzido através do processo de extrusão de chapas



Fonte: Biocycle

Figura 34: Produto produzido através do processo de extrusão



Fonte: Biocycle

Figura 35: Produto produzido através do processo de injeção



Fonte: Biocycle

Figura 36: Produto produzido através do processo de injeção



Fonte: Biocycle

Figura 37: Produto com aplicações por fibras



Fonte: Biocycle

## CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES

É evidente que os produtos plásticos produzidos a partir dos polímeros convencionais geram grande impacto ambiental e acarretam em diversos problemas ao meio ambiente.

As soluções atuais para o final do ciclo de vida dos produtos plásticos como reutilizar, reciclar e reduzir, atendem parcialmente o foco do problema, pois não são todos os plásticos que conseguimos reciclar a partir das reciclagens mecânica e química, e por que também a reciclagem energética, por meio da incineração, gera maiores problemas devido aos gases emitidos à atmosfera, causando efeito estufa e chuva ácida. Já a reutilização apenas aumenta o tempo de vida útil destes materiais plásticos, pois mesmo ao reutilizar, ao final do uso deste novo produto, o mesmo se tornará “lixo” novamente e voltará para os lixões e aterros sanitários. Em função do aumento dos produtos plásticos no mercado atual, devido à sua substituição de materiais de vidro, madeira e metais, estar em grande ascensão, a solução atual de reduzir se torna totalmente inviável.

Segundo os estudos das bibliografias relacionadas ao tema deste trabalho, podemos concluir então, que se atingirmos a primeira etapa do ciclo de vida dos materiais plásticos, a partir da substituição dos polímeros convencionais, que atualmente são utilizados para a produção destes materiais, por polímeros biodegradáveis pode-se conseguir eliminar o problema do final do ciclo de vida dos materiais plásticos, o descarte.

Os materiais biodegradáveis tem potencial para substituir os materiais plásticos, conforme estudado neste trabalho, e ainda trazem benefícios ao meio ambiente, contribuindo para a diminuição da poluição ambiental.

A partir da revisão bibliográfica podemos concluir também que ainda há espaço para estudos referente à substituição dos polímeros convencionais por biodegradáveis, pois ainda não são todos os tipos de plásticos que atualmente conseguimos substituir.

Com a realização do estudo de caso em uma empresa transformadora de produtos plásticos a partir de polímeros convencionais, podemos concluir que as empresas tem conhecimento de que a solução proposta por este trabalho está cada vez mais próxima de acontecer, devido à grande preocupação e conscientização em relação ao meio ambiente e à sustentabilidade.

Podemos concluir também, que a partir deste conhecimento que as empresas estão adquirindo, as mesmas estão se adequando e realizando estudos para implantação destes polímeros biodegradáveis em seus processos de fabricação.

Com o estudo de caso realizado em uma empresa produtora e transformadora de produtos plásticos a partir de polímeros biodegradáveis, podemos verificar a eficácia da substituição dos polímeros convencionais pelos polímeros biodegradáveis nos processos de injeção, extrusão, termoformagem e para aplicações em fibras. Este estudo de caso realça a viabilidade da substituição funcional dos polímeros convencionais pelos polímeros biodegradáveis, uma vez que a empresa já produz produtos plásticos a partir desta matéria prima renovável.

Podemos concluir ainda que, há espaço para estudos e análises a serem realizados referentes aos processos de rotomoldagem e sopro quanto ao potencial de substituição, pois ainda não são empregados pela empresa produtora e transformadora de materiais plásticos por polímeros biodegradáveis.

Concluimos assim, que os polímeros biodegradáveis tem grande potencial para a substituição dos plásticos convencionais, e que há uma necessidade de realização de estudos para que, num futuro bem próximo, estes polímeros consigam substituir completamente os polímeros convencionais.

## REFERÊNCIAS

- ABIPLAST. **Aplicações das principais resinas plásticas**. Sindiplast. São Paulo.
- ADIRPLAST – Associação Brasileira dos distribuidores de resinas plásticas e afins. Disponível em <<http://www.adirplast.com.br/>>. Acesso em 26 de setembro de 2013.
- ALUNOS ONLINE. **Polímeros: Poluição e lixo**. Disponível em <<http://www.alunosonline.com.br/quimica/polimeros-poluicao-lixo.html>>. Acesso em 05 de novembro de 2013.
- AMBIENTE Brasil. **Reciclagem de plástico - Classificação dos plásticos, tipos de reciclagem**. Disponível em <[http://ambientes.ambientebrasil.com.br/residuos/reciclagem/reciclagem\\_de\\_plastico.html](http://ambientes.ambientebrasil.com.br/residuos/reciclagem/reciclagem_de_plastico.html)>. Acesso em 10 de outubro de 2013.
- BARROS, Carolina. **Apostila de polímeros**. Pelotas, RS. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia. 2011.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. **Estudo de viabilidade insumos nanométricos**. NanoBusiness. Rio de Janeiro. 2012.
- CANGEMI, José Marcelo; SANTOS, Antonia Marli dos; Neto, Salvador Claro. **Biodegradação: Uma alternativa para minimizar os impactos decorrentes dos resíduos plásticos**. Química nova na escola. 2005.
- CARASCHI, José Cláudio; RAMOS, Uirá Manzolli; LEÃO, Alcides Lopes. **Compósitos biodegradáveis de polihidroxibutirato (PHB) reforçado com farinha de madeira: propriedades e degradação**. Acta Scientiarum. Maringá, v. 24, n. 6, p. 1609-1614, 2002.
- CASSIMIRO, Patrícia Rocha. **Ciclo de Vida de um Produto**. Disponível em <[http://www.infoescola.com/administracao/\\_ciclo-de-vida-de-um-produto/](http://www.infoescola.com/administracao/_ciclo-de-vida-de-um-produto/)>. Acesso em 29 de setembro de 2013.
- CICLOVIVO. **Análise do ciclo de vida dos produtos é garantia de baixo impacto ambiental**. 26 de Outubro de 2010. Disponível em <[http://www.ciclovivo.com.br/noticia/analise\\_do\\_ciclo\\_de\\_vida\\_dos\\_produtos\\_e\\_garantia\\_d\\_e\\_baixo\\_impacto\\_ambiental](http://www.ciclovivo.com.br/noticia/analise_do_ciclo_de_vida_dos_produtos_e_garantia_d_e_baixo_impacto_ambiental)>. Acesso em 11 de outubro de 2013.

COSTA, P. R. Y.; MACHADO, M. L. C.; PEREIRA, N. C.; MIRANDA, L. F., PRADELLA, J. G. C. **Estudo das propriedades mecânicas e térmicas de compósitos Phb(polihidroxibutirato)/pó de madeira.** 17º CBECIMat. Foz do Iguaçu, PR. 2006.

DIÁRIO DE ENVASE. **Termoformagem de peças plásticas.** Disponível em <<http://superenvase.blogspot.com.br/2009/08/termoformagem-de-pecas-plasticas.html>>. Acesso em 11 de novembro de 2013.

DONATO, Mário. **O mundo do plástico.** São Paulo. Editora Goyana S.A, Indústrias Brasileiras de Matérias Plásticas S.A. 1972.

DUARTE, Luciana. **Análise do ciclo de vida (ACV).** Disponível em <<http://modaetica.com.br/?p=1734>>. Acesso em 11 de outubro de 2013.

FERREIRA, José Vicente R. **Análise de ciclo de vidados produtos.** Instituto Politécnico de Viseu. 2004.

FRANCHETTI, Sandra M. M.; MARCONATO, José Carlos. **Polímeros biodegradáveis – uma solução parcial para diminuir a quantidade dos resíduos plásticos.** Quim. Nova, Vol. 29, No. 4, 811-816, 2006.

GARCIA, Eloísa E. C. **Plástico e Meio Ambiente: Uma visão através da Avaliação do Ciclo de Vida – ACV.** CETEA / ITAL.

MACHADO, Miriam L. C.; PEREIRA, Nilson C.; MIRANDA, Leila F. de; TERENCE, Mauro C. **Estudo das propriedades mecânicas e térmicas do polímero Poli-3-Hidroxibutirato (PHB) e de compósitos PHB/pó de madeira.** Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 20, nº 1, p. 65-71, 2010.

MICHAELI, Walter; GREIF, Helmut; KAUFMANN, Hans; VOSSEBÜRGER, Franz-Josef. **Tecnologia dos plásticos.** Editora Edgard Blücher LTDA. 1995.

OJEDA, Telmo F. M. **Biodegradabilidade de materiais poliméricos.** UFRGS. Porto Alegre, RS. 2008.

PIATTI, Tania M.; RODRIGUES, Reinaldo A. F. **Plásticos: características, usos, produção e impactos ambientais.** Série: Conversando sobre Ciências em Alagoas. Maceió, AL. 2005.

PLASTVAL. **Ciclo de vida do plástico.** Disponível em <<http://www.plastval.pt/index.asp?info=reciclagem/ciclo>>. Acesso em 16 de outubro de 2013.

POLIKEN. **O ciclo de vida dos plásticos.** Disponível em <<http://polikem.com.br/sustentabilidade/o-ciclo-de-vida-dos-plasticos/>>. Acesso em 01 de novembro de 2013.

PORTAL INFOESCOLA. **Ciclo de vida de um produto.** Disponível em <[http://www.infoescola.com/administracao\\_/ciclo-de-vida-de-um-produto/](http://www.infoescola.com/administracao_/ciclo-de-vida-de-um-produto/)>. Acesso em 20 de outubro de 2013.

SANTANA, Marylin Cipollini. **Impacto ambiental causado pelo descarte de embalagens plásticas – Gerenciamento e riscos.** Centro tecnológico da zona leste. São Paulo. 2009.

SILVA, André L. B. B. e ; SILVA, Emerson O. da. **Conhecendo materiais poliméricos.** UFMG. 2003.

SILVA, Diogo. **Ciclo de Vida dos Materiais Reciclados.** Disponível em <[http://www.ressoar.org.br/dicas\\_reciclagem\\_ciclo\\_de\\_vida\\_materiais\\_plasticos.asp](http://www.ressoar.org.br/dicas_reciclagem_ciclo_de_vida_materiais_plasticos.asp)>. Acesso em 05 de outubro de 2013.

SINDIPLAST. **Guia ambiental da indústria de transformação e reciclagem de materiais plásticos.** Série P+L. São Paulo. 2011.

SUSTENTANEWS. **Os desafios do manejo de resíduos sólidos.** Disponível em <<http://sustentaneWS.wordpress.com/2011/03/25/os-desafios-do-manejo-de-residuos-solidos/>>. Acesso em 11 de novembro de 2013.

VÁRIOS Autores. **Qual é o ciclo de vida de um produto?.** Revista Vida Simples. 2008. Disponível em <[http://planetasustentavel.abril.com.br/noticia/lixo/conteudo\\_391819.shtml](http://planetasustentavel.abril.com.br/noticia/lixo/conteudo_391819.shtml)>. Acesso em 05 de outubro de 2013.

## APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO

Para avaliarmos o potencial de substituição dos materiais poliméricos convencionais pelos biodegradáveis, e visualizarmos qual a utilização atualmente dos polímeros biodegradáveis no processo de fabricação das empresas transformadoras de polímeros convencionais, bem como para verificar o nível de conhecimento e de estudos relacionados a estes polímeros provenientes de fontes renováveis, a sua experiência e suas informações são muito úteis. Por isso, peço-lhe que responda a estas questões:

### Questionário

1. Nome/Formação/Departamento
2. Quando surgiu a empresa? Quais os produtos que a empresa produz? Para aplicações em quais segmentos? Quais os processos de transformação existentes na empresa?
3. Quais os tipos de polímeros convencionais utilizados como matéria-prima?
4. Qual a média de processamento mensal entre todos os polímeros (toneladas/mês)?
5. Quais os tipos de perdas durante o processamento destes polímeros? Qual o índice de refugo?
6. Como são tratados os resíduos industriais?
7. Atualmente a empresa trabalha com algum polímero biodegradável?
8. Se sim, quais os tipos de utilizados? Qual o volume de processamento de polímeros biodegradáveis por mês?

9. Se não, estão testando estes tipos de polímeros? Quais?
10. Quais os principais polímeros convencionais que os polímeros biodegradáveis visam substituir em suas aplicações da empresa?
11. Há diferenças no processamento de polímeros biodegradáveis em relação aos polímeros convencionais?
12. Para iniciar a produção com polímeros biodegradáveis, houve ou haverá necessidade de mudanças em processos, equipamentos, etc?
13. Quais os tipos de testes realizados em polímeros biodegradáveis?
14. Há diferenças estruturais ou em propriedades mecânicas dos polímeros biodegradáveis em relação aos convencionais?
15. Há diferença no volume de geração de resíduos sólidos entre os convencionais e os biodegradáveis?
16. Quais os tipos de processamento de polímeros biodegradáveis que atualmente a empresa trabalha ou trabalhará?
17. Houve algum tipo de processamento que foi testado e não obteve sucesso com polímeros biodegradáveis?
18. Dentro do segmento atendido pela empresa, em quais podem haver aplicações deste polímeros biodegradáveis?
19. Existe alguma pressão de algum segmento sobre a aplicação destes polímeros biodegradáveis?
20. Utilizam polímeros de fontes renováveis? Qual tipo? Qual o volume?