

# **RECICLAGEM MECÂNICA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE OBTIDO A PARTIR DE SACOLAS PLÁSTICAS**

**Beatriz Gondin da Fonseca Lontra**

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia de Materiais da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro.

Orientador: Marysilvia Ferreira da Costa

**Rio de Janeiro**

**Janeiro de 2011**

RECICLAGEM MECÂNICA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE OBTIDO  
A PARTIR DE SACOLAS PLÁSTICAS

Beatriz Gondin da Fonseca Lontra

“PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE ENGENHARIA METALÚRGICA E DE MATERIAIS DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO DE MATERIAIS”

Examinada por:

---

Marysilvia Ferreira da Costa, D.Sc.

---

Renata Antoun Simão, D.Sc.

---

Geovanio Lima de Oliveira, M.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL  
JANEIRO de 2011

Lontra, Beatriz Gondin da Fonseca

Reciclagem Mecânica de Polietileno de Alta Densidade Obtido a partir de Sacolas Plásticas/ Beatriz Gondin da Fonseca Lontra. – Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2011.

X, 35 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Marysilvia Ferreira da Costa

Projeto de Graduação – UFRJ/ Escola Politécnica/ Curso de Engenharia de Materiais, 2011.

Referencias Bibliográficas: p. 32-35.

1.Reciclagem Mecânica. 2.Sacolas Plásticas. 3.Ensaio Mecânicos. 4.Caracterização. I. Lontra, Beatriz Gondin da Fonseca. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Curso de Engenharia de Materiais. III. Título.

*Dedico este trabalho à minha família*

*Nilo Eduardo Baptista de Mello*

*e Nilo Felipe Baptista de Mello*

*com todo o carinho da mamãe e esposa,*

*são vocês que me fazem querer ser melhor a cada dia.*

## AGRADECIMENTOS

À minha mãe Lourdes Maria Gondin da Fonseca Lontra e ao meu pai Paulo Homero Lontra por sempre me apoiarem e me darem a oportunidade e educação para chegar aonde cheguei.

Aos meus sogros Josefina Carmen Diaz de Mello e Nilo Baptista de Mello pela confiança depositada a cada dia na minha profissão.

A todos os meus irmãos, que não são poucos, e torcem por mim como se estivessem torcendo por eles mesmos.

Ao laboratório de Polímeros, Giovanio, Ana Paula, Luiza, Agmar, Carol, por toda a ajuda nesses meses que fiquei fazendo o projeto final.

À professora Marysilvia Ferreira da Costa, pela orientação e incentivo profissional.

Aos amigos Samanta Cedrola e Elisabeth Nunes por todos os nossos almoços e companhia nesses meses que fiquei no laboratório.

Aos amigos Pablo e Raphael que sempre se mostraram fiéis e solícitos para escutar e sanar dúvidas.

A todas as pessoas que torceram por mim nesses meses de trabalho e me deram força para eu concluir mais essa etapa na minha vida!

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/ UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro de Materiais.

## Reciclagem Mecânica de Polietileno de Alta Densidade Obtido a Partir de Sacolas Plásticas

Beatriz Gondin da Fonseca Lontra

Janeiro/2011

Orientador: Marysilvia Ferreira da Costa

Curso: Engenharia de Materiais

Não é novidade que o lixo é um problema no mundo inteiro. Cada vez mais ouvimos falar em coleta seletiva e soluções para um mundo mais sustentável. Fomos 'educados' a achar que o problema do lixo acaba quando abrimos uma lata de lixo e descartamos o que não queremos mais, mas a verdade é que o problema começa neste simples ato. As sacolas plásticas passaram de heroínas da modernidade à vilãs do meio-ambiente. As sacolas além de ocuparem um espaço muito grande nos lixões, dificultam a permeação de água pluvial e fluvial na terra e entopem bueiros na cidade. O objetivo desse trabalho é desenvolver um material reciclado com propriedades mecânicas otimizadas, a partir de uma metodologia simples de reciclagem mecânica de sacolas plásticas. Ao longo do trabalho foi feita lavagem, secagem, corte e extrusão do filme de polietileno de alta densidade (PEAD) proveniente das sacolas e, a partir de misturas com aditivo especial e com a resina de PEAD virgem, em diferentes proporções, foi possível comparar os efeitos do material pós-consumo, ou reciclado, com o PEAD virgem. Foram feitos ensaios de tração, fluência, espectroscopia na região do infravermelho por transformada de fourier (FTIR) e difração de raios-X. Ensaios esses que apresentaram bons resultados das misturas com reciclado, com poucas variações se comparados com os resultados do material virgem.

*Palavras-chave:* Reciclagem mecânica, sacolas plásticas, polietileno de alta densidade (PEAD), testes experimentais.

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Engineer.

## MECHANICAL RECYCLING OF HIGH DENSITY POLYETHYLENE FROM PLASTIC BAGS.

Beatriz Gondin da Fonseca Lontra

January/2011

Advisor: Marysilvia Ferreira da Costa

Course: Materials Engineering

Unsurprisingly garbage is a problem worldwide. Increasingly we hear about the selective collection and solutions to a more sustainable world. We were 'educated' to believe that the problem of waste ends up when we open a trash can and discard what we no longer want, but the truth is that the problem starts with this simple act. Plastic bags have gone from heroes to villains of the modern environment. The bags also occupy a large space in landfills hinder the permeation of rainwater and river on earth and clogged drains in the city. The aim of this work is to develop a recycled material with mechanical properties optimized for use as matrix for composites loaded with natural loads, from a simple methodology for mechanical recycling of plastic bags. Throughout the work was done washing, drying, cutting and extruding the film high density polyethylene (HDPE) from the bags, and from mixtures with special additives and virgin HDPE resin in different proportions, it was possible to compare the effects of post-consumer material, or recycled, with the virgin HDPE. The tests were made of tensile, creep, spectroscopy of the Fourier transform infrared (FTIR) and X-ray diffraction. These trials showed good results with recycled mixtures, with little variation compared with the results of virgin material.

Keywords: Mechanical recycling, plastic bags, high density polyethylene (HDPE), experimental tests.

## Lista de Figuras

Figura 1 – Tempo de decomposição dos materiais em meio aquoso.

Figura 2 – Extrusora.

Figura 3 – Máquina para ensaio mecânicos.

Figura 4 – Espectros de FTIR do PEAD virgem e das misturas 100, 70 e 50% PEAD reciclado.

Figura 5 – Espectros de FTIR do antioxidante Recyclostab 451 AR.

Figura 6 – Porção do espectro de FTIR do antioxidante Recyclostab 451 AR na região compreendida entre as bandas 1342 e 770  $\text{cm}^{-1}$ .

Figura 7 – Difractogramas das amostras de PEAD virgem e as misturas de 100, 70 e 50% PEAD reciclado.

Figura 8 – Curva tensão *versus* deformação para o PEAD virgem e as misturas de 100, 70 e 50% PEAD reciclado.

Figura 9 – Curva deformação *versus* tempo para o PEAD virgem e as misturas de 100, 70 e 50% PEAD reciclado.

Figura 10 – Compliance em fluência em função do tempo para amostras de PEAD virgem e as misturas de 100, 70 e 50% PEAD reciclado.

## **Lista de Tabelas**

Tabela 1 – Processamento e aplicações de PEAD.

Tabela 2 – Etapas do processo de reciclagem mecânica.

Tabela 3 – Faixas de temperaturas da extrusora.

Tabela 4 – Misturas de PEAD.

Tabela 5 – Valores de limite de escoamento e módulo elástico para as amostras.

Tabela 6 – Carga em fluência para as amostras, correspondendo a 30% do valor do limite de escoamento.

## Sumário

Lista de Figuras .....	viii
Lista de Tabelas .....	ix
Capítulo I – Introdução.....	3
Capítulo II – Revisão da Literatura.....	5
2.1 – Polietileno.....	5
2.2 – Tipos de Polietileno .....	5
2.3 – Polietileno de Alta Densidade.....	6
2.3.1 – Propriedades .....	6
2.3.2 – Aplicações .....	7
2.4 – O Problema do Lixo.....	7
2.5 – Reciclagem .....	9
2.5.1 – Reciclagem Mecânica.....	9
2.5.2 – Vantagens e Desvantagens .....	10
2.6 – Cenário Atual da Reciclagem de Plásticos no Brasil.....	12
Capítulo III – Materiais e Métodos.....	14
3.1 – Materiais.....	14
3.2 – Metodologia.....	14
3.2.1 – Lavagem.....	15
3.2.2 – Reprocessamento em extrusora .....	15
3.4 – Caracterização dos Materiais .....	17
3.4.1 – Espectroscopia na região do Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR).....	17
3.4.2 – Difração de Raio-X.....	18
3.4.3 – Ensaio Mecânico de Tração.....	18
3.4.4 – Ensaio Mecânico de Fluência .....	19
Capítulo IV – Resultados .....	21

4.1 – Espectroscopia na região do Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR).....	21
4.2 – Difração de Raio-X .....	23
4.3 – Ensaio Mecânico de Tração .....	24
4.4 – Ensaio Mecânico de Fluência.....	26
Capítulo V – Conclusão .....	30
Capítulo VI – Trabalhos Futuros .....	31
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	32

## Capítulo I – Introdução

As sacolas plásticas, sinônimo de modernidade, se tornaram um problema no mundo inteiro. Elas surgiram no fim da década de 1950 e era motivo de orgulho das redes de supermercado e símbolo de status entre as donas de casa [1].

Pouco mais de meio século após seu aparecimento, elas passaram de heroínas da modernidade a vilãs do meio ambiente. Consumo e descarte de materiais andam de mãos dadas, quanto mais se consome, mais se descarta e não é diferente com as sacolas.

Elas são produzidas com polietileno de alta densidade (PEAD), que por ser um polímero de cadeia simples, apresenta baixo custo e muitas possibilidades de aplicação, e são usadas corriqueiramente em supermercados, padarias, farmácias, jornaleiros, papelarias, e até nas feiras. Chegamos a esquecer como fazíamos quando elas não existiam.

A maior parte do lixo brasileiro é descartado a céu aberto, sem nenhum tipo de tratamento, e mesmo os materiais completamente biodegradáveis como restos de alimentos e jornais podem levar até 10 anos para completar suas decomposições em aterros sanitários [2]. Os órgãos públicos estão tomando algumas medidas importantes quanto a utilização e descarte desses filmes. Nos dias atuais, a maioria das sacolas comercializadas no Brasil e na América Latina possui um símbolo em forma de gota que aponta que a sacola é de material degradável ou biodegradável [3]. Além disso, o governo assinou a Lei das Sacolas Plásticas, que entrou em vigor em julho de 2009, prevendo a retirada de 700 milhões de sacolas plásticas de ruas, lixões e rios [4].

Ainda assim o problema do lixo já descartado no meio ambiente preocupa muito. Os lixões localizados no Brasil enfrentam um problema de espaço e as sacolas plásticas depositadas neles ocupam um grande volume. Como são filmes entopem bueiros e quando chove muito, há risco de enchentes e alagamentos nas grandes cidades.

O uso excessivo, leva ao descarte inconsciente e quando são descartadas em florestas ou oceanos, agredem a natureza. Esses filmes impedem a locomoção dos animais selvagens e em muitos casos intoxicam quando são confundidas ou estão com alimentos.

Em meio a tantos problemas que as sacolas plásticas trazem para a sociedade, são necessárias soluções para a retirada destes filmes do meio ambiente.

Neste trabalho propõe-se uma metodologia simples de reciclagem mecânica como solução para esse tipo de lixo, e tem como objetivo otimizar as propriedades mecânicas desses polietilenos de alta densidade, visando o desenvolvimento de uma matriz polimérica reciclada que, futuramente, possa ser empregada em compósitos reforçados com fibras naturais.

Ao longo do trabalho foi feito lavagem, secagem, corte e extrusão do filme de PEAD. A partir de misturas com aditivo especial e com a resina de PEAD virgem, em diferentes proporções, foi possível comparar os efeitos do material pós-consumo, ou reciclado, com os dados de referencia dos testes feitos na resina de PEAD virgem.

## Capítulo II – Revisão da Literatura

### 2.1 – Polietileno

O polietileno é um polímero largamente utilizado devido às suas características estruturais e suas propriedades. É parcialmente cristalino, flexível, cujas propriedades são acentuadamente influenciadas pela quantidade relativa das fases amorfa e cristalina. [5] Os polietilenos são inertes à maioria dos produtos químicos, devido à sua natureza parafínica, seu alto peso molecular e à sua estrutura parcialmente cristalina. [6]

O polietileno foi produzido primeiramente em laboratórios das Indústrias Imperial Chemical, Ltd. (ICI), Inglaterra, em um experimento fortuito onde o etileno (e outros elementos químicos que permaneceram inertes) foram submetidos a pressão de 1400atm a 170°C. O oxigênio presente na reação permitiu que houvesse iniciação no processo de polimerização. O fenômeno foi descrito pela primeira vez em 1936 por E. W. Fawcett em Staudinger. [7]

O polietileno é o polímero mais simples que existe, quimicamente, e é representado pela cadeia:  $(\text{CH}_2\text{-CH}_2)_n$ . É o polímero de mais baixo custo e está no grupo dos termoplásticos, isto é, quando submetido a um aumento de temperatura e pressão é capaz de amolecer e fluir, porém quando retirado desse processo o polímero solidifica, por esse motivo são recicláveis. [8] Pode ser produzido pela reação de poliadição, porém dependendo da natureza química do monômero, do tipo de reação visada e da aplicação desejada, a técnica usada na sua preparação pode variar. [9]

### 2.2 – Tipos de Polietileno

Existem cinco tipos de polietileno:

- Polietileno de Baixa Densidade (PEBD ou LDPE);
- Polietileno de Alta Densidade (PEAD ou HDPE);
- Polietileno Linear de Baixa Densidade (PELBD ou LLDPE);
- Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular (PEUAPM ou UHMWPE);
- Polietileno de Ultra Baixa Densidade (PEUBD ou ULDPE).

A principal diferença entre os principais tipos de polietileno é a presença de ramificações na cadeia polimérica. Essas ramificações podem ser geradas por diferentes mecanismos. A escolha do catalisador é um fator importante, a partir do qual se pode controlar o teor de comonômeros incorporados na cadeia polimérica, o tipo e a distribuição de ramificações. Essas características do polímero influenciam diretamente a densidade, a cristalinidade, as propriedades e suas aplicações.

A exceção está no PEUAPM, que é um PE de alta densidade linear, porém com altíssimo peso molecular. Esse fato, o distingue dos outros polietilenos, fazendo-o ter propriedades únicas e assim aplicações especiais. [2]

### **2.3 – Polietileno de Alta Densidade**

O PEAD foi introduzido comercialmente na década de 50, e atualmente é o quarto termoplástico mais vendido e a segunda resina mais reciclada no mundo. Essa resina tem alta resistência ao impacto, inclusive em baixas temperaturas, e boa resistência contra agentes químicos. Seu uso se dá nos mais diferentes segmentos da indústria de transformação de plásticos, abrangendo os processamentos de moldagem por sopro, extrusão e moldagem por injeção [10]

#### **2.3.1 – Propriedades**

A maioria das diferenças entre os polietilenos lineares e ramificados pode ser atribuída ao fato do primeiro ser altamente cristalino. Polímeros lineares são definitivamente mais rígidos que o material ramificado (módulo de 100,000 *versus* 20,000 psi), tem maior ponto de fusão cristalina e melhores limites de resistência e dureza. A boa resistência química do polietileno reticulado é mantida ou até realçada, e essas propriedades como fragilidade a baixas temperaturas e baixa permeabilidade de gases e vapores são melhoradas no material linear. [7]

### 2.3.2 – Aplicações

Os PEAD servem para inúmeras aplicações dependendo do tipo de processo empregado na fabricação de seus artefatos.

Tabela 1: Processamento e aplicações de PEAD. [2]

PROCESSAMENTO	APLICAÇÕES
MOLDAGEM POR SOPRO	Tanques, bombonas e tambores de 60 a 250 litros, para os quais são exigida elevada resistência à queda e alta resistência ao fissuramento sob tensão. Também é utilizado na confecção de frascos que requeiram resistência ao fendilhamento por tensão ambiental, como: embalagens para detergentes, cosméticos e defensivos agrícolas, tanques para fluido de freio e outros utilizados em veículos e na confecção de peças para o qual é exigido um produto atóxico, como brinquedos.
EXTRUSÃO	Isolamento de fios telefônicos, dutos para mineração e dragagem, revestimento de tubulações metálicas, sacos para congelados, polidutos, tubos para redes de saneamento e de distribuição de gás, emissários de efluentes sanitários e químicos, barbantes de costura, redes para embalagem de frutas, fitas decorativas, sacos para lixo e sacolas de supermercados.
MOLDAGEM POR INJEÇÃO	Baldes e bacias, engradados, banheiras infantis, brinquedos, conta-gotas para remédios, bandejas para pintura, potes para alimentos, assentos sanitários, jarros d'água, tampas para garrafas e potes, bóias para raias de piscina, caixas d'água, entre outros.

Algumas indústrias brasileiras já estão explorando um novo nicho do mercado, um tipo específico de polietileno de alta densidade para moldagem por sopro de tanques de combustível e outro para “containeres” de mil litros. [11]

### 2.4 – O Problema do Lixo

O lixo é um indicador curioso de desenvolvimento de uma nação [12]. Quanto maior a sujeira que o país produz, mais desenvolvido ele é. O Brasil vem avançando no crescimento econômico e na quantidade de lixo produzida a cada ano. Dados de 1999 apontam que nesta época o brasileiro já produzia 1 quilo de lixo domiciliar por dia, e um americano chegava a produzir 3 quilos de lixo/dia.

Os plásticos, maneira popular de falar sobre materiais poliméricos, estão cada vez mais presentes em nosso cotidiano. Além de serem mais leves que o metal e o vidro, apresentam boa resistência, flexibilidade, capacidade de receber impressão, transparência, impermeabilidade, são recicláveis e por muitas vezes reutilizáveis [3]. Com tantas vantagens encontramos diversos tipos de plásticos no mercado: polietileno de alta densidade (PEAD), polietileno de baixa densidade (PEBD), polietileno de baixa densidade linear (PEBDL), politereftalato de etileno (PET), polipropileno (PP), poliestireno (PS), entre outros. A principal desvantagem deste material é que ele é descartável e não degradável, motivo que contribui para o problema do lixo nas grandes áreas urbanas.

O consumo urbano mudou muito nos últimos 20 anos. Hoje em dia a sociedade ávida por mudanças e praticidade no dia-a-dia, produz uma quantidade de lixo assustadora. Não é difícil produzir lixo, e até as mães mais conscientes com o futuro de seus filhos conseguem em poucas horas produzir lixo com fraldas descartáveis, lençinhos umedecidos, potes de sopinhas, embalagens de leite, inúmeras embalagens de produtos de higiene e até babadores descartáveis.

E para onde vai todo esse lixo?

No Brasil estão faltando aterros sanitários e dados do IBGE informam que 64% dos municípios do Brasil não tratam seu lixo como deveria. Nesses lugares o lixo é jogado a céu aberto, sem nenhum tratamento, no que chamamos de lixões [13].

De todo esse lixo cerca de 35% do material coletado poderia ser reciclado ou reutilizado e outros 35% poderiam ser transformados em adubo orgânico [14].

Apesar de só representar de 4% a 7% em massa, o plástico ocupa um volume significativo, cerca de 15% a 20% do volume do lixo. Esse “volume exagerado” aumenta muito o custo da coleta, do transporte e da disposição final desse material [15].

Os três R's se fazem necessários nessa hora Reciclar, Recuperar, Reutilizar para diminuição do lixo acumulado.

O termo **reutilização** ou **reuso** é utilizado em processos de reciclagem para designar o resíduo que é aproveitado sem que tenha sofrido uma transformação, ou seja, designa o reaproveitamento do material ou embalagem para a mesma finalidade como, por exemplo, garrafas de refrigerante, copos de geléia e extrato de tomate, reutilizados para servir líquidos; potes de maionese e sorvete, para guardar mantimentos, e papel de impressora ou copiadora, para rascunho. [16]

Já o termo **recuperado** indica que o material foi reprocessado a fim de que fosse obtido um produto novamente útil, ou passou por um tratamento para que fosse possível a sua regeneração. [16]

## 2.5 – Reciclagem

A reciclagem é basicamente coletar o lixo descartado e convertê-lo em produto semelhante ao inicial. Os materiais são coletados, separados e processados para serem usados como matéria-prima na manufatura de novos produtos. [17]

Estudos baseados em Análise do Ciclo de Vida (ACV) de um produto têm demonstrado que as quantidades de energia gastas para obter-lo a partir de matéria-prima virgem são maiores que aquelas gastas para produzi-lo com resíduos reciclados. A reciclagem é mais econômica nos aspectos de consumos de energia, água e materiais acessórios utilizados diretamente na produção de um bem, quando comparada à produção a partir de matéria-prima virgem. Com a reciclagem de plásticos economiza-se até 88% de energia em comparação com a produção a partir do petróleo e preserva-se esta fonte esgotável de matéria-prima. [18]

Há três tipos de reciclagem de plástico: a química, a mecânica e a energética.

O Brasil situa-se entre os três principais países em volume de plástico reprocessado por reciclagem mecânica. [19]

### 2.5.1 – Reciclagem Mecânica

Na reciclagem mecânica, o plástico é transformado em grãos para serem reaproveitados na fabricação de outros produtos, como sacos de lixo, solados, pisos,

conduítes, mangueiras, componentes de automóveis, fibras, embalagens não-alimentícias e outros. [19]

Tabela 2: Etapas do processo de reciclagem mecânica. [20]

ETAPAS DA RECICLAGEM MECÂNICA	
Separação	Separação em uma esteira dos diferentes tipos de plásticos, de acordo com a identificação ou com o aspecto visual. Nesta etapa são separados também rótulos de materiais diferentes, tampas de garrafas e produtos compostos por mais de um tipo de plástico, embalagens metalizadas, grampos, etc. Por ser uma etapa geralmente manual, a eficiência depende diretamente da prática das pessoas que executam esta tarefa. Outro fator determinante da qualidade é a fonte do material a ser separado, sendo que aquele oriundo da coleta seletiva é mais limpo em relação ao material proveniente dos lixões ou aterros.
Moagem	Após separados os diferentes tipos de plásticos, estes são moídos e fragmentados em pequenas partes.
Lavagem	Após triturado, o plástico passa por uma etapa de lavagem com água para a retirada dos contaminantes. É necessário que a água de lavagem receba um tratamento para a sua reutilização ou emissão como efluente.
Aglutinação	Além de completar a secagem, o material é compactado, reduzindo-se assim o volume que será enviado à extrusora. O atrito dos fragmentos contra a parede do equipamento rotativo provoca elevação da temperatura, levando à formação de uma massa plástica. O aglutinador também é utilizado para incorporação de aditivos, como cargas, pigmentos e lubrificantes.
Extrusão	A extrusora funde e torna a massa plástica homogênea. Na saída da extrusora, encontra-se o cabeçote, do qual sai um "espaguete" contínuo, que é resfriado com água. Em seguida, o "espaguete" é picotado em um granulador e transformando em pellet (grãos plásticos).

### 2.5.2 – Vantagens e Desvantagens

O motivo principal para a corrida em busca da reciclagem de qualquer material, sem dúvida, é o tempo de decomposição dos materiais despejados na natureza.

O tempo de decomposição dos materiais varia de acordo com o solo e o ambiente onde esses objetos são descartados. Os dados a seguir são referentes ao tempo de decomposição do lixo na água do mar [21]:

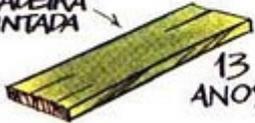
<p>PAPEL</p>  <p>DE 3 A 6 MESES</p>	<p>NYLON</p>  <p>MAIS DE 30 ANOS</p>
<p>PANO</p>  <p>DE 6 MESES A UM ANO</p>	<p>PLÁSTICO</p>  <p>MAIS DE 100 ANOS</p>
<p>FILTRO DO CIGARRO</p>  <p>5 ANOS</p>	<p>METAL</p>  <p>MAIS DE 100 ANOS</p>
<p>CHICLE</p>  <p>5 ANOS</p>	<p>BORRACHA</p>  <p>TEMPO INDETERMINADO</p>
<p>MADEIRA PINTADA</p>  <p>13 ANOS</p>	<p>VIDRO</p>  <p>1 MILHÃO DE ANOS</p>

Figura 1: Tempo de decomposição dos materiais em meio aquoso. [22]

A reciclagem além de diminuir o acúmulo de lixo no nosso planeta, poupa nossos recursos naturais. A reciclagem de uma tonelada de papel poupa 22 árvores, uma tonelada de plástico reciclado equivale à economia de 130 litros de petróleo [23].

A reciclagem pode gerar empregos (catadores, sucateiros, operários, etc.), economia de energia, aumento da vida útil dos aterros e diminuição do custo de um produto final feito de materiais reciclados/reutilizados. A reciclagem de plásticos, além das vantagens acima descritas, ainda proporciona redução do volume do lixo coletado, economia de petróleo [11].

Não podemos negar que as vantagens da reciclagem são numerosas, mas toda reciclagem também gera ônus.

Podemos citar como as principais desvantagens da reciclagem o custo da reciclagem, a dificuldade de separar corretamente os diversos tipos de plástico, e

como essas coletas e tratamento desse lixo são feitos nas periferias são poucas as empresas que se interessam por este material separado.

## **2.6 – Cenário Atual da Reciclagem de Plásticos no Brasil**

Com o avanço da tecnologia nacional, o mercado brasileiro de polietileno ganhou novo perfil em volume e qualidade, gerando maior oferta e tipos (*grades*) de melhor desempenho e produtividade para a indústria de transformação. As poliolefinas representam aproximadamente 60% da demanda mundial de termoplásticos, onde os polietilenos se encaixam no patamar dos 40%. No Brasil, as poliolefinas representam cerca de 65%, dos quais 43% correspondem aos polietilenos. [11]

O mercado brasileiro de polietileno cresce em um ritmo duas vezes superior ao do Produto Interno Bruto (PIB). Entre 1999 e 2000, as vendas aumentaram em mais de 150 mil toneladas (cerca de 10% da produção nacional). O mercado de polietileno linear avança acentuadamente sobre a resina de baixa densidade convencional, cujas vendas estão estagnadas e a sua produção apresenta tendência de queda. Enquanto o volume de produção do polietileno linear de baixa densidade cresceu 25% entre 1999 e 2000 e o de alta densidade aumentou 17%, o de baixa densidade convencional caiu em 2%. [11]

Há dados que o estado do Rio de Janeiro ampliará sua capacidade produtiva em 430.000 toneladas de PEAD até 2013 com a instalação do Comperj – Itaboraí. [24]

Pesquisadores de Campo Grande, MS fizeram um estudo sobre a situação atual de reciclagem no estado do Mato Grosso. [25] O estudo foi feito através de um questionário que era aplicado às empresas que comercializam materiais recicláveis (plástico) e foi realizado no período de outubro a novembro de 2006. O referido questionário avaliou a quantidade de material reciclado, preço de compra e venda, número de funcionários (empregos diretos e indiretos), salário médio e a quantidade gasta de energia, água e transporte. Eles observaram que no município existem cerca de quarenta empresas que comercializam materiais recicláveis, porém somente seis dessas empresas dominam o mercado; e somente quatro realizam a reciclagem de materiais plásticos.

No Rio de Janeiro, empresas como a Cogumelo transformam lixo plástico em matéria-prima para a fabricação de um novo produto que eles chamam POLICOG. O

policog é uma madeira plástica que substitui a madeira convencional, com a mais absoluta eficiência, tem textura e aparência iguais às da madeira, com a vantagem de ser mais resistente a interpéries e ter menor custo de manutenção. [26]

A Braskem em parceria com a prefeitura de São Paulo e a Plastivida iniciou em novembro o Projeto GP Reciclagem, que consiste em mobilizar os cidadãos de São Paulo a fazerem o descarte seletivo dos resíduos plásticos em postos de coleta específicos. O projeto teve início no GP Brasil de Fórmula 1 – 2010 e visa distribuir em São Paulo 500 unidades de mobília urbana de plástico reciclado. [27]

Projetos como os descritos anteriormente servem para ilustrar que o cenário de reciclagem do Brasil está se desenvolvendo.

A população está cada vez mais envolvida com a reciclagem e coleta seletiva de resíduos sólidos urbanos.

## Capítulo III – Materiais e Métodos

A metodologia utilizada foi baseada em três etapas: lavagem das sacolas, reprocessamento com aditivo específico e caracterização física e mecânica do material.

### 3.1 – Materiais

O material utilizado nesse estudo foi polietileno de alta densidade (PEAD) obtido a partir de sacolas plásticas. Essas foram coletadas em residências e não foram separadas por cor e nem por tipo, mas a grande maioria é feita de PEAD biodegradável. Além dessas, utilizou-se também a resina de PEAD (PEAD HF0150) fornecida pela Braskem na forma de pellets com densidade 0,948 g/cm<sup>3</sup> e índice de fluidez 0,45 g/10min.

Para realização deste trabalho também foi utilizado o aditivo Recyclostab<sup>®</sup> 451 AR que é uma mistura de antioxidantes fenólicos com co-estabilizantes. O emprego desse aditivo proporciona, durante o processo de reciclagem plástica, a preservação da estabilidade térmica em longo prazo e das propriedades de fluxo. O Recyclostab 451 AR ainda ajuda a neutralizar os ácidos que podem estar presentes na transformação do polímero. O aditivo foi cedido pela BASF e possui as seguintes características: ponto de fusão acima de 110 °C e densidade aparente de 0,62g/cm<sup>3</sup>.

### 3.2 – Metodologia

Nesta etapa a ordem empregada na reciclagem mecânica: separação, moagem, lavagem, aglutinação, extrusão; não foi respeitada.

Como se trata de sacolas plásticas, a área superficial desse material e seu volume são muito grandes. Desta forma foi adotado outro procedimento, primeiramente houve separação, depois lavagem do material, corte e posterior extrusão.

### 3.2.1 – Lavagem

Visando retirar todos os resíduos e contaminação das sacolas plásticas, o processo de lavagem foi adaptado de um trabalho da UFSCAR, onde os autores testaram diversas lavagens nas sacolas e depois por caracterização determinaram o processo mais eficiente. [28]

As sacolas foram lavadas em um tonel durante 30 minutos, com agitação. Esse tanque continha solução de NaOH 3% à temperatura de 23°C. Logo após o tempo determinado de lavagem as sacolas foram retiradas da solução e em seguida enxaguadas no tonel com água para retirada do NaOH. Depois de secas as mesmas foram picotadas com o uso de uma tesoura para chegar ao tamanho de aproximadamente 1cm<sup>2</sup> para processamento.

Ao terminar a lavagem, toda a solução de NaOH foi neutralizada com solução de HCl.

### 3.2.2 – Reprocessamento em extrusora

A extrusora utilizada para o presente estudo foi uma extrusora mono-rosca da Extrusão Brasil, modelo MR-25, com L/D igual a 26 (figura 2), do Laboratório de Polímeros (LabPol) da COPPE/UFRJ e junto às combinações das temperaturas correspondentes a cada zona que compõem a extrusora, os materiais foram processados.



Figura 2: Extrusora

Tabela 3: Faixas de temperaturas da extrusora.

Faixa de Temperatura (°C)	Zona 1 <sup>a</sup>	Zona 2 <sup>b</sup>	Zona 3 <sup>c</sup>	Zona 4 <sup>d</sup>
PEAD virgem e reciclado	180	185	190	180

a: alimentação; b: compressão; c: dosagem; d: matriz

A primeira tentativa de reprocessamento em extrusora foi do material lavado e picotado como descrito no item 3.3.1. Foi realizada uma alimentação forçada do material e não alcançamos o objetivo como esperado. Apesar de conseguir fazer um espaguete de material reciclado, o tempo despendido nessa etapa foi muito longo. Os filmes por terem baixa densidade não conseguiam alimentar a rosca da extrusora e chegamos à conclusão que o tamanho do plástico picado (1cm<sup>2</sup>) estava atrapalhando a alimentação da extrusora.

Como forma de contornar essa situação foi feito um prévio aquecimento nesses picotes, com o objetivo de deixá-los mais rígidos, em uma Prensa Hidráulica Carver modelo C/ S/N 41000-915, localizada no Laboratório de Cerâmicas Avançadas da

COPPE/UFRJ. Os picotes do filme aquecidos se tornaram finas placas que além de serem fáceis de cortar com a tesoura, por serem aglomerados de picotes de sacolas agora também eram mais fáceis de alimentar a rosca da extrusora.

Depois de picotar as placas, misturamos a quantidade de 1% do aditivo no material e alimentamos com sucesso a extrusora. Nesta etapa o material ficou mais homogêneo e em forma de espaguete, para posteriormente picotá-lo em granulador (Extrusão Brasil).

Com os pellets em mãos, as misturas com 300g foram separadas em saquinhos nas seguintes proporções:

Tabela 4: Misturas de PEAD.

MISTURA	PROPORÇÃO
1	100% PEAD virgem
2	100% PEAD reciclado
3	70% PEAD reciclado/ 30% PEAD virgem
4	50% PEAD reciclado/ 50% PEAD virgem

As misturas, uma a uma, foram para a extrusora para obtermos as fitas de cada uma delas e posteriormente os corpos de prova foram cortados com o auxílio de um cunho padrão, formato gravata, e da prensa hidráulica mencionada anteriormente.

### 3.4 – Caracterização dos Materiais

#### 3.4.1 – Espectroscopia na região do Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)

A espectroscopia vibracional de absorção no infravermelho é uma técnica utilizada para a identificação, determinação de grupos funcionais e para estudos de conformação e estrutura de macromoléculas. [29]

As análises de espectroscopia na região de infravermelho foram realizadas para a caracterização do PEAD virgem, das misturas com o material reciclado e do aditivo, utilizando o equipamento Espectrômetro da Perkin-Elmer, modelo Spectrum

100, do Laboratório Multiusuário de Caracterização da COPPE/UFRJ (LMC), com refletância total atenuada (ATR), com cristal de diamante, operando na região de 4000 a 550  $\text{cm}^{-1}$ , com resolução de 4  $\text{cm}^{-1}$  e 16 varreduras.

### 3.4.2 – Difração de Raio-X

A difração de Raios-x é uma técnica que utiliza o espalhamento coerente da radiação x, por estruturas organizadas (cristais), permitindo realizar estudos morfológicos em materiais, determinando sua estrutura cristalina e sua fração percentual [29].

As amostras de PEAD virgem e as misturas com reciclado foram submetidas à análise de difratometria de Raios-x. As análises das amostras foram realizadas em um Difratômetro de pó da Shimadzu, modelo XRD 6000, do Laboratório Multiusuário de Caracterização da COPPE/UFRJ (LMC), com fonte de radiação  $\text{CuK}\alpha$  ( $\lambda = 0,15418\text{\AA}$ ), Os difratogramas foram obtidos no intervalo angular de 5 a 60 em  $2\theta$ , passo de  $0,05^\circ$  por 2s.

### 3.4.3 – Ensaio Mecânico de Tração

A resistência mecânica das amostras da resina de PEAD virgem e das misturas de PEAD reciclado foram avaliadas através do ensaio mecânico de tração.

Os ensaios são realizados através da aplicação de uma solicitação ao material sob condições controladas, geralmente deformação a velocidade constante, até a ruptura do material ou até que a tensão ou deformação alcance um valor pré-estabelecido. Durante o experimento, a carga ou tensão suportada pelo material (resposta do material) e a deformação a ele imposta são registrados. [29]

O ensaio foi realizado em uma Máquina Universal Instron modelo 5567, localizada no Laboratório de Polímeros da COPPE/UFRJ, conforme representado pela Figura 3, à temperatura de  $23^\circ\text{C}$ , com célula de carga de 2,5kN e velocidade de carregamento de 50 mm/min. Foram utilizados 5 corpos de prova, na forma de gravatas e com as dimensões segundo a norma ASTM D 638.



Figura 3: Máquina para ensaios mecânicos.

#### 3.4.4 – Ensaio Mecânico de Fluência

Fluência (creep) é a deformação do material durante o tempo devido a aplicação de uma tensão constante contínua. Materiais poliméricos apresentam excessiva deformação por fluência, sendo esta afetada por três fatores: tensão, tempo e temperatura. [30]

Os ensaios foram realizados na Máquina Universal Instron modelo 5567 de acordo com a figura 3, com uma célula de carga de 2,5kN. As deformações foram medidas com um extensômetro Instron com um curso de leitura de 12,5 mm. Os dados experimentais da deformação/força vs tempo foram adquiridos durante o ensaio.

Para determinação da carga de fluência foram utilizados os resultados dos ensaios de tração. Após tratamento de dados foi possível calcular o limite de escoamento e o módulo elástico de cada amostra e foi resolvido que o ensaio teria duração de três horas e que a carga seria de 30% do valor do limite de escoamento de cada amostra.

Para quantificar o efeito da deformação sobre o material, a fluência também foi relatada em termos de compliance em fluência ( $D(t)$ ), que corresponde à relação entre a deformação e a tensão aplicada. Onde  $\varepsilon(t)$  é a deformação no tempo e  $\sigma$  a tensão aplicada.

$$D(t) = \frac{\varepsilon(t)}{\sigma}$$

## Capítulo IV – Resultados

### 4.1 – Espectroscopia na região do Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)

O ensaio foi realizado com o objetivo de caracterizar os materiais em questão e avaliar se os grupos funcionais permanecem sem alteração após o reprocessamento.

A porção de alta frequência no espectro é chamada a região do grupo funcional. Essas áreas estão compreendidas nas regiões de 4000- 1300 e 900- 650  $\text{cm}^{-1}$ .

As bandas 2915, 2847, 1472, 1462, 730 e 719 são bandas características da porção parafínica do PEAD e são identificadas na figura 4, que mostra os espectros do PEAD virgem e das misturas 100, 70 e 50% PEAD reciclado.

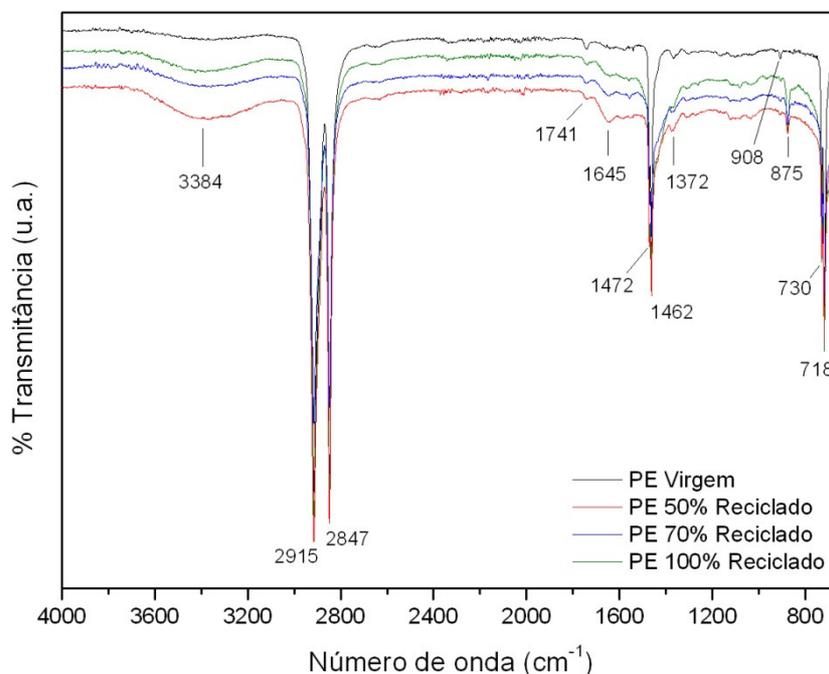


Figura 4: Espectros de FTIR do PEAD virgem e das misturas 100, 70 e 50% PEAD reciclado.

A banda que vai aproximadamente de 3600 a 3000  $\text{cm}^{-1}$  abrange as funções ácido carboxílico e álcool. [2] Seu aumento não era esperado, mas pode ser explicado uma vez que os filmes foram lavados em solução de NaOH, e a secagem não foi controlada em estufa, os sacos secaram em laboratório a temperatura de 23°C e umidade local.

Outras bandas ainda aparecem nos espectros são elas: 1740  $\text{cm}^{-1}$  que indica a presença de grupamentos carbonílicos (C=O), atribuídos a vibrações de estiramento em aldeídos e/ou ésteres; e 908  $\text{cm}^{-1}$  indicando a presença de duplas ligações terminais, atribuídas à deformação angular ( $\text{CH}_2=\text{C}-$ ). [31]

Foi realizado ensaio de FTIR para o antioxidante, o espectro é apresentado na figura 5

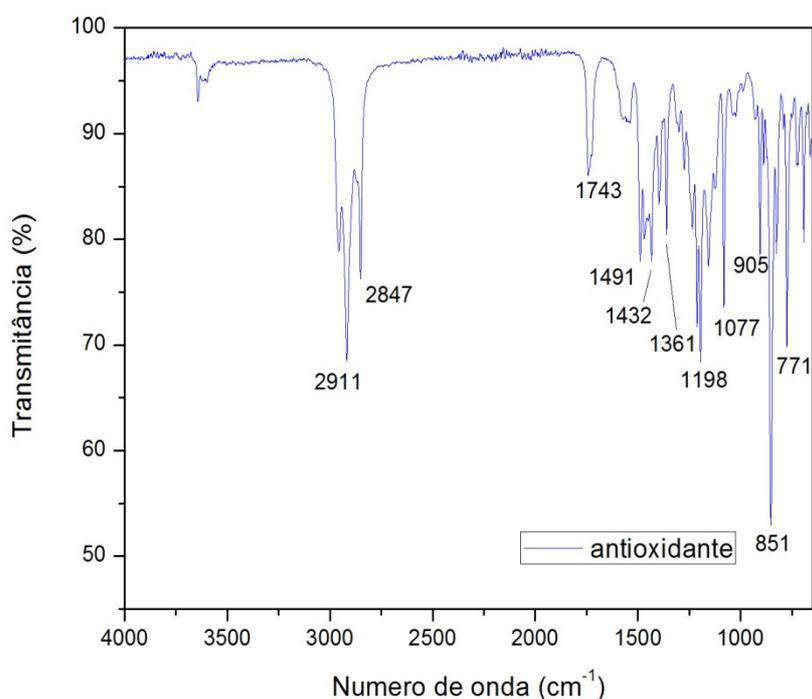


Figura 5: Espectros de FTIR do antioxidante Recyclostab 451 AR.

A região mais importante observada é a que vai de aproximadamente 1342 a 770  $\text{cm}^{-1}$  que é mais bem mostrada na Figura 6.

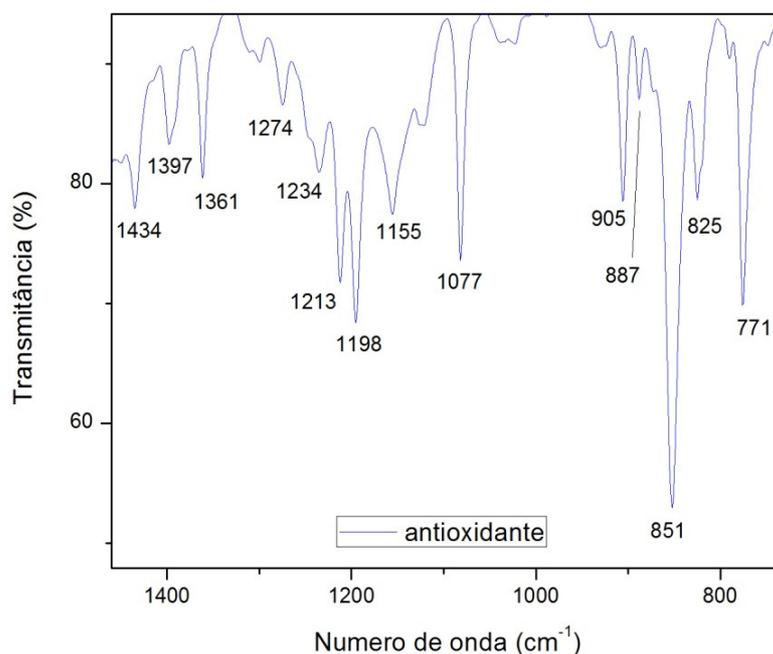


Figura 6: Porção do espectro de FTIR do antioxidante Recyclostab 451 AR na região compreendida entre as bandas 1342 e 770  $\text{cm}^{-1}$ .

A banda 875 marcada no espectro da figura 4, não é uma banda característica do antioxidante, não podendo ser atribuída a utilização do mesmo no processo.

#### 4.2 – Difração de Raio-X

A Figura 6 mostra os difratogramas das amostras de PEAD e das misturas com o reciclado. Observou-se que os difratogramas apresentam três picos cristalinos intensos em  $2\theta = 21,7^\circ$ ,  $23,8^\circ$  e  $36,37^\circ$  que são característicos dos planos (110), (200) e (020), respectivamente, em uma região cristalina do polietileno [32].

O polietileno de alta densidade é polimórfico e cristaliza de duas formas, fase ortorrômbica e hexagonal. A fase ortorrômbica do polietileno cristaliza por dobramento da cadeia, com pressões de cristalização inferiores a 350 MPa, enquanto a fase hexagonal nucleia através da cristalização por cadeia estendida com pressões superiores a 350 MPa. [33]

Pode-se observar que entre os picos (200) e (020) temos a presença de novos picos de cristalização, são eles  $(\bar{2}10)$  e  $(210)$ . Este novo pico observado na cristalização a altas pressões é atribuído à fase monoclínica. Os outros picos caracterizam a fase ortorrômbica no material. [33]

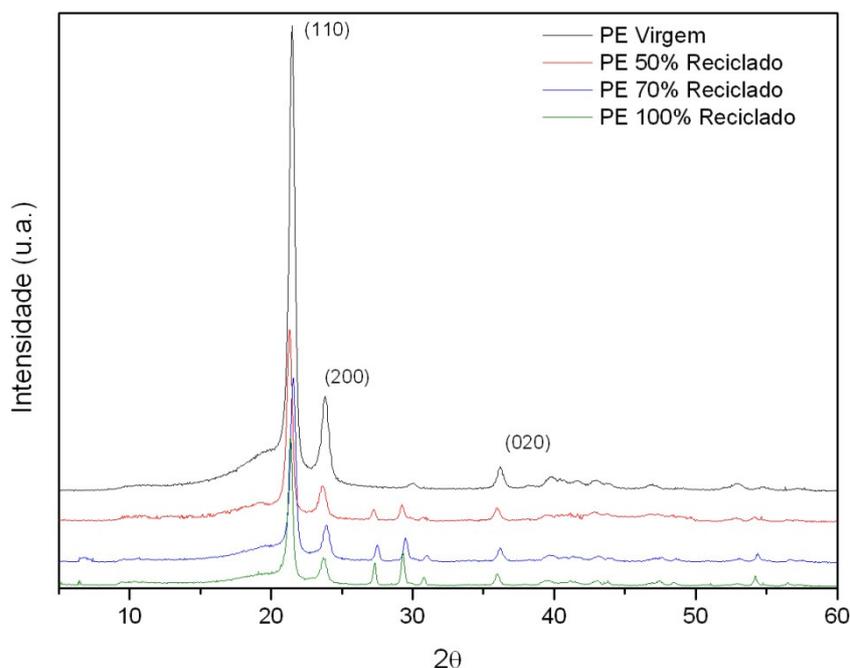


Figura 7: Difratogramas das amostras de PEAD virgem e as misturas de 100, 70 e 50% PEAD reciclado.

### 4.3 – Ensaio Mecânico de Tração

Com o objetivo de avaliar o comportamento mecânico das misturas de PEAD virgem com PEAD reciclado, foi realizado o ensaio mecânico de tração nas amostras. Para comparar as propriedades do material reciclado com o PEAD virgem, foram ensaiados 5 corpos de prova representativos de cada amostra e com a média dos resultados foi possível construir uma curva tensão *versus* deformação, mostrada na Figura 6, para cada tipo de amostra. Os valores de limite de escoamento e módulo elástico e seus respectivos valores de desvio padrão estão mostrados na Tabela 5.

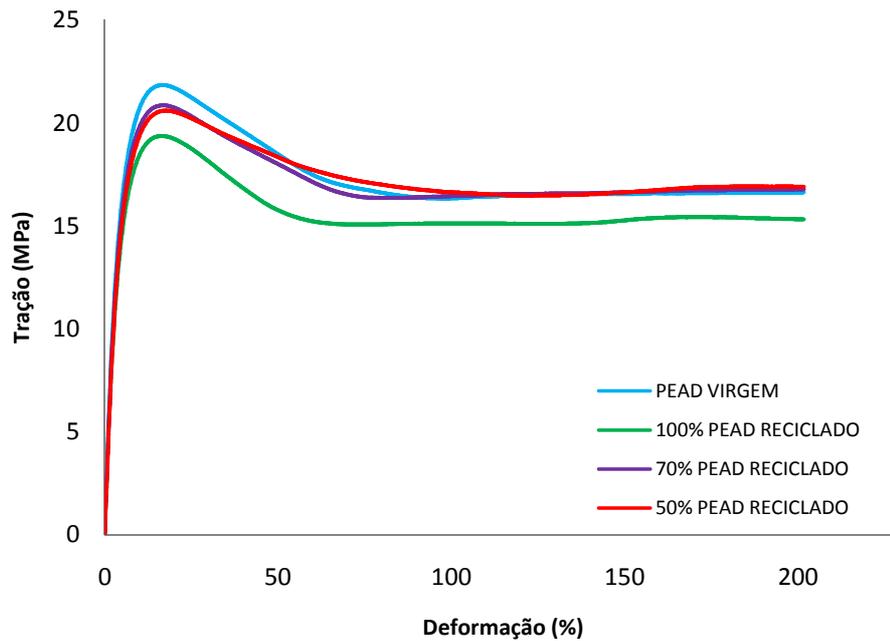


Figura 8: Curva tensão *versus* deformação para o PEAD virgem e as misturas de 100, 70 e 50% PEAD reciclado.

Observou-se que mesmo o material totalmente reciclado não rompeu durante o ensaio de tração ultrapassando 200% de deformação. Comparando os valores de limite de escoamento podemos observar que não houve queda acentuada no valor de limite de escoamento para as misturas com material reciclado.

Notou-se que para as misturas de 70 e 50% PEAD reciclado as amostras obtiveram valores de limite de escoamento bem próximos.

Ao analisar os resultados dos módulos, observou-se que para a amostra de PEAD virgem o valor é maior que os valores das amostras com reciclado, e que a medida que a porcentagem de reciclado na amostra aumenta o valor de módulo diminui. Esse resultado pode indicar perda de cristalinidade no material reciclado, corroborando os resultados do DRX.

Tabela 5: Valores de limite de escoamento e módulo elástico para as amostras.

	LIMITE DE ESCOAMENTO (MPa)	MÓDULO ELÁSTICO
PEAD virgem	21,8 ± 0,78	495,0 ± 29,60
100% PEAD reciclado	19,4 ± 0,24	443,5 ± 36,66
70% PEAD reciclado	20,9 ± 1,01	459,7 ± 48,20
50% PEAD reciclado	20,6 ± 0,81	431,3 ± 43,42

Os valores de desvio padrão das amostras 70% reciclado e 50% reciclado são os maiores, isso se deve ao fato de as misturas terem sido feitas manualmente, o que não garante que o material tenha homogeneizado no momento da extrusão.

#### 4.4 – Ensaio Mecânico de Fluência

Com o intuito de caracterizar detalhadamente o comportamento do material, foram realizados ensaios de fluência.

Como já mencionado na seção 3.4.4, para determinação da carga de fluência foram utilizados os dados do ensaio de tração e a carga aplicada foi de 30% do valor do limite de escoamento de cada amostra. Os resultados da carga em fluência para as amostras são apresentados na tabela 6.

Tabela 6: Carga em fluência para as amostras, correspondente a 30% do valor do limite de escoamento.

Material	Carga em Fluência (MPa)
100% PEAD virgem	6,5 ± 0,78
100% PEAD reciclado	5,8 ± 0,24
70% PEAD reciclado/ 30% PEAD virgem	6,3 ± 1,01
50% PEAD reciclado/ 50% PEAD virgem	6,2 ± 0,81

Os gráficos mostrando a curva deformação *versus* tempo para o PEAD virgem e as misturas de 100, 70 e 50% PEAD reciclado, do ensaio de fluência são mostrados na figura 7:

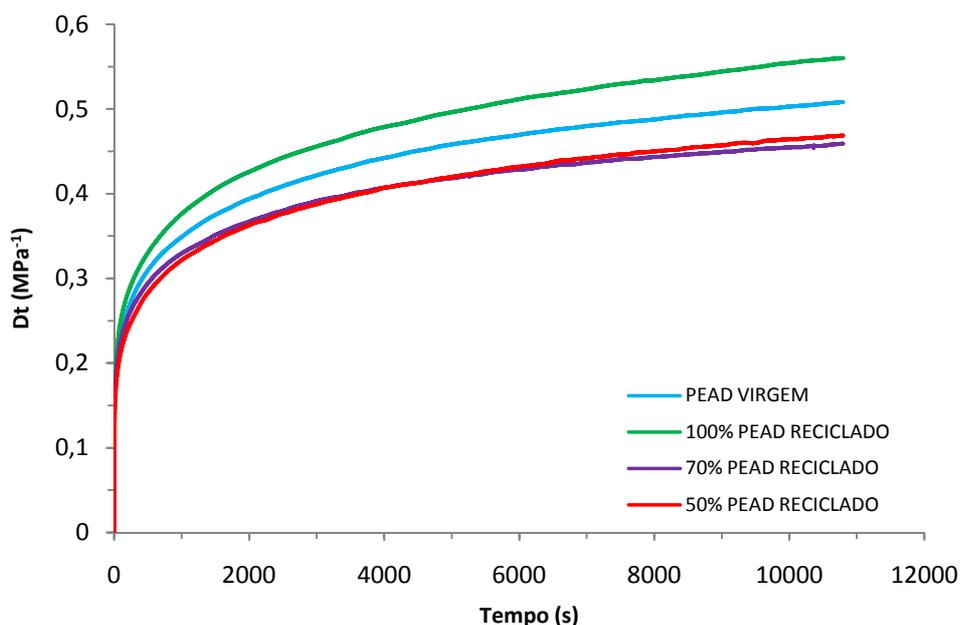


Figura 9: Curva deformação *versus* tempo para o PEAD virgem e as misturas de 100, 70 e 50% PEAD reciclado.

Podemos observar que a amostra de 100% PEAD reciclado foi a que mais sofreu deformação durante o tempo de ensaio, em seguida aparece o PEAD virgem.

No ensaio de difração de raios X, foi observado que o grau de cristalinidade das amostras recicladas mudou, evidenciando, portanto que as diferenças observadas em fluência podem ser conseqüência de alterações na estrutura cristalina.

Quando a carga é aplicada aos materiais, a fase amorfa apresenta maior mobilidade e a deformação inicial ocorre predominantemente nessa fase. Com o tempo, a contribuição da fase cristalina torna-se mais relevantes para o mecanismo de fluência. Portanto, a fase amorfa é essencialmente associada à fluência a curto prazo, enquanto os movimentos de fase cristalina são predominantes na fluência a longo prazo. [34]

A figura 8 mostra o compliance em fluência em função do tempo para amostras de PEAD virgem e as misturas de 100, 70 e 50% PEAD reciclado.

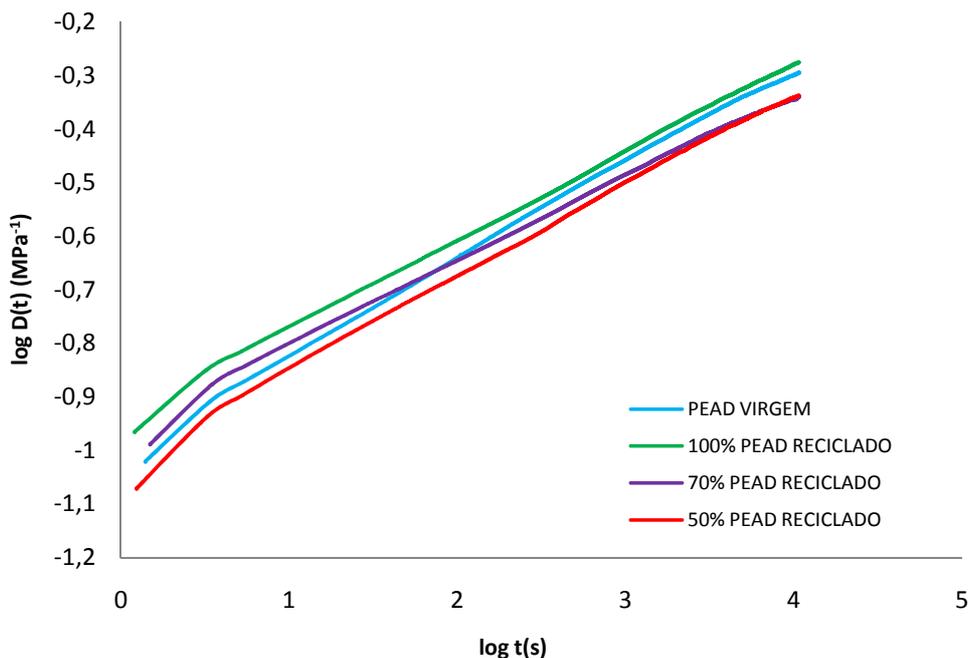


Figura 10: Compliance em fluência em função do tempo para amostras de PEAD virgem e as misturas de 100, 70 e 50% PEAD reciclado.

Pode-se observar que nas curvas de compliance há duas regiões, possivelmente indicando dois mecanismos de deformação diferentes associados aos estágios primário e secundário de fluência para cada amostra.

A deformação elástica inicial está associada a uma combinação dos seguintes processos: separação lamelar, cisalhamento interlamelar e rotação lamelar, e na deformação plástica dos mecanismos comumente identificadas são: deslizamento da cadeia e deslizamento transversal. [35].

No entanto, neste trabalho, o experimento de fluência foi realizado em período muito curto de tempo, 180 minutos. Observou-se que o compliance aumentou com o aumento do tempo e que para tempos entre valores de  $\log(t)$  iguais a aproximadamente  $10^{0,5}$  e  $10^{0,6}$  as retas mudaram de inclinação, indicando início do estágio de fluência secundária, os mecanismos de deformação nesse estágio são dominados por fase cristalina.

É importante notar que o mecanismo de fluência em termoplásticos é complexo uma vez que as fases amorfa e cristalinas são distribuídos de forma heterogênea e por

esse motivo, pode-se dizer que esses são os mecanismos de deformação em ambas as fases.

## Capítulo V – Conclusão

- O ensaio de tração apresentou resultados satisfatórios. Como esperado houve queda nos valores de limite de escoamento para as amostras do material reciclado, porém todas as amostras superaram as expectativas ultrapassando 200% de deformação.
- Os valores de desvio padrão das amostras 70% reciclado e 50% reciclado são os maiores (tabela 6), isso se deve ao fato de as misturas terem sido feitas manualmente, o que não garante que o material tenha homogeneizado no momento da extrusão.
- O antioxidante desempenhou papel importante, apesar de não aparecerem evidências do uso do mesmo nos espectros e difratograma, provavelmente ele desempenhou papel fundamental nos ensaios de tração e fluência garantindo os bons resultados das amostras recicladas.
- A reciclagem mecânica se mostrou uma alternativa viável para esse tipo de lixo urbano.

## Capítulo VI – Trabalhos Futuros

A fim de conhecer melhor os limites de reciclagem desses filmes de polietileno, serão apresentadas as seguintes propostas:

- Realizar ensaio de fluência durante um tempo maior e sob influência da temperatura;
- Caracterizar mais profundamente o antioxidante utilizado, visto que só foi feito um espectro de FTIR desse material;
- Realizar ensaios de MFI das amostras recicladas para saber se houve ou não alteração no índice de fluidez do material reciclado;
- E por fim sugere-se reforçar esse material com fibras e outros materiais de origem vegetal para dar infinitas opções de reciclagem a este produto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] PLANETA SUSTENTÁVEL. Disponível: <http://planetasustentavel.abril.com.br>  
Acesso em setembro de 2010.
- [2] CIULIK, C.B. “Modificação química de celulose para utilização em misturas com polietileno de alta densidade” Tese (Mestrado) Curitiba: UFPR (2010).
- [3] RESBRASIL. Disponível em: <http://www.resbrasil.com.br> Acesso em setembro de 2010.
- [4] Notícia do Portal G1 de notícias. Disponível em: <http://g1.globo.com/rio-de-janeiro/noticia/2010/08/mercado-que-nao-cumprir-lei-das-sacolas-plasticas-no-rio-sera-multado.html> Acesso em outubro de 2010.
- [5] DOAK, K. W. – “Ethylene Polymers”. Em: MARK, H. M.; BIKALES, N. M.; OVERBERG, C. G.; MENGES, G. – “Encyclopedia of Polymer Science and Engineering”, John-Wiley & Sons, New York, v.6 (1986).
- [6] NEVES, C. J. A.; - “Resistência Química de PE’s a Vários Reagentes Químicos” – Boletim Técnico nº13 – OPP Petroquímica S.A. – Agosto (1999).
- [7] BILLMEYER, F. W. J. - “Textbook of Polymer Science” Wiley Interscience, USA (1984).
- [8] CANEVAROLO, S. V. – “Ciencia dos Polimeros – Um texto básico para tecnólogos e engenheiros” Artliber, São Paulo (2002).
- [9] MANO, E. B. – “Polimeros como Materiais de Engenharia” Editora Blücher LTDA, São Paulo, 3ª ed (2003).
- [10] MIERTSCHIN, G.; “The HDPE Business Cycle” CMAI 11th. Annual World Petrochemical Conference (1996).

- [11] RETO, M.A.S. – “Revista Plástico Moderno” p.22 Agosto (2000).
- [12] “Um bebê = 25 toneladas de lixo”, revista Veja publicação de 17/03/1999.  
Disponível em: [http://veja.abril.com.br/170399/p\\_060.html](http://veja.abril.com.br/170399/p_060.html)  
Acesso em setembro de 2010
- [13] Matéria do Jornal Nacional exibida em maio de 2010. Disponível em:  
<http://jornalnacional.globo.com>  
Acesso em setembro de 2010.
- [14] RECICLOTECA. Disponível em: [www.recicloteca.org.br](http://www.recicloteca.org.br)  
Acesso em outubro de 2010.
- [15] Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado. 3.2 Plásticos. Disponível em: <http://www.cepis.org.pe/muwww/fulltext/repind59/gsp/gsp.html> Acesso em setembro de 2010.
- [16] Instituto do PVC. Disponível em: <http://www.institutodopvc.org>  
Acesso em dezembro de 2010.
- [17] COMPAM. Disponível em: <http://www.compam.com.br/oquereciclagem.htm>  
Acesso em setembro de 2010.
- [18] AMBIENTE BRASIL. Disponível em: <http://ambientes.ambientebrasil.com.br>  
Acesso em outubro de 2010.
- [19] VILLAS, V. C. C. “A Importância do Plano de Negócio Verde para Lançamento de Novos Produtos Sustentáveis e Economicamente Viáveis e o Aproveitamento de Resíduos Plásticos Pós-Consumo” Tese de Pós-Graduação, COPPE/UFRJ (2009).
- [20] PLASTIVIDA. Disponível em: <http://www.plastivida.org.br>  
Acesso em dezembro de 2010.
- [21] LIXO. Disponível em: [www.lixo.com.br](http://www.lixo.com.br)

Acesso em setembro de 2010.

[22] PENATOS AMBIENTALISTAS BLOGSPOT. Disponível em:  
<http://penatosambientalistas.blogspot.com>.

Acesso em setembro de 2010.

[23] ARCOFLEX. Disponível em: [www.arcoflex.com.br](http://www.arcoflex.com.br).

Acesso em setembro de 2010.

[24] Anuário da Indústria Química Brasileira – 2008 – ABIQUIM.

[25] OLIVEIRA, P. T. S. e PEIXOTO, G. E. C. “Levantamento da Situação Atual da Reciclagem de Materiais Plásticos no Município de Campo Grande – MS” UFMS – ELECS 2007.

[26] COGUMELO. Disponível em: [www.cogumelo.com.br](http://www.cogumelo.com.br).

Acesso em dezembro de 2010.

[27] BRASKEM. Disponível em: [www.braskem.com.br](http://www.braskem.com.br).

Acesso em dezembro de 2010.

[28] REMÉDIO, M. V. P. e ZANIN, M. – “Caracterização do Efluente de Lavagem de Filmes Plásticos Pós-Consumo e Determinação das Propriedades Reológicas do Material Reciclado” *Polímeros: Ciência e Tecnologia* - Out/Dez – 99.

[29] CANEVAROLO Jr, S.V., *Técnicas de Caracterização de Polímeros*. São Paulo, Artliber, 2007.

[30] GERRY, T. e RON, N. “Structural analysis of thermoplastic components” 1. Ed. New York, Peggy Malnati, 1994.

[31] GRISA, A.M.C. – “Caracterização de Filmes de Polietileno com Aditivo Pró-Oxidante, em Aterro Sanitário” *SLAP 2010 - Rev. Iberoam. Polím.*, 11(7), 532-540 (2010).

- [32] DAS-GUPTA, D.K. "Polyethylene: Structure, Morphology, Molecular Motion and Dielectric Behavior." IEEE Electrical Insulation Magazine v.10, n° 3, 1994.
- [33] Q. YUAN, Y. YANG, J. CHEN, V. RAMUNI, R.D.K. MISRA, K.J. BERTRAND "The effect of crystallization pressure on macromolecular structure, phase evolution, and fracture resistance of nano-calcium carbonate-reinforced high density polyethylene." Materials Science and Engineering: A, Volume 527, July 2010, Pages 6699-6713.
- [34] OLIVEIRA, G.L. e COSTA, M.F. "Optimization of process conditions, characterization and mechanical properties of silane crosslinked high-density polyethylene." Materials Science and Engineering: A, Volume 527, Issues 18-19, 15 July 2010, Pages 4593-4599
- [35] BUTLER, M.F., DONALD, A.M e RYAN, A.J "Time resolved simultaneous small- and wide-angle X-ray scattering during polyethylene deformation—II. Cold drawing of linear polyethylene" Polymer 39 (1998) 39–52.