



## Análise das frações geradas através da separação por moagem de misturas de polipropileno e polietileno de alta densidade em resíduos plásticos

**Patrícia Cofferri<sup>1</sup>, Assis Francisco de Castilhos<sup>2</sup> e Nilo Sérgio Medeiros Cardozo<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>DEQUI, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. (pcofferri@hotmail.com, nilo@enq.ufrgs.br)

<sup>2</sup> Instituto Federal de Santa Catarina- Campus Araranguá (assis@sapucaia.ifsc.edu.br)

### Resumo

Grandes dificuldades são encontradas nos centros de triagem de lixo (CT's) para separação da fração poliolefínica, visto que os materiais contidos nesta apresentam mesmos nichos de mercado e aparência semelhante, além de massas específicas próximas, o que impossibilita a separação densitária destes. Sendo estes materiais parcela significativa dos materiais termoplásticos contidos nos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), é de grande importância buscar alternativas para a separação e reinserção destes materiais na cadeia produtiva. Inseridos neste contexto, desenvolveu-se em trabalho anterior uma técnica de separação de polipropileno (PP) e polietileno de alta densidade (PEAD) por cominuição e peneiramento, baseada nas diferenças de comportamento destes materiais em processos de cominuição. A aplicação desta técnica a uma amostra padrão levou a geração de três frações de composição distinta. Desta forma, o presente trabalho busca analisar estas frações em termos de composição e propriedades mecânicas, visando avaliar o seu potencial de reciclagem.

**Palavras-chave:** Polipropileno, Polietileno de Alta Densidade, Separação, Cominuição, Reciclagem.

**Área Temática:** 1- Resíduos Sólidos

### Abstract

*Major difficulties are found in the waste sorting centers regarding the separation of the polyolefin fraction, because its constituents have the same market niches and similar appearances. Besides they cannot be separated by density due to the close values of density of all constituents. As these materials are a significant portion of the thermoplastic materials contained in municipal solid waste (MSW) is of great importance to find alternatives for the separation and reintegration of these materials in the production chain. In this context, in a previous work we have developed a method for separation of polypropylene (PP) and high density polyethylene (HDPE) by comminution and screening, based on the different behavior presented by these materials when submitted to a comminution process. The application of this method to a model sample led to three fractions of different compositions. In the present work, our goal is the analysis of these fractions, in terms of composition and mechanical, in order to evaluate their potential of recycling.*

**Key words:** Polypropylene, High Density Polyethylene, Separation, Comminution, Recycling.

**Theme Area:** 1- Solid waste



## 1 Introdução

Devido à importância da reciclagem dos resíduos sólidos resultantes das atividades humanas, vemos a grande necessidade de dar atenção a fatores como a separação dos diferentes resíduos. Atualmente a segregação realizada nos centros de triagem de resíduos sólidos urbanos (CT's) utiliza técnicas baseadas no *design* do produto e na sua relação com o nicho de mercado, associando estas informações as obtidas das propriedades físicas, este nível superficial de análise resulta em elevado nível de contaminação entre os materiais plásticos separados. .

Desta forma, muitos estudos vêm sendo realizados sobre a separação dos diferentes tipos de plásticos existentes nos resíduos sólidos urbanos (RSU) como técnicas de flotação e separação densitária (SUPER ET AL,1993; SHENT ET AL, 1999 e MARQUES e TENÓRIO, 2000) e técnicas que utilizam a dissolução de um dos contaminantes (PAPPA ET AL, 2001). No entanto, apesar dos excelentes resultados, as técnicas atualmente utilizadas para separação destes polímeros apresentam um alto custo e necessidade de uma eficiente limpeza superficial o que reduz as possibilidades de uso industrial, principalmente com resíduos pós-consumo.

Como o PP e o PEAD apresentam os mesmos nichos de mercado, aparência similar e impossibilidade de separação densitária, por apresentarem massas específicas muito próximas, a fração poliolefínica contida nos RSU é geralmente formada por misturas destes materiais. Isto ocasiona diversos problemas econômicos e ambientais relacionados com a dificuldade de aproveitamento destes resíduos, consequência da incompatibilidade entre os dois materiais.

Com foco na busca de alternativas tecnológicas adequadas para a reinserção destes resíduos na cadeia produtiva, em trabalho anterior apresentou-se um caminho tecnológico alternativo, de baixo custo para a separação de PP e PEAD, baseado na diferença apresentada por estes materiais com relação às suas curvas de distribuição granulométrica resultante de processos de cominuição. Este processo se baseia nas diferenças marcantes entre os graus de cristalinidade e resistência ao impacto do PP e do PEAD e, devido ao baixo custo e simplicidade operacional, tem potencial para ser aplicado nos centros de triagem (COFFERRI, CASTILHOS e CARDOZO, 2011). Pela aplicação deste método de separação por cominuição e peneiramento a uma amostra utilizada como padrão de estudo, contendo proporções iguais de PP e PEAD, foi possível separar três frações de composições significativamente diferenciadas. O objetivo do presente trabalho é a caracterização mais detalhada de tais frações, visando analisar qualitativamente o valor agregado de cada uma delas.

## 2 Metodologia

### *Materiais*

Foram utilizadas como base de estudo três misturas de PP e PEAD obtidas a partir da aplicação do processo de cominuição e peneiramento a uma mistura de frascos soprados com estas duas poliolefinas, contendo 50 % em massa de frascos de PP e 50 % em massa de frascos de PEAD. Os frascos em questão haviam sido produzidos com as resinas H604 (PP) e GF4950 (PEAD), fornecidas pela Braskem S.A., possuindo todos mesmo formato, tamanho e espessura, porém com cores diferentes: PP em verde e PEAD sem pigmento.

Assim, as três misturas estudadas no presente trabalho correspondem às três frações separadas (Figura 1) a partir do processamento da mistura de frascos original a temperatura ambiente em um aglutinador Marca KIE modelo AK60 (Figura 2), por um período de 3 min, seguida de peneiramento utilizando peneiras de abertura de telas de 50 e 5 mm.



### 3º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 25 a 27 de Abril de 2012

Figura 1 - a) Partículas retidas no sistema de peneiras de 50 mm. b) Partículas retidas no sistema de peneiras de 5 mm. c) Partículas passantes no sistema de peneiras de 5 mm.



Figura 2 – Aglutinador utilizado para a moagem dos frascos



As frações analisadas foram identificadas como F1, F2 e F3, as informações referentes a estas podem ser visualizadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Resultados da análise por peneiramento

| Frações obtidas |                                       | (% em massa) | Observação visual da fração                          |
|-----------------|---------------------------------------|--------------|--|
| <b>F1</b>       | Retida na peneira com abertura 50 mm  | 31           | Somente partículas não pigmentadas (Figura 1a)       |
| <b>F2</b>       | Retida na peneira com abertura 5 mm   | 64           | Partículas não pigmentadas e pigmentadas (Figura 1b) |
| <b>F3</b>       | Passante na peneira com abertura 5 mm | 5            | Partículas não pigmentadas e pigmentadas (Figura 1c) |

Estas misturas foram processadas em uma extrusora monorosca peletizadora Seibt Modelo E35 com relação L/D 19, com faixas de temperatura entre 190 e 200 °C, sendo que todos os testes de caracterização foram feitos a partir das amostras extrudadas, diretamente na forma de filamentos ou já peletizadas.

#### *Caracterização das misturas*

A partir do material extrudado foram retiradas as amostras para ensaios de índice de fluidez (IF), de microscopia eletrônica de varredura (MEV), resistência ao impacto,



### 3º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 25 a 27 de Abril de 2012

resistência à tração e DSC (Differential scanning calorimetry), juntamente com amostras dos materiais puros.

O ensaio de IF foi realizado utilizando o equipamento Melt Flow Junior Ceast - POLIMATE, de acordo com a norma ASTM D1238. As condições utilizadas para a amostra do material retido na peneira de 50 mm foram carga no pistão de 2,16 kg, temperatura de 190 °C e tempo de corte igual a 6 min. Para as amostras dos materiais passante na peneira de 50 mm e passante na peneira de 5 mm as condições foram carga no pistão de 2,16 kg, temperatura de 230 °C e tempo de corte igual a 3 min.

O ensaio de resistência ao impacto foi realizado com o método IZOD seguindo a norma ASTM D256. Os corpos de prova utilizados neste foram produzidos com o auxílio de uma prensa hidráulica segundo a norma ASTM D4703.

O ensaio de tração foi realizado no equipamento Emic DL2000, com uma carga de 20 kN seguindo a norma ASTM D638 com velocidade de ensaio igual a 50 mm/min.

Os ensaios de DSC foram realizados segundo a norma ASTM D3417, com uma taxa de aquecimento de 10°C/min, numa faixa de temperatura de 20 –200 °C com fluxo de 20 mL/min de nitrogênio. Para a realização dos cálculos referentes a este ensaio utilizou-se a relação apresentada por Canevarolo (2003), que usa a relação entre as entalpias de fusão obtidas por DSC para identificar a composição de misturas PE/PP, conforme Eq. (1):

$$X = [\Delta H_{exp}] / [\Delta H_{puro}] \quad (1)$$

onde  $\Delta H_{exp}$  é o calor de fusão do pico correspondente à substância em questão na análise da mistura e  $\Delta H_{puro}$  é calor de fusão do material puro.

### 3 Resultados

A Tabela 1 mostra os dados da análise de DSC e o conteúdo de PP nas três frações separadas, indicando que na fração F1 (Figura 1a), retida na peneira de 50 mm, foi obtida uma eficiência alta na separação do PEAD, já que não foram detectadas quantidades mensuráveis de PP. Já nas frações F2 e F3 a proporção de PP aumenta significativamente.

Tabela 1 - Dados obtidos através da análise das curvas de DSC dos materiais.

| Material | Picos de fusão (°C) | $\Delta H_{exp}$ (J/g) | $X_{PP}$ (% em massa) |
|----------|---------------------|------------------------|-----------------------|
| PEAD     | 135,32              | 195,89                 | -                     |
| F1       | 137,01              | 231,37                 | Não detectado         |
|          | Pico de I 134,51    | 86,4                   | -                     |
| F2       | Pico de II 160,68   | 36,99                  | 41,55                 |
|          | Total               | 123,39                 | 85,66                 |
|          | Pico de I 136,43    | 78,84                  | -                     |
| F3       | Pico de II 161,4    | 36,88                  | 41,42                 |
|          | Total               | 115,72                 | 82,13                 |
| PP       | 161,54              | 89,05                  | -                     |

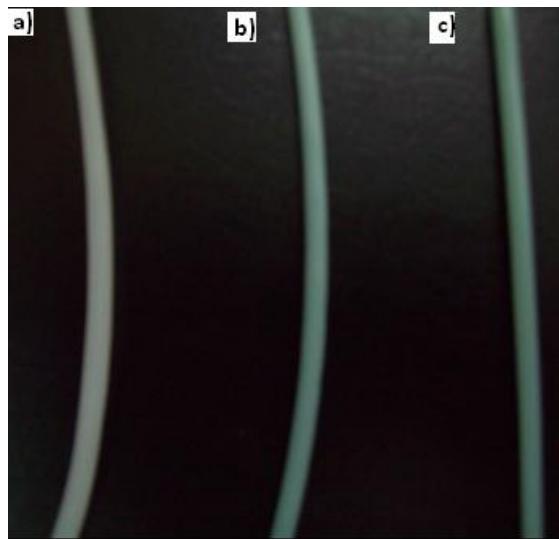
Com a análise dos filamentos obtidos no processo de extrusão das frações estudadas (Figura 3) verificamos que, nos três casos, os filamentos são contínuos e com pouca diferença de qualidade superficial a olho nu e ao toque.



### 3º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 25 a 27 de Abril de 2012

Figura 3 –a) F1 b) F2 c)F3



Nas Tabelas 2, 3 e 4 são apresentados, respectivamente, os resultados de índice de fluidez, resistência ao impacto e dos ensaios de tração. Pode- se observar que para todas as propriedades se observa que amostra F1 apresenta propriedades muito semelhantes as do PEAD puro, o que está de acordo com a análise visual da amostra peneirada (Figura 1) e com os dados de DSC (Tabela 1) que indicam que a amostra F1 apresenta uma porcentagem muito elevada de PEAD.

Tabela 2- Resultados do teste de índice de fluidez

| Material                  | Índice de Fluidez (g/10mim) |
|---------------------------|-----------------------------|
| PEAD*                     | 0,34                        |
| Retido peneira de 50 mm   | 0,4                         |
| Retido na peneira de 5 mm | 1,07                        |
| Passante peneira de 5 mm  | 1,27                        |
| PP*                       | 1,5                         |

\*Dados fornecidos pelo fabricante da resina utilizada.

Tabela 3 - Resultados do ensaio de resistência ao impacto

| Material                  | Resistência ao Impacto (J/m) |
|---------------------------|------------------------------|
| PEAD*                     | 210                          |
| Retido peneira de 50 mm   | 228                          |
| Retido na peneira de 5 mm | 6,3                          |
| Passante peneira de 5 mm  | 5                            |
| PP*                       | 51                           |

\*Dados fornecidos pelo fabricante da resina utilizada.



### 3º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 25 a 27 de Abril de 2012

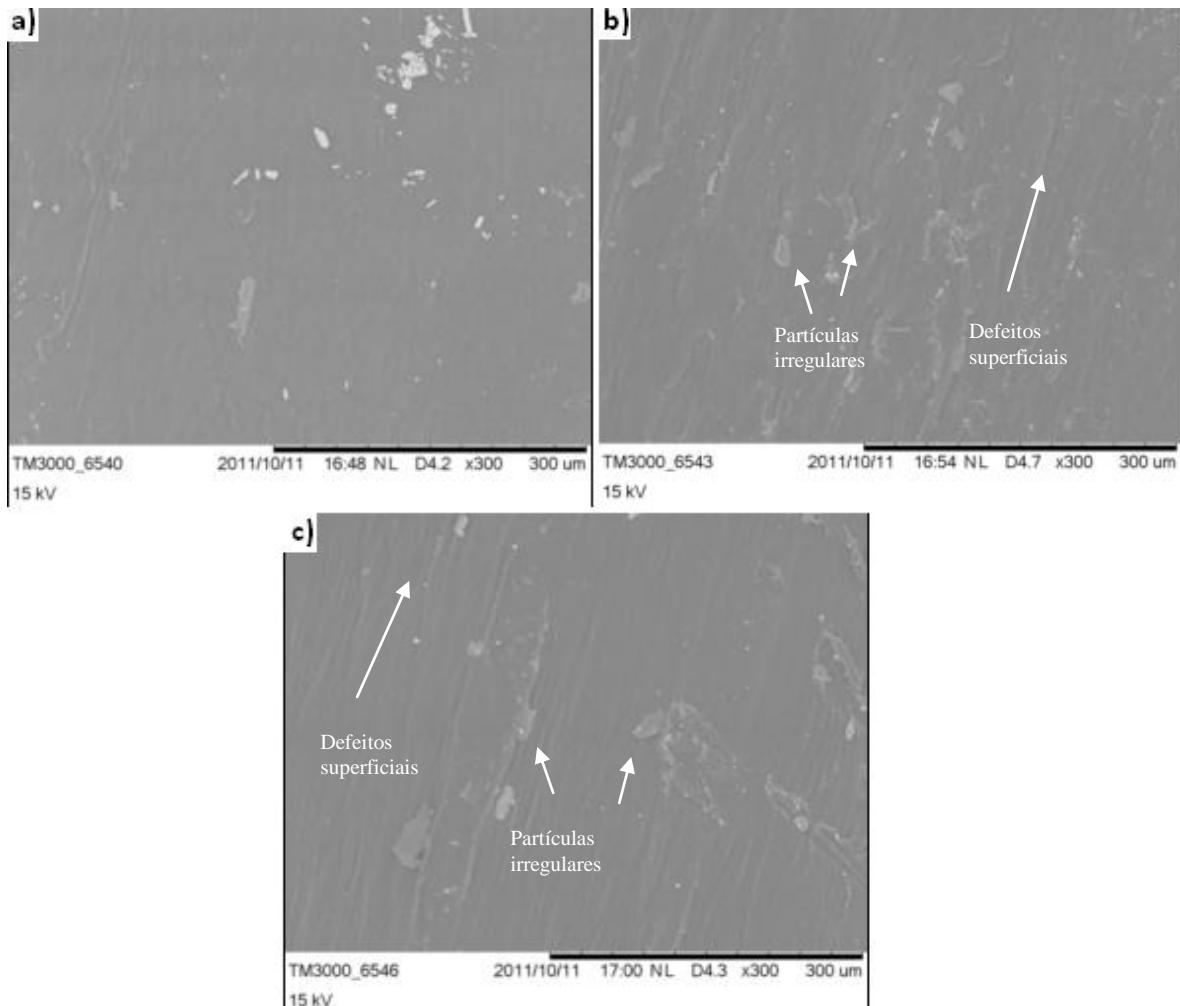
Tabela 4 - Resultados do ensaio de tração

| Material                  | Tensão na Ruptura (MPa) | Alongamento na Ruptura (%) |
|---------------------------|-------------------------|----------------------------|
| PEAD*                     | 35                      | 16                         |
| Retido peneira de 50 mm   | 30                      | 15                         |
| Passante peneira de 50 mm | 18                      | 8                          |
| Passante peneira de 5 mm  | 17                      | 7                          |
| PP*                       | 36                      | 12                         |

\*Dados fornecidos pelo fabricante da resina utilizada.

Os efeitos da incompatibilidade e os motivos da redução das propriedades mecânicas ficam evidentes ao analisar micrografias por MEV realizadas sobre as superfícies dos filamentos extrudados (Figura 4). Observa-se claramente a separação dos materiais com uma das fases aparecendo como partículas irregulares, sem nenhuma indicação aparente de interação partícula/ matriz. Assim, quando o número de partículas aumenta, devido ao menor nível de separação dos materiais obtido, as propriedades mecânicas diminuem significativamente.

Figura 4- Imagens de MEV com aumento de 300x. Amostras:a) F1 b) F2 c) F3





Outro aspecto que pode ser observado nas micrografias das amostras F2 e F3 é o surgimento de defeitos superficiais na matriz apresentando o aspecto de uma textura com uma clara orientação unidirecional, as quais são provavelmente causadas pela ação de partículas a matriz da extrusora sobre a superfície do filamento.

#### 4 Conclusões

Avaliando a relação existente entre as propriedades mecânicas das frações analisadas e as micrografias obtidas, concluímos que a técnica de separação por moagem utilizada, possibilita a obtenção de uma fração significativa de material com propriedades muito semelhantes as do PEAD puro, gerando assim uma corrente que pode ser reciclada facilmente para geração de produtos com características aceitáveis. As outras frações (F2 e F3) não seriam adequadas para gerar produtos de boa qualidade em um processamento direto.

Logo, a técnica avaliada possibilita a recuperação de 31% do material, sendo que cabe a busca de alternativas para a utilização das duas demais frações.

#### 5 Agradecimentos

Os autores agradecem ao IFSul- Campus Sapucaia do Sul, por ceder suas dependências, a Pró-reitoria de pesquisa deste e a Pró-reitoria de pesquisa da UFRGS por fornecer a bolsa de iniciação, e por dar apoio financeiro a pesquisa.

#### Referências

- SUPER M. S.; ENICK R. M. e BECKMAN E. J. **Density-based separation of thermoplastics found in the post-consumer waste stream.** Resources Conservation & Recycling, 1993, Vol.9, p. 75-88.
- SHENT H., PUGH R. J.; e FORSSEBER E. **A review of plastics waste recycling and the flotation of plastics.** Resources Conservation & Recycling. 1999, Vol.25, p. 85-109.
- MARQUES G. A.; TENÓRIO e J. A. S. **Use of froth flotation to separate PVC/PET mixture.** Waste Management. 2000, Vol. 20, p. 265-269.
- COFFERRI P., CASTILHOS A. F. CARDOZO N. S. M.; **Desenvolvimento de técnica de separação de plásticos em lixo domiciliar – estudo de caso de frascos de polipropileno e polietileno de alta densidade.** Anais do 11º Congresso Brasileiro de polímeros. São Paulo, 2011, n. 541, p 2406-2411.
- CANAVAROLO S. V. J. **Técnicas de caracterização de polímeros.** São Paulo: Artliber, 2003.
- STAHL I.; KLEINE-KLEFFMANN U. **Electrostatic Sorting. Recycling and Recovery of Plastics,** p. 265-273, 1996.
- HILL M. J.; OLARZABAL L.; HIGGINS J. S. **Preliminary studies of polypropylene/linear density polyethylene blends by transmission electron microscopy.** Polymer, v.35. n.15, p 3332- 3337, 1994.