

# ANÁLISE E CARACTERIZAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE DURANTE PROCESSO DE RECICLAGEM MECÂNICA

MATHEUS A. RODRIGUES<sup>1</sup>; THIAGO C. G. ALVES<sup>1</sup>; FABIULA D. B. DE SOUSA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas  
- matheusar@gmail.com; thiagoczer@live.com; fabiuladesousa@gmail.com

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, o crescimento elevado do consumo e o descarte inadequado de materiais poliméricos, especialmente de embalagens em geral, tem agravado problemas relacionados à disposição final dos resíduos sólidos urbanos.

Uma solução viável para a redução do problema trata-se de reciclagem mecânica. No entanto, sabe-se que as etapas às quais os polímeros são submetidos durante o processo são capazes de degradá-los, em maior ou menor grau, podendo acarretar dificuldades ao material reciclado durante sua utilização. Tais níveis de degradação podem ser medidos através de análises químicas, como a espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier e índice de fluidez, pelo uso de viscosímetros. O uso dessas técnicas torna-se cada vez mais importante, uma vez que o controle das propriedades fica maior e mais exigente, garantindo um processo de reciclagem mais eficiente e ambientalmente amigável.

Nesse estudo, o processo de extrusão de polietileno de alta densidade proveniente de embalagens como parte da reciclagem mecânica foi acompanhado e avaliado através do controle do índice de fluidez (utilizando-se um plastômetro) e da estrutura química (utilizando-se espectrômetro com transformada de Fourier), demonstrando mudanças significativas nas propriedades, dependendo do número de extrusões.

## 2. METODOLOGIA

### *Materiais*

Foi utilizado polietileno de alta densidade (PEAD) proveniente de embalagens de materiais de limpeza descartados da Universidade Federal de Pelotas. Todas as embalagens apresentam o código 2 (referente ao PEAD), de acordo com a Norma ABNT NBR 13230:2008. Após a coleta, as embalagens foram cortadas em formas irregulares (Figura 1).



Figura 1 - Embalagem de PEAD.

## Métodos

### *Limpeza, corte, moagem e extrusão do PEAD*

As embalagens de PEAD foram lavadas com detergente neutro em água corrente. Depois de secas ao ambiente, foram cortadas de formas irregulares e moídas em moinho de facas da marca Marconi, resultando num pó de granulometria homogênea, num total de 1,2 Kg de PEAD para extrusão. O material resultante foi então extrudado, variando o número de extrusões. As propriedades das amostras foram analisadas de acordo com o número de extrusões. As amostras extrudadas em formato macarrão foram moídas em moinho de facas da marca Marconi. A nomenclatura das amostras refere-se ao respectivo número de extrusão ao qual foi submetida.

### *Análise de espectroscopia de infravermelho*

As mudanças ocorridas na estrutura química das amostras como resultado do processo de extrusão foram analisadas por espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier com reflexão total atenuada (FTIR-ATR), utilizando-se um espectofotômetro IRPrestige-21, da marca Shimadzu, na faixa de espectro de 4000 cm<sup>-1</sup> a 500 cm<sup>-1</sup>, e 21 varreduras.

### *Análise do índice de fluidez*

A análise do índice de fluidez foi realizada para verificar a influência da alteração da estrutura química das amostras no seu nível de fluidez. Foi realizada em um plastômetro da marca CEAST Italy, modelo Melt flow modular line, a 200°C e carga de 5 Kg, de acordo com a norma ASTM D 1238.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do índice de fluidez das amostras analisadas estão presentes na Figura 2.

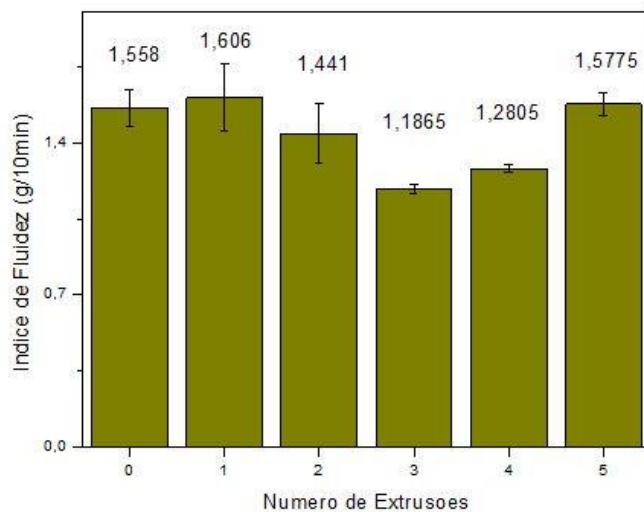


Figura 2 – Resultado do índice de fluidez das amostras.

De acordo com os resultados, percebe-se que os valores de índice de fluidez das amostras variaram de acordo com o número de extrusões, variando de acordo com o grau de degradação termomecânica sofrida pela amostra. De acordo com Hinsken et al. (Hinsken et al. 1991), os radicais alquila e grupo vinila levam a um aumento no peso molecular devido a ramificação e reticulação da

cadeia central, enquanto a cisão e a quebra do radical peróxi levarão a uma diminuição no peso molecular do polímero. Os principais mecanismos de degradação em PEAD são a cisão de cadeia e a ramificação de cadeia seguida por reticulação. Assim, a cisão de cadeia reduz a viscosidade da amostra, enquanto a reticulação aumenta sua viscosidade, acarretando mudanças no índice de fluidez.

De acordo com Da R. Silvano et al., o aumento do número de ciclos de reprocessamento leva à formação de mais radicais alquila, aumentando a probabilidade de que eles se combinem e produzam grupos de insaturação. Tais alterações na estrutura das amostras podem ser confirmadas através da análise de FTIR (Figura 3).

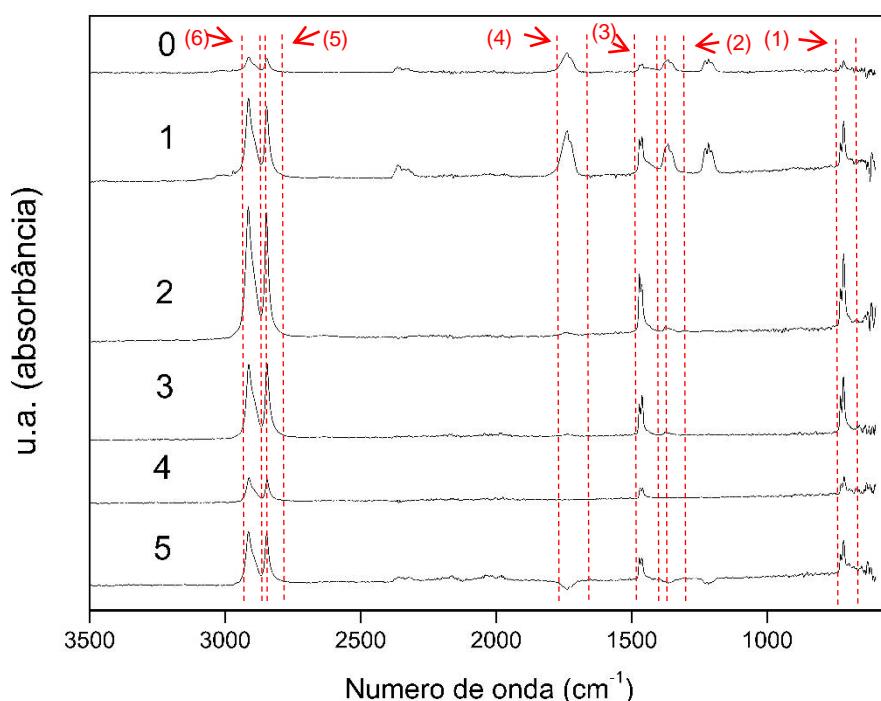


Figura 3 – Espectros de FTIR das amostras, de acordo com o número de extrusões.

De acordo com o gráfico da análise de FTIR, podemos perceber aparecimento e desaparecimento de grupos funcionais, mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 – Picos característicos de PEAD encontrados

Número de referência	Número de onda (cm <sup>-1</sup> )	Banda característica	Referência
1	705 – 735	Grupo metil (fase amorf)	(da Silva & Wiebeck, 2017)
2	1367	Deformação CH <sub>3</sub> (grupo metil)	(da Silva & Wiebeck, 2017)
3	1450 – 1480	Grupo CH (fase amorf e cristalina)	(da Silva & Wiebeck, 2017)

4	1700	Grupo carbonila	(Da R. Silvano et al., 2013)
5	2770 – 2890	Alongamento assimétrico CH <sub>2</sub> (fase amorfá e cristalina)	(da Silva & Wiebeck, 2017)
6	2875 – 2980	Alongamento assimétrico CH <sub>2</sub> (fase amorfá)	(da Silva & Wiebeck, 2017)

O grupo carbonílico na região de 1700 cm<sup>-1</sup> que aparece nas amostras 0 e 1 são referentes à cisão de cadeia. Nessas amostras, observou-se maiores valores de índice de fluidez como resultado da cisão de cadeia e consequente menor viscosidade das amostras. Nas demais amostras não foi observado a presença desse pico, sendo que elas apresentaram menores índices de fluidez, como provável resultado da reticulação das cadeias e aumento da viscosidade. De acordo com da R. Silvano et al. (da R. Silvano et al. 2013), o grupo carbonila é produzido pelo radical alquila e reação do oxigênio, o radical alquila tira um elétron da ligação C-C, o acontecimento transforma no grupo oxidado no grupo carbonílico e a cadeia polimérica sofre um mecanismo cisão-β.

#### 4. CONCLUSÕES

O processo de reciclagem mecânica, principalmente a etapa do processamento em extrusora, é capaz de degradar o PEAD em diferentes graus. De acordo com os resultados, observou-se que acontece uma variação nos níveis de viscosidade do material, conforme varia o número de extrusões. Foi possível observar que quando há uma cisão das cadeias o peso molecular diminui, consequentemente o material fica menos viscoso, de maneira análoga acontece quando há reticulação do material, seu peso molecular aumenta e assim sua viscosidade torna-se maior. O conhecimento da viscosidade do material de acordo com seu processo de degradação torna-se útil para a reciclagem mecânica, pois dessa forma podemos conhecer o comportamento do material sob níveis diferentes de processamento, facilitando assim para formulação de um produto através da reciclagem mecânica.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

da Silva, D. J., & Wiebeck, H. (2017). Using PLS, iPLS and siPLS linear regressions to determine the composition of LDPE/HDPE blends: A comparison between confocal Raman and ATR-FTIR spectroscopies. *Vibrational Spectroscopy*, 92, 259–266.

Hinsken, H., Moss, S., Pauquet, J. R., & Zweifel, H. (1991). Degradation of polyolefins during melt processing. *Polymer Degradation and Stability*, 34(1–3), 279–293.

da R. Silvano, J., Rodrigues, S. A., Marini, J., Bretas, R. E. S., Canevarolo, S. V., De M. Carvalho, B., & Pinheiro, L. A. (2013). Effect of reprocessing and clay concentration on the degradation of polypropylene/montmorillonite nanocomposites during twin screw extrusion. *Polymer Degradation and Stability*, 98(3), 801–808.