



Maria Cecília Evora<sup>1</sup>; Helio Wiebeck<sup>2</sup>; Manoel Nunes Mori<sup>3</sup>; Leonardo G. de Andrade e Silva<sup>3</sup>

<sup>1</sup>CTA/ Instituto de Estudos Avançados/EFA-A,  
Caixa Postal 6044  
12231-970, São José dos Campos-SP, Brasil  
[cecilia@ieav.cta.br](mailto:cecilia@ieav.cta.br)

<sup>2</sup>Escola Politécnica/USP, São Paulo-SP.

<sup>3</sup>Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares/ IPEN-CNEN/SP, São Paulo- SP.

In this work are presented the results of the ionizing radiation effects on the mechanical properties of the recycled polyamide-6. This polymer was irradiated with an electron beam of 1,5 MeV with different doses. It was observed that the mechanical properties had improved in the irradiated samples of recycled polyamide-6.

### Introdução

A poliamida-6 é um termoplástico muito utilizado na indústria em diversos segmentos onde as propriedades mecânicas, térmicas e de abrasão são essenciais para um bom desempenho dos produtos acabados. Este termoplástico é utilizado na indústria automobilística, no setor de embalagens (embalagem multicamada), componentes mecânicos de aparelhos domésticos, brinquedos, equipamentos fotográficos, cabos de martelo, partes móveis de máquinas, conectores elétricos, malhas para meias e roupas, equipamentos para processamento de alimentos e de tecidos, escovas, fios de pesca, material esportivo (raquetes, bases de esqui, rodas de bicicletas, etc)<sup>[1,2]</sup>.

A reciclagem de polímeros vem sendo bastante utilizada no setor industrial como uma maneira econômica e ecológica de se utilizar as rebarbas dos materiais poliméricos das indústrias.

O processamento múltiplo de um termoplástico numa extrusora provoca alterações em diversos parâmetros reológicos. Alterações que fazem com que ocorram modificações na distribuição da massa molar média do polímero, quebras de estruturas, aumento do índice de fluidez e diminuição da resistência mecânica. Todas estas alterações afetam as propriedades das peças acabadas.

Brunner e Poltersdorf<sup>[3]</sup> realizaram uma série de ensaios com polietileno de baixa densidade (PEBD) reciclado e concluíram que materiais reciclados não devem ser utilizados para aplicações em peças de alto desempenho como, por exemplo, filmes.

Wiebeck, et al <sup>[4]</sup> estudaram o comportamento da poliamida-6 durante 19 reciclagens sucessivas. Após a terceira reciclagem, o índice de fluidez cresce razoavelmente e a resistência à tração cai bastante já na primeira reciclagem, permanecendo constante nos processamentos posteriores. As propriedades mecânicas de sistemas poliméricos estão entre as mais importantes para se determinar sua aplicação.

Quando a radiação ionizante interage com as moléculas poliméricas, induz modificações na estrutura da cadeia polimérica (excitação e ionização), que podem resultar no processo de reticulação e degradação destas cadeias. Estes dois processos podem ocorrer ao mesmo tempo e o que vai determinar a predominância de um ou de outro será a dose à qual os polímeros foram submetidos. Tais mudanças afetam as propriedades químicas e físicas (viscosidade, solubilidade, cristalinidade, etc.) e propriedades térmicas e mecânicas<sup>[5,6]</sup>.

Neste trabalho estudam-se possíveis modificações das propriedades mecânicas, por meio de ensaios de resistência à tração, nas amostras de

poliamida-6 virgens e recicladas, irradiadas com feixes de elétrons nas doses de 200, 300, 500 e 600 kGy.

### Experimental

A resina virgem de poliamida-6 com índice de fluidez do fundido de 19,2 g/10 min e densidade de 1,13 g/cm<sup>3</sup> (isenta de aditivos antioxidante) foi seca por 4 horas à uma temperatura de 100 ° C . Esta resina seca foi extrudada por 3 vezes consecutivas. A extrusora utilizada foi do tipo cascata 90 /110 mm, rosca tipo universal. A temperatura de trabalho variou entre 250 a 260°C.

Os corpos-de-prova foram injetados de acordo com a norma ASTM D638 e submetidos à irradiação com feixes de elétrons. As irradiações foram realizadas no acelerador de elétrons JOB 188 de energia de 0,5MeV a 1,5MeV e corrente de 0,1mA a 25mA do Centro de Tecnologia das Radiações (CTR) do IPEN.

Para os ensaios de resistência à tração, as amostras foram acondicionadas de acordo com a norma ASTM- 618, à uma temperatura ambiente de 23 ± 2°C e umidade relativa 50 ± 5 % por 40 horas. O Dinamômetro utilizado para estes ensaios foi uma INSTRON modelo 5567 com uma velocidade de ensaio de 50mm/min.

### Resultados e discussão

Os dados dos ensaios de resistência à tração das amostras de poliamida-6 virgens e recicladas estão apresentados na Tabela 1 e Tabela 2.

Tabela 1: Resultados dos ensaios de resistência à tração das mostras de poliamida-6 virgem e irradiadas à diferentes doses.

Dose (kGy)	Resistência na ruptura (MPa)	% Alongamento na ruptura	Resistência no escoamento (MPa)	% Alongamento no escoamento
0	53,50±1,01	252,63±5,16	46,83±0,53	21,05±0,84
200	51,58±1,01	242,55±3,54	46,30±0,54	20,75±0,97
300	44,32±1,49	123,13±10,13	52,49±1,73	19,01±0,37
500	43,36±0,44	112,17±5,96	52,21±0,62	17,56±0,33
600	43,02±0,04	83,16±6,18	52,66±0,48	17,60±0,31

Tabela 2: Resultados dos ensaios de resistência à tração das mostras de poliamida-6 recicladas e irradiadas à diferentes doses.

Dose (kGy)	Resistência na ruptura (MPa)	% Alongamento na ruptura	Resistência No escoamento (MPa)	% Alongamento no escoamento
0	41,44±0,47	97,88±4,92	52,20±0,65	20,09±0,29
200	41,05±0,89	47,95±3,07	53,44±0,85	19,03±0,25
300	51,23±1,38	6,89±0,24	51,23±1,38	6,89±0,24
500	53,54±0,43	6,51±0,13	53,54±0,43	6,51±0,13
600	53,15±0,71	6,22±0,15	53,15±0,71	6,22±0,15

Com o aumento da dose, tanto as amostras virgens quanto as recicladas, se tornaram mais rígidas e consequentemente, ocorreu um decréscimo na percentagem de alongamento no escoamento e na ruptura. Esse comportamento é observado nos polímeros onde há predominância do processo de reticulação.

As amostras de poliamida-6 virgens apresentaram aumento da resistência no escoamento proporcional a dose. Nas amostras recicladas estes valores praticamente não variaram. Foi observado um aumento significativo da resistência à tração na ruptura das amostras recicladas. Isso não ocorreu com as amostras de poliamida-6 virgens.

Muitos fatores afetam os resultados dos ensaios de resistência à tração e neste trabalho foram apresentados apenas os dados de resistência à tração que faz parte de um conjunto de diferentes técnicas utilizadas para caracterização da poliamida-6, virgem, reciclada e irradiada.

Como já foi mencionado anteriormente, um polímero quando submetido à reciclagens sucessivas, apresenta degradação e perdas das propriedades mecânicas. Nos resultados apresentados na Tabela 2 dos ensaios de resistência à tração para as amostras de poliamida-6 recicladas, pode-se observar uma razoável melhora nas propriedades mecânicas com o aumento da dose.

### Conclusões

As amostras de poliamida-6 recicladas obtiveram uma razoável melhora das propriedades mecânicas e diminuição da percentagem de alongamento. Estes efeitos observados podem ser atribuídos à presença do processo de reticulação. Os resultados dos ensaios de resistência à tração não foram conclusivos quanto a eficiência destas possíveis ligações cruzadas.

### Agradecimentos

À Radiciplastics, à NZ Copolymer Ltda e à Müller Plásticos Ltda.

### Referências Bibliográficas

1. Nelson, W. E.- "Nylon Plastics Technology", The Plastics and Rubber Intitute, London (1976).
2. WiebecK, H.; Risso, W.- " Reciclagem de plásticos e suas aplicações industriais", Apostila da FUSP.
3. Brunner,D.; Poltersdorf,B.- "Como o processamento altera as propriedades dos materiais termoplásticos", Revista Plástico Industrial, p.30, novembro, (1999).

4. Wiebeck H.; Bernardo, A.; Martini A. M.; Ascitti, S. A.; Oliveira, M.G.; Yai, C. H.-“Modificação das Propriedades Mecânicas da Poliamida-6 em reciclagens sucessivas”. In: VI Simpósio Latino Americano de Polímeros, IV Congresso Iberoamericano de Polímeros, IV Simpósio Chileno de Química y Físicoquímica de Polímeros, October 25-28, 1998, Viña del Mar – Chile. Libro de Resúmenes...Santiago: Sociedad Chilena de Química, p. 200, (1998).
5. Encyclopedia of Polymer Science Engineering, v13, (1988).
6. Clegg, D.W.; Collyer A. A.-“Irradiation Effects on Polymers”, Elsevier Applied Science, London, (1991).

