

CARACTERIZAÇÃO DA POLIAMIDA-6 RECICLADA IRRADIADA POR FEIXE DE ELÉTRONS

Maria Cecília Evora^{*}, Luci D. B Machado^{**}, Vera L. Lourenço^{***}, Lilian C. Lopérgolo^{**}, Hélio Wiebeck^{****},
Leonardo G. Andrade e Silva^{**}

^{*}Instituto de Estudos Avançados/CTA, São José dos Campos – SP

^{**}Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares-IPEN-CNEN/SP - Brasil

^{***}Instituto de Aeronáutica e Espaço/CTA, São José dos Campos – SP

^{****}Escola Politécnica/USP

cecilia@ieav.cta.br

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo caracterizar a poliamida-6 reciclada irradiada por feixe de elétrons com 1,5 MeV de energia a diferentes doses. O processo de reciclagem necessita de atenção especial, pois sucessivas reciclagens provocam mudanças em diversas propriedades do material que foi reciclado, como por exemplo, quebras de estruturas, diminuição da massa molar média, aumento do índice de fluidez e diminuição da resistência mecânica. As propriedades térmicas foram investigadas por calorimetria exploratória diferencial e análise dinâmico-mecânica. As densidades de ligações cruzadas foram calculadas pelos experimentos de intumescimento no equilíbrio utilizando a teoria de Flory-Rehner. Para se estudar modificações nas propriedades mecânicas foram feitos ensaios de resistência à tração. Os resultados dos experimentos mostraram que para doses até 500 kGy, numa taxa de dose de 22,61 kGy/s, em presença de ar, a poliamida-6 reciclada reticula pelo processo de formação de microredes. Para doses de 600 a 1000 kGy, predomina o processo de degradação.

Keywords: electron beam, crosslinking, recycled polyamide-6.

I. INTRODUÇÃO

Os estudos do efeito da radiação de alta energia em materiais se iniciaram em 1930 e foram motivados pela possibilidade da vulcanização da borracha. Grandes mudanças produzidas nas propriedades de plásticos e elastômeros, estimularam investigações mais cuidadosas envolvendo o efeito da radiação em polímeros^[1].

A radiação ionizante pode ser definida como aquela que tem energia suficiente para converter, pelo menos, um átomo eletronicamente neutro ou uma molécula em um par de íons. A energia depositada por estas radiações é tão localizada e relativamente alta, que uma espécie molecular pode ser quebrada e, possivelmente reconfigurada, depois de um curto intervalo de tempo. Esta é a base físico-química do uso de radiação ionizante em pesquisas com polímeros^[2]. As modificações ocorridas nas moléculas poliméricas podem resultar na reticulação ou na cisão das cadeias poliméricas, que são processos simultâneos e concorrentes, e cuja preponderância de um ou de outro depende, principalmente, da dose de radiação com que foi tratado o material^[3]. O processo de reticulação introduz ligações cruzadas, ou seja, ligações entre moléculas lineares produzindo polímeros tridimensionais com massa molar (M_n) alta. Com o aumento da reticulação, aumenta o

intercruzamento entre as moléculas e a estrutura do polímero se torna mais rígida^[3]. As propriedades dos polímeros após a reticulação dependem muito pouco da estrutura química, mas se tornam função da densidade de reticulação na estrutura molecular. Uma das propriedades básicas desta estrutura molecular intercruzada é o decréscimo da solubilidade. Os pontos de formação de ligações cruzadas induzidos por radiação ionizante são aleatórios^[4]. O grau de reticulação é proporcional à dose absorvida, taxa de dose e independe da intensidade da radiação^[5].

Neste trabalho as irradiações das amostras foram realizadas com feixe de elétrons proveniente de um acelerador linear de elétrons.

A irradiação com feixe de elétrons começou a ser utilizada na década de 50, mas somente nos últimos 10 anos vem se desenvolvendo com mais ênfase^[4].

A utilização de acelerador de elétrons como fonte de radiação oferece vantagens em relação a fontes de radioisótopos. Estas vantagens podem ser resumidas no custo operacional baixo e na produção de feixe de energia alta (permitindo que filmes e outros materiais de espessura fina sejam processados em alta velocidade). A segurança que um acelerador de elétrons oferece é uma vantagem

adicional, quando a máquina aceleradora de elétrons está desligada não há radiação residual^[6].

A poliamida-6 é um polímero sintético obtido da caprolactama (sólido branco cristalino, ponto de fusão de 70°C) tanto em processos contínuos como em bateladas. Devido a sua massa molar alta, faz parte dos polímeros denominados “altos polímeros”. É um termoplástico de cadeia longa e que possui os grupos amida (-CONH-) como unidade química de repetição. Devido a sua alta performance, a poliamida-6, também conhecida como nylon-6, é um dos mais importantes termoplásticos de engenharia. Tem uma ampla aplicação nas suas muitas formas e substitui o metal em componentes e conexões que necessitam de excelentes propriedades mecânicas, químicas e físicas.

O objetivo deste trabalho é caracterizar a poliamida-6 reciclada irradiada com feixe de elétrons, com a finalidade de estudar o efeito da radiação sobre as propriedades deste material.

II. MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado com a resina virgem de poliamida-6 fornecida pela Radiciplastic Ltda. com índice de fluidez do fundido de 19,3g/10 min e densidade de 1,13g/cm³ (isenta de aditivos antioxidantes), a qual foi seca por 4 horas à uma temperatura de 100°C. Esta resina seca foi extrudada por três vezes consecutivas. A extrusora utilizada foi do tipo cascata 90 / 110 mm, rosca tipo universal. A temperatura de trabalho variou de 250 a 260°C.

Os corpos-de-prova de poliamida-6 para ensaios de resistência à tração foram injetados de acordo com a norma ASTM D638 e submetidos à irradiação com feixe de elétrons. As irradiações foram realizadas no acelerador de elétrons JOB 188 de energia de 0,5 a 1,5MeV e corrente de 0,1 a 25mA, do Centro de Tecnologia das Radiações (CTR) do IPEN.

Para se confirmar os dados fornecidos pela literatura sobre a predominância de degradação da poliamida-6 a partir de 500kGy^[4], optou-se por irradiar estes corpos-de-prova até a dose de 600kGy e posteriormente até a dose de 1000kGy. Assim sendo, as amostras, virgens e recicladas, foram irradiadas nas doses de 20, 60, 100, 200, 300, 500, 600, 800 e 1000kGy com feixe de elétrons de 1,5 MeV, taxa de dose de 22,61kGy/s e foram submetidas aos ensaios para caracterização deste polímero. As propriedades térmicas foram investigadas por calorimetria exploratória diferencial (DSC) e análise dinâmico-mecânica (DMA). As densidades de ligações cruzadas foram calculadas pelos experimentos de intumescimento no equilíbrio utilizando a teoria de Flory-Rehner. Para se estudar modificações nas propriedades mecânicas foram feitos ensaios de resistência à tração.

Caracterização das amostras. Os ensaios de DMA foram realizados no Laboratório Instrumental da Divisão de Química do Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE), pertencente ao Centro Técnico Aeroespacial (CTA). As amostras, cujas dimensões são de 60x8x3mm, foram presas

nas garras verticais serrilhadas do equipamento DMA-983 da TA Instruments, com torque de 6lb/in e distância entre garras igual a 15 mm, sendo posteriormente resfriadas até -70°C com nitrogênio líquido (LNC) e mantidas em isoterma por 3 minutos e aquecidas a 3°C/min até 130°C. A frequência utilizada foi de 1 Hz, amplitude de oscilação de 0,2 mm, correção de comprimento de 0,5 e constante de Poisson de 0,5.

Os ensaios de calorimetria exploratória diferencial (DSC) foram realizados no Laboratório de Análise Térmica do Centro de Tecnologia da Radiação (CTR) no IPEN, utilizando equipamentos Shimadzu DSC-50, em atmosfera dinâmica de nitrogênio puro com um fluxo de 50mL / min. Cada amostra foi submetida a três experimentos, foram aquecidas no intervalo de 25 a 270°C e utilizou-se taxa de aquecimento de 10°C / minuto; as massas das amostras foram de aproximadamente 6mg. Os ensaios de análise térmica foram realizados de acordo com a norma ASTM D3418-82^[7].

Os ensaios de tração foram realizados no Laboratório de Análise de Tensão e Deformação do CTR no IPEN, no dinamômetro da marca INSTRON (modelo 5567), com uma velocidade de ensaio de 50mm / min. Os corpos-de-prova irradiados, bem como os não irradiados, foram acondicionados por um tempo pré-determinado de 40 horas, em um ambiente com temperatura de 23 ± 2°C e umidade relativa do ar de 50 ± 5%. Foram realizados ensaios de resistência à tração em 30 amostras referentes a cada dose.

Os ensaios de intumescimento ou inchamento foram feitos de acordo com a norma ASTM D3616-88. As amostras de poliamida-6 ($\delta = 13,6 \text{ (cal/cm}^3)^{1/2}$), após a irradiação, foram colocadas na estufa à 50°C por 3 dias e posteriormente, pesadas e imersas em ácido fórmico ($\delta = 12,1 \text{ (cal/cm}^3)^{1/2}$) por 72 horas. O solvente foi removido e as amostras intumescidas foram pesadas. O intumescimento foi realizado a temperatura ambiente e na ausência de luz^[8].

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentados os resultados das temperaturas de transição vítrea obtidos por DMA das amostras de poliamida-6 virgem e reciclada, irradiadas nas doses de 20, 60, 100, 200, 300, 500 e 600kGy.

As temperaturas de transição vítrea das amostras virgens e recicladas, não irradiadas e irradiadas a 20kGy, não variaram, provavelmente porque esta dose é muito baixa e não provoca modificações na estrutura da molécula polimérica.

TABELA 1. Temperaturas de transição vítrea (Tg) das amostras de poliamida-6 virgem e reciclada, não irradiadas e irradiadas nas doses de 20, 60, 200, 300, 500 e 600kGy.

Dose (kGy)	Amostra Virgem Tg (°C)	Amostra Reciclada Tg (°C)
0	71,8	72,7
20	71,5	72,6
60	51,5	75,6
100	71,8	75,5
200	71,3	75,0
300	71,4	77,0
500	74,2	81,8
600	73,2	76,4

As amostras virgens irradiadas a 60kGy apresentaram um decréscimo significativo na Tg, que pode ser atribuído à presença de umidade na amostra. Na Figura 1 são apresentadas as curvas tan δ da amostra de poliamida-6 virgem irradiada a 60kGy e submetidas a dois aquecimentos. As amostras foram resfriadas até -70° C, mantidas em isoterma por 5 min, aquecidas a 3°C/min até 130°C e depois mantidas em isoterma por 5 minutos. Posteriormente as amostras foram resfriadas até -70°C e aquecidas nas mesmas condições até 200°C.

As moléculas de água formam ligações de hidrogênio com os grupos amida, as quais diminuem a proporção de interações amida-amida, tornando as poliamidas menos rígidas. Estas ligações devem ocorrer nas regiões amorfas, tornando as cadeias mais flexíveis^[9].

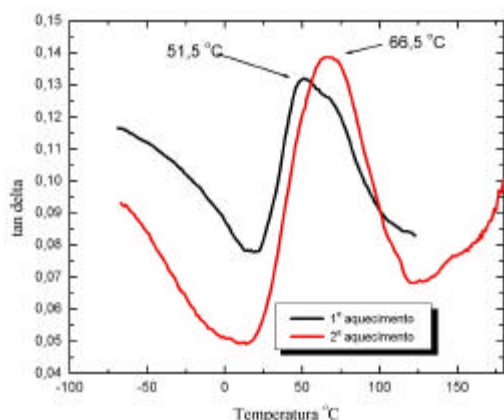


Figura 1. Curvas DMA da amostra de poliamida-6 virgem irradiada a 60kGy e submetida a dois aquecimentos.

Os valores da Tg apresentados na Tabela 1 mostram que as amostras virgens e recicladas apresentaram aumento da Tg em função do aumento da dose. As amostras de poliamida-6 reciclada irradiadas apresentaram um aumento da Tg mais acentuado a partir de 200kGy. Esta variação da Tg em função da dose pode estar relacionada com a formação de ligações cruzadas.

A calorimetria exploratória diferencial é uma técnica que permite a determinação da percentagem de cristalinidade. Os polímeros que se apresentam em cadeias distribuídas em regiões amorfas e cristalinas organizadas

entre si são denominados de materiais semicristalinos. A relação entre a região amorfa e cristalina de uma amostra de polímero é expressa em percentagem de cristalinidade ou grau de cristalinidade. A variação na percentagem de cristalinidade irá afetar diretamente diversas propriedades do material.

A percentagem de cristalinidade é calculada pela quantidade de calor absorvida na fusão. Portanto a percentagem de cristalinidade é calculada diretamente pela equação:

$$\% \text{ de cristalinidade} = \frac{\Delta H_{fA}}{\Delta H_{fA100\%}} \times 100$$

onde:

ΔH_{fA} é a variação de entalpia de fusão para a amostra de percentagem de cristalinidade desconhecida.

$\Delta H_{fA100\%}$ é a variação de entalpia de fusão para a amostra 100% cristalina.

As percentagens de cristalinidade das amostras de poliamida-6 foram calculadas com base no valor de $\Delta H_{fusão}$ de 190 J/g para poliamida-6 100% cristalina^[10].

Os resultados do cálculo da percentagem de cristalinidade das amostras virgens e recicladas estão apresentados na Tabela 2.

TABELA 2. Resultados de DSC para amostras de poliamida-6 virgem e recicladas, não irradiadas e irradiadas a diferentes doses.

Dose (kGy)	Amostra Virgem		Amostra Reciclada	
	ΔH_f (J/g)	Cristalinidade (%)	ΔH_f (J/g)	Cristalinidade (%)
0	53,7	28,3	52,0	27,4
20	53,0	26,8	55,8	29,4
100	56,6	29,8	59,2	31,2
200	54,3	28,6	52,8	27,8
300	49,9	26,3	52,4	27,6
500	49,3	26,0	50,8	26,7
600	48,3	25,4	48,9	25,7
800	48,1	25,3	48,3	25,4
1000	45,1	23,7	42,9	22,6

Os valores de percentagem de cristalinidade, tanto para as amostras virgens quanto para as recicladas, reduziram com o aumento da dose. Para as amostras virgens, irradiadas e não irradiadas, os valores variaram entre 28,3% e 23,7%; para as amostras recicladas, entre 27,4% e 22,6%.

O aumento da percentagem de cristalinidade nas amostras virgens e recicladas, correspondentes às doses de até 100kGy, está provavelmente relacionado à formação de ligações na região amorfa próximo da região cristalina.

Apesar de ter ocorrido um decréscimo da percentagem de cristalinidade, que pode ser uma indicação de que se formaram ligações cruzadas, não foi observado uma variação grande na cristalinidade.

As propriedades mecânicas das amostras de poliamida-6 irradiadas nas doses de 200, 300, 500 e 600kGy, foram avaliadas pelos ensaios de resistência à tração. Os ensaios foram realizados de acordo com a norma ASTM D638^[11]. Os corpos-de-prova utilizados foram do tipo borboleta tipo I. Os dados dos ensaios de resistência à tração das amostras de poliamida-6, virgem e reciclada, não irradiadas e irradiadas a diferentes doses estão apresentados nas Tabelas 3 e 4, respectivamente.

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

TABELA 3. Resultados dos ensaios de resistência à tração das amostras de poliamida-6 virgem não irradiada e irradiadas a 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 4 - Resultados dos ensaios de resistência à tração das amostras de poliamida-6 reciclada não irradiada e irradiadas a 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

As amostras de poliamida-6 virgem apresentaram um aumento da resistência no escoamento que é proporcional à dose, mas nas amostras recicladas, estes valores praticamente não variaram.

As amostras recicladas apresentaram um aumento significativo na resistência à tração na ruptura em função do aumento da dose. Ao comparar estes resultados com os apresentados na Tabela 3, pode-se observar que as amostras de poliamida-6 reciclada irradiadas a 500kGy, apresentaram valores similares aos valores obtidos para as amostras de poliamida-6 virgem não irradiadas. Isto pode estar relacionado com a formação de ligações cruzadas. Vale

salientar que as amostras analisadas foram obtidas do mesmo lote, processadas e armazenadas nas mesmas condições.

As amostras virgens apresentaram um decréscimo na resistência à tração na ruptura em função da dose, embora tenham se tornado mais rígidas. As poliamidas, em geral, são muito resistentes a radiação ionizante. A ocorrência de quebras de estruturas presentes nas amostras de poliamida-6 reciclada, devido ao processo de reciclagem, pode ter criado sítios que favoreceram a formação de ligações cruzadas, levando ao aumento da resistência à tração na ruptura.

As Figuras 2 e 3 apresentam as curvas de densidade de ligações cruzadas e massa molar entre ligações cruzadas, respectivamente, em função da dose de amostras de poliamida-6 virgem e reciclada. Estas curvas indicam que para doses até 500kGy, a densidade de ligações cruzadas aumenta e a massa molar média entre pontos de entrecruzamento \overline{M}_c decresce. Isso pode ser atribuído ao

aumento das ligações cruzadas e conseqüentemente, aumento da densidade de reticulação. Esta variação é mais evidente nas amostras recicladas^[12].

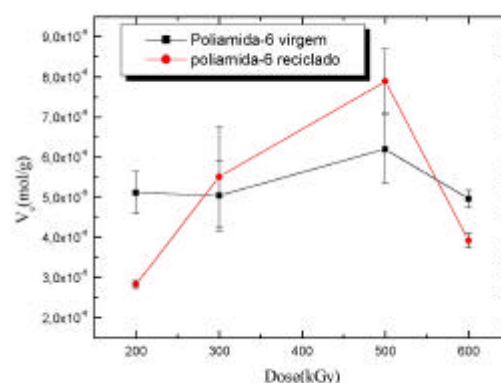


Figura 2. Curvas da densidade de ligações cruzadas em função da dose a que foram submetidas as amostras de poliamida-6 virgem e reciclada.

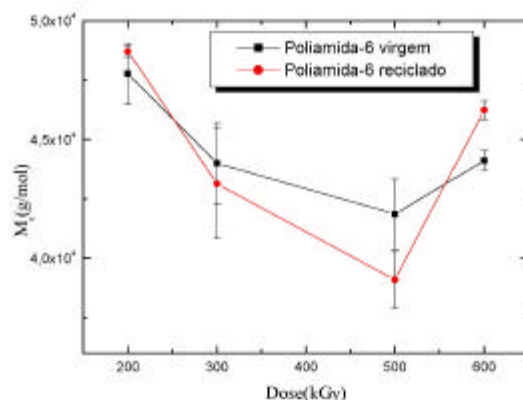


Figura 3. Curvas da massa molar média entre pontos de entrecruzamento em função da dose a que foram submetidas as amostras de poliamida-6 virgem e reciclada.

IV. CONCLUSÕES

Na Figura 4 estão representadas as curvas da percentagem de intumescimento em função da dose a que foram submetidas as amostras de poliamida-6 virgem e reciclada. Estes resultados estão de acordo com os apresentados nas Figuras 2 e 3. O decréscimo da percentagem de intumescimento significa que as cadeias poliméricas estão mais entrelaçadas, havendo portanto, a presença de ligações cruzadas.

As amostras virgens e recicladas, não irradiadas dissolveram totalmente quando foram imersas no ácido fórmico. As amostras recicladas irradiadas a 600kGy formaram um gel quebradiço, opaco e de difícil pesagem.

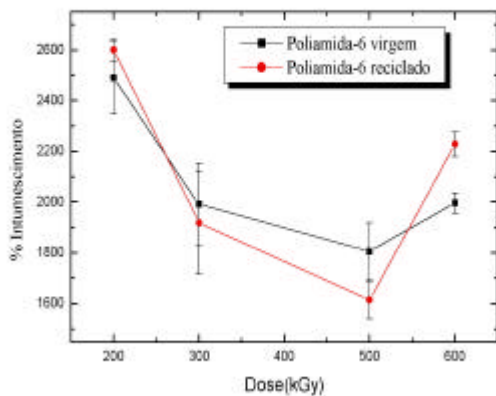


Figura 4. Curvas da percentagem de intumescimento em função da dose a que foram submetidas as amostras de poliamida-6 virgem e reciclada.

Foi realizado, posteriormente, intumescimento em triplicata, da amostra reciclada e irradiada a 1000kGy. O valor de percentagem de intumescimento maior obtido foi de 925% e a amostra se tornou muito quebradiça, tendo aparência de flocos muito pequenos. Baseado nestes resultados, pode-se concluir que irradiar poliamida-6 reciclada com doses de 600 e 1000kGy, nas taxas de dose de 22,61kGy/s, não é adequado.

Iniciou-se os ensaios para determinação de fração sol/gel, porém os resultados não foram coerentes, além das amostras formarem um gel que passa para a solução. Devido aos resultados encontrados, pode-se levantar a hipótese de que as ligações cruzadas formadas são de tamanho pequeno e o filtro utilizado para reter a fração gel está sendo ineficiente, permitindo assim, a passagem da parte reticulada para a solução.

A reticulação é um processo que favorece a formação de redes (“networks”); tais redes são grandes e geralmente chamadas de “macronetworks”. Por outro lado, no processo de reticulação, pode ocorrer a formação de “micronetwork” que são redes extremamente pequenas e que podem ser precursoras da formação de “macronetworks”^[13].

As temperaturas de transição vítrea das amostras de poliamida-6 reciclada, não irradiada e irradiada a 20kGy, não variaram, provavelmente porque esta dose é muito baixa e não provoca modificações na estrutura da molécula polimérica.

As amostras de poliamida-6 reciclada não irradiada e irradiadas apresentaram aumento da Tg em função do aumento da dose. As amostras recicladas irradiadas apresentaram um aumento da Tg mais acentuado a partir de 200kGy. Esta variação da Tg em função da dose pode estar relacionada com a formação de ligações cruzadas.

Apesar de ter ocorrido um decréscimo da percentagem de cristalinidade da poliamida-6 reciclada, que pode ser uma indicação de que se formaram ligações cruzadas, esta variação não foi grande.

Com o aumento da dose, as amostras de poliamida-6 reciclada se tornaram mais rígidas, apresentando um aumento significativo na resistência à tração na ruptura em função do aumento da dose. Quando foram irradiadas a 500kGy, apresentaram valores similares aos valores obtidos para as amostras de poliamida-6 virgem não irradiadas.

A massa molar média entre ligações cruzadas \overline{M}_c de amostras de poliamida-6 reciclada diminuiu até a dose de 500kGy sugerindo a reticulação; para a dose de 600kGy a \overline{M}_c aumentou indicando a degradação. Essa

variação da massa molar média entre ligações cruzadas foi mais evidente nas amostras recicladas. Os resultados da percentagem de intumescimento foram coerentes com os resultados representados nas curva de massa molar média entre pontos de entrecruzamentos e densidade de ligações cruzadas.

Devido aos resultados encontrados da caracterização das amostras de poliamida-6 reciclada irradiadas, pode-se sugerir que as ligações cruzadas formadas são de tamanho pequeno, portanto há formação de “micronetworks”.

Os resultados apresentados para as amostras recicladas indicaram maior tendência à formação de redes. A ocorrência de quebras de estruturas presentes nas amostras de poliamida-6 reciclada, devido ao processo de reciclagem, pode ter criado sítios que favorecem a formação dessas ligações cruzadas. Melhores resultados poderão ser obtidos com a otimização do processo de radiação (atmosfera inerte), pois as poliamidas, em geral, são muito resistentes quando irradiadas na presença de ar.

AGRADECIMENTOS

À Radiciplastics Ltda., ao Eng. Nélio Zaude da NZ Copolymer Ltda. e aos Químicos Manoel Nunes Mori e Djalma Batista Dias do IPEN-CNEN/SP.

REFERÊNCIAS

- [1] BOLT, R.O.; CARROL, J.G. *Radiation Effects on Organic Materials*. New York: Academic Pr, 1963.
- [2] ABRAMYAN, E.A. *Industrial Electron Accelerators and Applications*. Institute for High Temperatures, USSR: Academy of Sciences, Hemisphere Publishing Corporation, London, 1988.
- [3] Encyclopedia of Polymer Science Engineering, v.13, 1988.
- [4] CLEGG, D.W.; COLLYER A.A. *Irradiation Effects on Polymers*. London: Elsevier Applied Science, 1991.
- [5] ROSA, M.C.F. *Preparação de compostos plásticos-celulósicos utilizando radiação gama de alta energia*.1978. Dissertação (Mestrado) IEA-DT-069 - Instituto de Energia Atômica, São Paulo.
- [6] SPINKS, J.W.T. *In introduction to radiation chemistry*.3.ed.New York: John Wiley Sons, Inc., 1990.
- [7] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard test method for transition temperatures of polymers by thermal analysis**. (ASTM D 3418).
- [8] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *Annual Book of Standard*. (ASTM D3616-88).
- [9] MARTIN, A.R.; SIMAL, A.L. DMTA e DSC de fibras de Nylon 6 e Nylon 6,6 submetidas à tratamento térmico. In: 12º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIAS DOS MATERIAIS, 1996, Águas de Lindóia. *Anais...* Águas de Lindóia: 1996. p. 1330-1333.
- [10] KAISERSBERGER, E.; KNAPPE, S.; MÖHLER, H.; RAHNER, S. *TA for Polymer Engineering: DSC, TG, DMA, TMA*. Selb-Würzburg: Netzsch Annual for Science and Industry, 1994. v. 1.
- [11] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard test method for tensile properties of plastics**. (ASTM-D 368).
- [12] M.C. EVORA; L.C. LOPÉRGALO; H. WIEBECK; L.G. ANDRADE E SILVA, Ionizing Radiation effects on crosslinking density of recycled polyamide-6. In: 12th International Meeting on Radiation Processing, Conference Programme and Abstracts(www.atrilei.com/imrp) Abstracts, Session III, P08, IMRP 3-151), March 25-30, France, 2001, p. 195.
- [13] DUSEK, K.; DUSKOVÁ-SMRCKOVÁ, M. Network structure formation during crosslinking of organic coating systems. **Progres. Polym. Sci.**, v. 25, p. 1215-1260, 2000.

ABSTRACT

This work had the objective to characterize recycled polyamide-6 irradiated by a 1.5 MeV electron beam for different doses. The recycling process needs special attention, because successive recycling cycles promote changes in several properties of the material, as structures break down, decrease of molecular weight, increase of melting index and decrease of mechanical resistance. The thermal properties of the recycled polyamide-6 were investigated by DSC and DMA measurements. The density of crosslinking was calculated through the equilibrium swelling experiments, using the Flory-Rehner theory. The mechanical properties by the stress strain. From the experimental results, it was shown that for doses up to 500 kGy, at 22.61 kGy/s dose rate, in the presence of air, the recycled polyamida-6 undergoes the crosslinking process through micronetwork formation. For doses from 600 to 1000 kGy, the degradation process is predominant.