

COMPORTAMENTO FÍSICO-QUÍMICO DE UMA MISTURA LDPE/HDPE IRRADIADA: EFEITO DA ATMOSFERA

João Carlos Miguez Suarez ⁽¹⁾

Claudia Maria Chagas. Bonelli ⁽²⁾

Amal Elzubair Eltom ⁽³⁾

Eloisa Biasotto Mano ⁽⁴⁾

Resumo

O polietileno, de baixa (LDPE) e de alta densidade (HDPE), é o termoplástico mais utilizado pela indústria, e a mistura de seus diversos tipos permite a obtenção de produtos com uma adequada combinação de propriedades. Estes produtos podem ser utilizados em diversas aplicações onde podem estar expostos às radiações de alta energia. No presente trabalho foi estudado, por espectroscopia no infravermelho e por calorimetria de varredura diferencial, o comportamento físico-químico de uma mistura com 75/25 LDPE/HDPE após irradiação gama, ao ar e no vácuo. As temperaturas de fusão e de cristalização dos componentes da mistura e a cristalinidade total do material diminuem com o aumento da dose de radiação e, dependendo da dose e da atmosfera, pode ocorrer co-cristalização. Os resultados mostraram que o processo de irradiação provoca preferencialmente degradação oxidativa no material irradiado ao ar e cisão de cadeias na irradiação no vácuo.

Palavras-chave: Mistura polimérica; Polietileno de baixa densidade; Polietileno de alta densidade; Irradiação gama.

Physical-Chemical Behavior of an Irradiated LDPE/HDPE Blend: Atmosphere Effect⁽¹⁾

Abstract

Low (LDPE) and high-density (HDPE) polyethylene are the thermoplastic materials with the largest industrial production and their blend yields products with desirable properties. These products can be used in many applications where exposure to high-energy radiation is expected. In the present paper the physicochemical behavior of a 75/25 LDPE/HDPE blend, after gamma irradiation, in air and in vacuum, has been investigated by infrared spectroscopy and differential scanning calorimetry. The melting and crystallization temperatures of the blend components and the total crystallinity of the mixture decrease as the radiation dose increases and, depending on the dose and atmosphere, cocrystallization may occur. The experimental results show that the irradiation process induces preferentially oxidative degradation in the air irradiated material and chain scission in the vacuum irradiation.

Key-words: Polymeric blend; Low-density Polyethylene; High-density polyethylene; Gamma Irradiation.

I INTRODUÇÃO

A mistura de polímeros - plásticos e borrachas - tem permitido o desenvolvimento de materiais com melhor desempenho, que são empregados, em diversas especialidades da engenharia, como substitutos de metais e de outros materiais. Os processos utilizados na obtenção dessas novas misturas apresentam, em com-

paração aos novos métodos de síntese de polímeros, um custo menor e uma maior velocidade de produção. Em conseqüência, a obtenção de misturas poliméricas é uma adequada alternativa tecnológica para suprir a necessidade de novos materiais.

Os diversos tipos de polietilenos são usados em muitas aplicações, tais como instalações nucleares, linhas de transmissão, equipamentos de irradiação, sistemas de esterilização, aplicações médicas e odontológicas etc, onde podem ser expostas às radiações de alta energia. As radiações podem, também, ser utilizadas

⁽¹⁾ Sócio da ABM, Engenheiro e Doutor em Ciências, Professor Emérito, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ.

⁽²⁾ Engenheiro e Doutor em Ciências, Pesquisador, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ

⁽³⁾ Físico e Doutor em Ciências, Pesquisador, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ.

⁽⁴⁾ Professor Emérito, Instituto de Macromoléculas Professora Eloisa Mano, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ

para modificar a estrutura física e química dos polímeros. Os autores do presente trabalho têm investigado os efeitos da irradiação gama nas propriedades mecânicas, físicas e químicas, bem como nos mecanismos de fratura e na morfologia, de outros tipos de polietilenos.⁽¹⁻¹¹⁾

Neste trabalho é estudado o efeito da exposição à radiação gama, ao ar e no vácuo, em uma mistura de polímeros virgens, LDPE e HDPE na proporção 75/25. A caracterização da mistura, antes e após irradiação, foi realizada por meio de espectroscopia no infravermelho (FTIR) e de calorimetria de varredura diferencial (DSC), discutindo-se a influência da atmosfera e da dose de radiação sobre o comportamento físico-químico da mistura.

2 EXPERIMENTAL

Foi estudada uma mistura de polietilenos virgens (75% de LDPE e 25% de HDPE) preparada a partir de matéria-prima produzida no Brasil. As propriedades dos materiais empregados, fornecidos por Poliolefinas S.A (LDPE) e Polialden Petroquímica S.A. (HDPE), estão apresentadas na Tabela I.

Os materiais, sob a forma de grânulos (*pellets*) isentos de aditivos, foram misturados “como recebido”, sem qualquer tipo de tratamento adicional. A mistura foi extrusada a 110°C, resfriada em água na temperatura ambiente e cortada em grânulos, que foram moldados por compressão a 200°C sob 22,2 kN de pressão na forma de placas quadradas com 150mm de lado e 2,5mm de espessura. Amostras, com dimensões de 12 mm x 50 mm x 2,5 mm, foram cortadas das placas e irradiadas em um equipamento industrial dotado de uma fonte de ⁶⁰Co, na temperatura ambiente, no ar e no vácuo. A irradiação gama foi realizada com uma taxa de dose de 2,5 kGy/h e as doses totais de radiação recebidas foram 250, 500, 1000, 1500 e 2000 kGy. Na irradiação no vácuo as amostras foram encerradas em cápsulas de vidro que foram seladas, após ser atingido um vácuo de 10⁻¹ mm de Hg.

A espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) foi executada em um espectrômetro Perkin-Elmer, modelo 1720x, na região entre 4000-400 cm⁻¹, através da técnica de refletância interna múltipla (MIR), empregando-se um cristal KRS-5 a 45° e um detector de TGS, na temperatura ambiente. Os espectros foram obtidos com 100 varreduras na resolução de 2cm⁻¹, em amostras de mesma espessura, e processados em um

Tabela I. Propriedades dos componentes da mistura 75/25 LDPE/HDPE (12,13)

Componente	Densidade	Peso molecular ponderal médio (\bar{M}_w)	Ponto de fusão (°C)	MFI (g/10min)
LDPE (PB 680/59)	0,92	86900	108	2,7
HDPE (BT 0003)	0,95	84800	129	0,3

gerenciador de dados Perkin-Elmer (IRDM). Para o monitoramento da degradação causada pela exposição à radiação gama, na mistura de polietilenos, foi determinado o índice de carbonila, IC, calculado por uma relação entre as absorvâncias referentes, respectivamente, à vibração por estiramento C=O (1720 cm⁻¹) e à deformação angular C-H (1463 cm⁻¹).^(7,9)

A calorimetria de varredura diferencial (DSC) foi realizada em um equipamento Perkin-Elmer, modelo DSC-7, dotado de um software TAS-7 e de um sistema computadorizado de análise Perkin-Elmer PE-7700 e calibrado com índio ($T_m = 156,6^\circ\text{C}$ e $\Delta H_f = 6,8 \text{ cal/g}$). Foram retiradas amostras de cada grupo de placas, com peso variando entre 10mg e 15mg, que, após colocação em cápsulas de alumínio, foram submetidas a um duplo ciclo de aquecimento/resfriamento na velocidade de 20°C/min em uma faixa de temperaturas que variou de -10°C a 170°C, em uma atmosfera de nitrogênio. Foram determinadas, no segundo ciclo, as temperaturas de fusão (T_m) e de cristalização (T_c) de cada componente e o calor de fusão total (ΔH_m) da mistura, sem considerar a separação entre os picos de cada componente.^(1,14) A cristalinidade da mistura, X_c , foi calculada dividindo-se o calor de fusão total, medido no DSC, pelo calor de fusão do polietileno perfeitamente cristalino e igual a 289,3 J/g.⁽¹⁵⁾

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Espectroscopia no Infravermelho (MIR/FTIR)

Os espectros MIR/FTIR da mistura 75/25 LDPE/HDPE, antes e após irradiação com raios gama, ao ar e no vácuo, foram empregados para a interpretação das modificações estruturais apresentadas pela mistura depois da irradiação.

A intensidade de duas vibrações típicas do polietileno, consideradas como padrões internos do polímero, as bandas de deformação angular no plano, simétrica (δ_s) (*scissoring*) e assimétrica (δ_{as}) (*rocking*), provenientes do grupo metilênico (CH₂) e que ocorrem, respectivamente, em 720 cm⁻¹ e 1463 cm⁻¹, foram utilizadas para a análise dos espectros.^(16,17) A variação observada na transmitância dessas bandas características, em função da dose

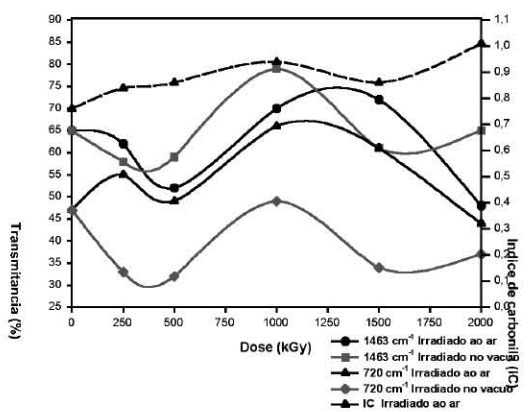


Figura 1. Variação da transmitância em bandas características e do índice de carbonila na mistura 75/25 LDPE/HDPE, em função da atmosfera e da dose de radiação.

de radiação gama, está apresentada na Figura 1, mostrando que o grupo metilênico é modificado pela irradiação. As alterações, independentemente da atmosfera, ar ou vácuo, acontecem ao longo de todo o período de irradiação e variam com a dose de radiação. Todavia, o material irradiado ao ar não apresenta o mesmo

comportamento que o irradiado no vácuo. Verifica-se que as bandas de 720 cm^{-1} e 1463 cm^{-1} , no material irradiado ao ar com doses inferiores a 500kGy, apresentam diferentes comportamentos, enquanto que as do irradiado no vácuo mostram a mesma variação. Isto indica que a atmosfera de irradiação influencia o processo de degradação do polímero. A reticulação tem início, provavelmente, com a cisão das ligações C-H, de acordo com a observada variação inicial, para doses inferiores a 250kGy, da transmitância^(1,5,6). Observa-se, ainda, que as bandas, na faixa de doses a partir de 500kGy, apresentam o mesmo tipo de comportamento. A variação significativa observada na transmitância, na faixa de dose entre 500kGy e 1500kGy, pode estar associada ao aparecimento de regiões específicas na mistura, pois cada componente recristaliza conforme uma distribuição característica, em face da cristalização ocorrer em mais de um estágio e em diferentes temperaturas.^(1,18)

Na mistura irradiada ao ar observa-se o aparecimento de uma banda, próxima de 1700 cm^{-1} , que pode ser atribuída à formação do grupamento carbonila (C=O *stretching vibrations*).^(9,19,20) O índice de carbonila, medido pela razão A_{1720} / A_{1463} , está apresentado, também, na Figura 1, e mostra que o rompimento de ligações que unem as ramificações à cadeia principal, na mistura irradiada ao ar, ocorreu devido à degradação oxidativa do polietileno. A mistura irradiada no vácuo não apresenta a formação do radical carbonila, indicando que, em face da irradiação ser realizada na ausência de ar, não ocorre oxidação no material.

3.2 Calorimetria de Varredura Diferencial

A análise térmica por DSC permitiu estudar o comportamento da mistura virgem, antes e após irradiação ao ar e no vácuo, em função das temperaturas de fusão e de cristalização e da

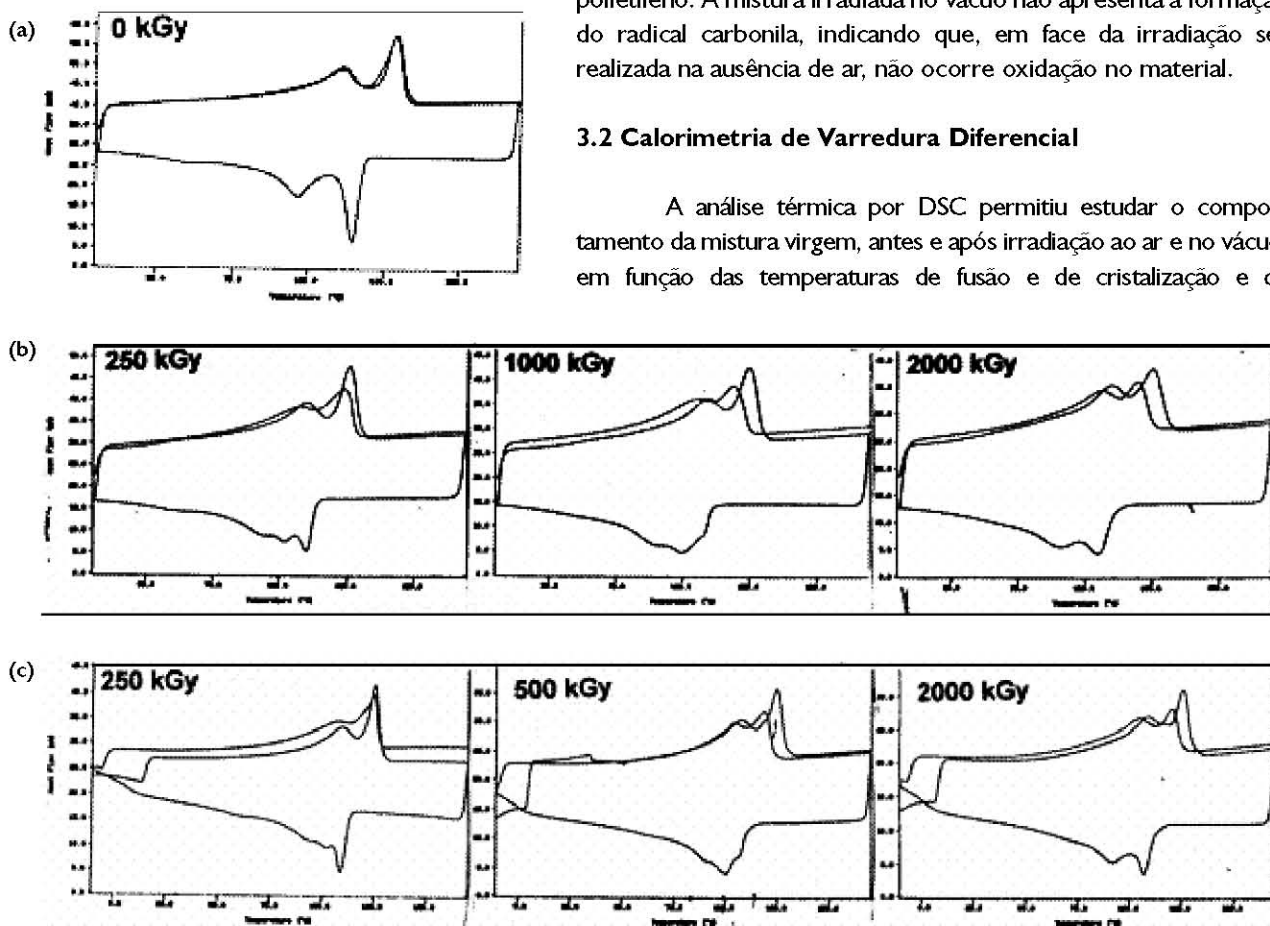


Figura 2. Curvas calorimétricas típicas da mistura 75/25 LDPE/HDPE: (a) não irradiada (0 kGy); (b) irradiada ao ar; (c) irradiada no vácuo.

Tabela 3. Temperatura de fusão (T_m), temperatura de cristalização (T_c) e cristalinidade (X_c) da mistura 75/25 LDPE/HDPE, antes e após irradiação, ao ar e no vácuo, na 2a varredura do DSC.

Dose (kGy)	Irradiação ao ar					Irradiação no vácuo				
	T_m LDPE (°C)	T_m HDPE (°C)	T_c LDPE (°C)	T_c HDPE (°C)	X_c (%)	T_m LDPE (°C)	T_m HDPE (°C)	T_c LDPE (°C)	T_c HDPE (°C)	X_c (%)
0	111	129	96	115	43	111	129	96	115	43
250	107	124	102	110	40	106	124	102	109	40
500	105	121	101	109	38	103	118	100	-	35
1000	105	120	100	-	36	105	119	87	104	32
1500	105	120	87	105	36	105	120	88	106	31
2000	106	120	90	105	35	105	121	92	107	32

Observação: a mistura irradiada com 1000kGy ao ar ou com 500kGy no vácuo, apresenta apenas um pico bem definido de recristalização (Figura 2).

cristalinidade. Curvas calorimétricas típicas da mistura, não irradiada e irradiada ao ar e no vácuo, estão apresentadas na Figura 2.

A irradiação gama produz, simultaneamente, cisão das cadeias e reticulação, o que causa modificações no formato e na posição das endotermas de fusão e das exotermas de recristalização. Verifica-se que as curvas calorimétricas mostram duas endotermas de fusão com intensidades diferentes, na região de 100 - 130°C. O pico de mais alta temperatura está associado à fusão das lamelas ricas em HDPE e o de mais baixa corresponde aos cristais ricos em LDPE. As misturas de LDPE e HDPE podem apresentar os pontos de fusão característicos de cada componente, sugerindo a co-existência de dois tipos de cristais e uma compatibilidade interfacial.^(4,21) As temperaturas de fusão da mistura não irradiada (111/129°C), determinadas na primeira varredura, podem ser consideradas iguais às dos polímeros utilizados na fabricação do mesmo, LDPE 680/59 (108°C)⁽¹²⁾ e HDPE BT003 (127°C),⁽¹³⁾ face à precisão do equipamento.

A Tabela 3 apresenta as propriedades térmicas, temperatura de fusão (T_m), temperatura de cristalização (T_c) e cristalinidade total (X_c) da mistura, antes e após irradiação, determinadas na segunda varredura do DSC. As temperaturas de fusão, de uma maneira geral, diminuem com o aumento da dose de radiação. Pode ser observado que a temperatura de fusão no segundo aquecimento é inferior à do primeiro aquecimento, pois a segunda varredura é realizada em um material recristalizado. Verifica-se, com o aumento da dose de radiação gama, que a temperatura de fusão do HDPE apresenta, em relação à do LDPE, uma diminuição mais pronunciada na temperatura de fusão, sugerindo que as regiões lineares são mais afetadas pela irradiação. Observa-se, na segunda varredura, que, à medida que cresce a dose de radiação, as endotermas apresentam uma tendência para ficarem menos definidas e com temperaturas de fusão mais próximas, indicando que está ocorrendo, provavelmente, uma maior miscibilidade entre o LDPE e o HDPE.⁽²¹⁾

As curvas calorimétricas da mistura mostram, no resfriamento, a ocorrência de duas exotermas, o que é indicativo de um comportamento bi-modal; a recristalização está ocorrendo em mais de uma etapa, cada uma delas associada a regiões que

cristalizam segundo a uma distribuição própria. Pequenas inflexões nas curvas sugerem que outros cristais, pequenos e imperfeitos, podem estar sendo formados. Uma perfeita determinação das temperaturas de recristalização nem sempre é possível pois, dependendo da atmosfera e da dose na irradiação gama, a zona das exotermas não apresenta uma boa definição de seus limites, já que o equipamento de DSC não consegue separar, com precisão, os picos de temperatura. Assim, na mistura irradiada ao ar na dose de 1000kGy e na irradiada ao vácuo com 500kGy verifica-se a ocorrência de uma exoterma difusa que, aparentemente, apresenta três picos, sendo que apenas o do meio está mais bem definido. A origem desse pico intermediário pode ser devido à formação de cristaltos híbridos de polietileno linear e ramificado que se formaram na irradiação.^(1,22)

As propriedades de uma mistura polimérica dependem de seus componentes, em especial daquele que existe em maior proporção e que funciona como a matriz da mistura. A irradiação gama da mistura 75/25 LDPE/HDPE vai modificar, principalmente, o LDPE, que é o componente mais ramificado e menos cristalino. A cisão das cadeias, que acontece ao longo da irradiação gama, reduz as ramificações do polímero e, em consequência, o entrelaçamento das suas cadeias. As cadeias resultantes, mais curtas, podem empacotar mais facilmente levando a uma estrutura macromolecular mais semelhante. A irradiação, ao tornar a mistura mais homogênea, produz uma maior interação entre os seus componentes, o que leva a uma maior miscibilidade entre os mesmos. Em consequência, há possibilidade, durante o ciclo térmico que acontece no calorímetro, da ocorrência de uma

cocristalização entre os componentes da mistura, aparentemente, devido à incorporação parcial dos segmentos lineares do HDPE nas regiões metilênicas mais lineares do LDPE, permitindo que os segmentos ramificados, na sua maioria, cristalizem separadamente em temperaturas mais baixas. Observa-se que o componente de ponto de fusão mais elevado, o HDPE, apresenta uma redução mais acentuada na temperatura de cristalização, confirmando a possibilidade de ocorrência de uma cocristalização à medida que aumenta a dose de radiação.

A mistura irradiada ao ar apresenta, desde a mais baixa dose utilizada (250kGy), modificações na fase cristalina e na cristalinidade, enquanto que, no material irradiado no vácuo, as maiores perturbações ocorrem nas doses mais elevadas, a partir de 1000kGy. O aumento observado na temperatura de cristalização, na faixa de dose entre 250 e 500 kGy, pode ser resultante, em parte, da liberação da energia de irradiação armazenada no cristal do polímero, localizada, principalmente, na interface entre a fase cristalina e a fase amorfa, devido ao aquecimento no ensaio de DSC⁽²³⁾. A cristalinidade total diminui, também, com o aumento da dose de radiação, observando-se, para o material irradiado no vácuo, uma maior queda na cristalinidade. Este comportamento pode ser explicado pelo aumento na quantidade de defeitos (reticulações) no interior da rede cristalina, produzindo grande distorção e, em consequência, redução na cristalinidade. Na faixa de dose

entre 1000 e 2000 kGy a cristalinidade tende a se estabilizar, com uma pequena tendência de aumento. A cisão das cadeias, nesta faixa de doses, predomina sobre a reticulação, tornando possível a re-organização dos segmentos macromoleculares e produzindo, em consequência, uma diminuição progressiva no comprimento das cadeias moleculares, à medida que aumenta o tempo de exposição aos raios gama.^(9,24)

4 CONCLUSÕES

Foram estudadas as modificações que ocorrem em uma mistura de polietilenos virgens, 75/25 LDPE/HDPE, após sua exposição à radiação gama, ao ar e no vácuo. A análise dos resultados experimentais permite concluir que:

1. a mistura apresenta um comportamento bi-modal, tanto no aquecimento, como no resfriamento, conforme mostrado pelas curvas calorimétricas obtidas no ensaio de DSC;
2. as temperaturas de fusão e de cristalização, em virtude da ocorrência de um processo de interação entre os dois componentes da mistura durante a irradiação gama diminuem com o aumento da dose de radiação;
3. a irradiação gama ao ar da mistura produz degradação oxidativa, o que modifica o comportamento térmico do material; e
4. a mistura irradiada no vácuo não apresenta oxidação, mas as suas características físico-químicas são, também, modificadas.

Agradecimentos

Os autores agradecem às agências financiadoras FAPERJ, CNPq, CAPES e CEPG/UFRJ e, pelo fornecimento dos materiais, à Poliolefinas S.A. (LDPE) e à Polialden Petroquímica S.A. (HDPE).

REFERÊNCIAS

1. MIGUEZ SUAREZ, J.C.; MANO, E.B. Degradation of recycled polyethylenes blend under gamma-radiation. In: International Macromolecular Colloquium, 8., 1998, Canela. **Anais...** Porto Alegre: UFRGS, 1998. p. 175-176. 1 CD.
2. MIGUEZ SUAREZ, J.C.; MANO, E.B. Micromecanismos de fratura em polietileno reciclado. In: Congresso Anual da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 54., 1999, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABM, 1999. p. 26-35. 1 CD.
3. MIGUEZ SUAREZ, J.C.; MANO, E.B. Análise fratográfica em plástico reciclado irradiado. In: Interamerican Electron Microscopy Congress, 5., 1999, Margarita, Venezuela. **Memories...** Caracas: 1999. p. 4-5. 1 CD.
4. MARTINS, A.F.; MIGUEZ SUAREZ, J.C.; MANO, E.B. Produtos poliolefinicos reciclados com desempenho superior aos materiais virgens correspondentes. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 9, n. 4, p. 27-32, out.-dez. 1999.
5. MIGUEZ SUAREZ, J.C.; MANO, E.B.; BIASI, R.S. Structural changes of high-density polyethylene by gamma-irradiation. In: Latin American Symposium on Polymers - SLAP 2000, 7., 2000, Havana, Cuba. **Book of Abstracts...** Havana: 2000. p. 308. 1 CD.
6. MIGUEZ SUAREZ, J.C.; MANO, E.B. Efeito da radiação gama na estrutura molecular do polietileno de baixa densidade. In: Simpósio Matéria 2000 - NOTIMAT 2000, 2000, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: UFRJ, 2000. p. 47.
7. MIGUEZ SUAREZ, J.C.; MANO, E.B. Micromecanismos de fratura em polietileno de altíssimo peso molecular. In: Congresso Anual da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais - Internacional, 56., 2001, Belo Horizonte. **Anais...** São Paulo: ABM, 2001. p. 1869-1877. 1 CD.

8. MIGUEZ SUAREZ, J.C.; E.E.C. MONTEIRO; MANO, E.B. Thermal behavior of gamma-irradiated low density polyethylene. In: Congresso Brasileiro de Polímeros e IX International Macromolecular Colloquium, 6., 2001, Canela. **Anais...** Porto Alegre: UFRGS, 2001. p. 793-795. 1 CD.
9. MIGUEZ SUAREZ, J.C.; MANO, E.B. Influência da radiação gama na tenacidade de misturas de polietilenos recicladados. In: Congresso Anual da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais – Internacio-nal, 57., 2002, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABM, 2002. p. 1069-1079. 1 CD.
10. FRANCESCHI, F.; MIGUEZ SUAREZ, J.C. Efeito da irradiação gama no polietileno de altíssimo peso molecular (UHMWPE), In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais (CBECIMAT), 15., 2002, Natal. **Anais...** Natal: UFRN, 2002. p. 2285-2291. 1 CD.
11. MIGUEZ SUAREZ, J.C.; BONELLI, C.M.C.; ELZUBAIR, A. The effect of gamma irradiation on the crystallinity of high-density polyethylene. **Acta Microscopica**, v. 12, Sup. C, p. 133-134, 2003.
12. POLIOLEFINAS S.A. Catálogo comercial. São Paulo, 2002.
13. POLIALDEN PETROQUÍMICA S.A. Catálogo comercial. S.n.t.
14. VIKSNE, A.; ZICANS, j.; KALKIS, V.; BLEZKI, A.K. Heat-shrinkable films based on polyolefin waste. **Die Angewandte Macromoleculare Chemie**, v. 249, p. 151-157, 1997.
15. WUNDERLICH, B.; CORMIER, C.M. The heat of fusion of polyethylene. **Journal of Polymer Science Part A-2**, v. 5, p. 987-988, 1967.
16. SILVERSTEIN, R.M.; BASSLER, G.C.; MORRIL, T.C. **Identificação espectrométrica de compostos orgânicos**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1979. p. 74.
17. POUCHERT, C.J. Polymer. In: **The Aldrich library of FT-IR spectra**. Milwaukee, Winconsin: Aldrich Chemical Company, Inc., 1985. v. 2, p. 1157.
18. MIGUEZ SUAREZ, J.C.; MANO, E.B; PEREIRA, A.P. Thermal behavior of gamma-irradiated recycled polyethylene blends. **Polym. Deg. Stab.**, v. 69, p. 217-222, 2000.
19. DEVRIES, K.L.; SMITH, R.H.;FANCONI, B.M. Free radicals and new end groups resulting from chain scission: I. g - Irradiation of polyethylene. **Polymer**, v. 21, n.8, p. 949-957, Aug. 1980.
20. OHNISHI, S.-I; SUGIMOTO, S.-I; NITTA, I. Electron spin resonance study of radiation oxidation of polymers. IIIA. Results for polyethylene and some general remarks. **Journal of Polymer Science**, v. 37A, p. 605-616, 1963.
21. DONATELLI, A. A. Characterization of multicomponent polyethylene blends by differential scanning calorimetry. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 23, p. 3071-3076, 1979.
22. MARTINEZ-SALAZAR, J.; CUESTA, M.S. On phase separation in high- and low-density polyethylene blends: I. Melting-point depression analysis. **Polymer**, v. 32, p. 2984-2992, 1991.
23. REGO LOPEZ, J.M.; CONDE BRANA, M.T.; TERSELIUS, B.; GEDDE, U.W. Crystallization of binary linear polyethylene blends. **Polymer**, v. 21, p. 949-957, 1980.
24. HUNG, L.C.; RIELLA, H.G. Study of effects of gamma radiation on polyethylene burned with/without ion exchange by DSC. In: International Macromolecular Colloquium, 6., 1994, Canela. **Anais...** Porto Alegre: UFRGS, 1994. v. 1. p. 26-27.
25. GOLDMAN, M.; GRONSKY, R.; RANGANATHAN, R.; PRUITT, L. The effects of gamma radiation sterilization and ageing on the structure and morphology of medical grade ultra high molecular weight polyethylene. **Polymer**, v. 37, p. 2909-2920, 1996.

Recebido em: 15/02/05

Aceito em: 20/06/05

Proveniente de: CONGRESSO ANUAL DA ABM - INTERNACIONAL, 59., 2004, São Paulo - SP. São Paulo : ABM, 2004.