

**ESTUDO DO EFEITO DA RADIAÇÃO NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS, DE FLAMABILIDADE E DE FIO INCANDESCENTE DA POLIAMIDA 6.6 COM E SEM REFORÇO DE FIBRA DE VIDRO**

Waldir Pêdro Ferro e Leonardo Gondim de Andrade e Silva

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN-CNEN/SP  
Av. Lineu Prestes 2.242  
05508-900 Butantã, São Paulo-SP, Brasil  
wpferro@aol.com**RESUMO**

A Indústria Automotiva e de Componentes Elétricos e Eletrônicos, cada vez mais utiliza os Plásticos de Engenharia como alternativa viável à redução de custos e aumento de produtividade sem perda de qualidade. Neste cenário, a Poliamida 6.6 tem papel de destaque devido a sua alta resistência mecânica, térmica e química. O objetivo deste trabalho é apresentar os resultados obtidos em ensaios mecânicos de Resistência à Tração, Resistência à Flexão e de Resistência ao Impacto Izod com Entalhe e ensaios térmicos de Flamabilidade (da Indústria Automotiva e de Componentes Eletrônicos) e de Fio Incandescente (da Indústria de Componentes Elétricos) da Poliamida 6.6 com e sem reforço de fibra de vidro, irradiadas em Acelerador de Elétrons a diferentes doses.

Keywords: polyamide 6.6, irradiation, electron beams, glow wire, flamability.

**I. INTRODUÇÃO**

É fato que o mercado consumidor está cada vez mais exigente e isso faz com que normas sejam elaboradas com o objetivo de aumentar significativamente a qualidade e a segurança dos produtos ofertados; sendo assim, novos materiais são desenvolvidos no intuito de atender essas normas.

Dentre os plásticos de engenharia a Poliamida 6.6 tem destaque importante nesse contexto, pois as suas características mecânicas, de resistência térmicas e químicas[1-4] a credencia a ocupar um papel de destaque no desenvolvimento de novas aplicações. Dentre os setores em expansão para essa classe de polímeros, podemos destacar o automobilístico, o elétrico e o eletrônico onde a elevada resistência térmica principalmente para peças e componentes que estejam em contato direto com fontes de calor e energia são cada vez mais solicitadas[3,5].

Para atender as rígidas normas de segurança, os formuladores de compostos de termoplásticos se utilizam de aditivos que eliminam ou retardam a propagação de fogo. Atualmente, os mais utilizados são aqueles a base de halogênios (Bromo, Cloro e Fósforo)[2,3,4,6]. O uso desses aditivos comprometem algumas propriedades mecânicas além de causar a emissão de gases tóxicos quando em combustão, isso sem falar no aumento significativo do custo do polímero já que se tratam de aditivos muito caros[2,4].

A interação da radiação ionizante com materiais poliméricos transfere energia aos materiais, provocando principalmente a excitação e a ionização das moléculas, gerando reações químicas que podem provocar

modificações permanentes na estrutura físico-química dos polímeros. As modificações induzidas podem resultar na degradação do material polimérico ou na melhoria de suas propriedades. Neste último caso o processo introduz ligações cruzadas, ou seja, reticulação entre as moléculas do polímero, melhorando suas propriedades térmicas, elétricas e mecânicas; possibilitando sua aplicação em diferentes áreas onde a melhoria dessas propriedades são requeridas[7,8].

A reticulação nos polímeros podem transformar radicalmente sua estrutura, criando ligações entre moléculas lineares e produzindo polímeros tridimensionais com alta massa molar. Com o aumento da reticulação, aumenta o intercruzamento entre as moléculas e a estrutura se torna mais rígida. As propriedades dos polímeros após 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 inter cruzada é o decréscimo da solubilidade[9]. O grau de reticulação é proporcional a dose absorvida e independente da intensidade da radiação[9].

O objetivo desse trabalho é o estudo do efeito da radiação na Poliamida (PA), pesquisando principalmente a possível melhoria das propriedades mecânicas e térmicas da Poliamida 6.6 sem reforço e Poliamida 6.6 com 30% de Fibra de Vidro, com diferentes doses de radiação utilizando as normas de Flamabilidade (UL-94) voltadas principalmente para a Indústria Automobilística e Eletrônica que classifica os materiais como V0, V1, V2 e HB e a de Fio Incandescente (NBR 6272/1980) em três

temperaturas (750°C, 850°C, 960°C) voltada para a Indústria de Componentes Elétricos.

É importante salientar que um material que passa no ensaio de Flamabilidade com grau V0 (as Poliamidas sem reforços e sem aditivos especiais são naturalmente classificadas como V2 enquanto que as reforçadas com 30% de Fibra de Vidro possuem uma classificação inferior ou seja HB), não necessariamente passará no ensaio de Fio Incandescente nas temperaturas indicadas acima e vice versa.

## II. PARTE EXPERIMENTAL

Foram injetados corpos de prova da Poliamida 6.6 sem reforço e Poliamida 6.6 Nova com 30% de Fibra de Vidro.

Os ensaios foram realizados em duas etapas:

- Caracterização dos polímeros, determinando as propriedades mecânicas e térmicas dos mesmos sem radiação.
- Irradiar os corpos de prova dos dois tipos de Poliamida com doses de 200, 300, 400 500 e 600 kGy a uma taxa de dose de 22,61 kGy/s no acelerador de elétrons tipo JOB 188 de energia de 0,5 a 1,5 MeV e corrente de 0,1 a 25 mA, e determinar as propriedades mecânicas e térmicas de ambos polímeros irradiados.

As propriedades Mecânicas analisadas foram:

- Resistência ao Impacto Izod com entalhe seguindo a norma ASTM D 256.
- Resistência à Tração seguindo a norma ASTM D 638.
- Resistência à Flexão seguindo a norma ASTM D 790.

As propriedades Térmicas analisadas foram:

- Flamabilidade de acordo com a norma UL 94 com corpos-de-prova de 3,05mm de espessura.
- Fio Incandescente de acordo com a norma NBR 6272/1980 (750°C, 850°C e 960°C) com corpos-de-prova de 3,00 mm de espessura.

## III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Ensaio Mecânicos

Os valores apresentados dos ensaios mecânicos, nas Tabelas 1 e 2, representam a média dos resultados obtidos conforme o número de corpos-de-prova previstos nas normas.

TABELA 1. Resultados dos ensaios de Resistência à Tração, Resistência à Flexão e de Resistência ao Impacto Izod com entalhe da PA 6.6 sem reforço.

Dose de Radiação (kGy)	Resistência Tração (MPa)	Resistência Flexão (MPa)	Resistência Impacto (J/m)
0	66,40	77,50	50,00
200	55,40	90,92	36,90
300	44,61	95,01	40,00
400	35,05	94,25	34,31
500	38,69	95,11	26,47
600	34,37	95,11	24,26

TABELA 2. Resultados dos ensaios de Resistência à Tração, Resistência à Flexão e de Resistência ao Impacto Izod com entalhe da PA 6.6 com 30% de Fibra de Vidro.

Dose de Radiação (kGy)	Resistência Tração (MPa)	Resistência Flexão (MPa)	Resistência Impacto (J/m)
0	155,01	195,13	95,45
200	151,23	201,25	95,45
300	150,34	200,95	65,23
400	143,86	198,07	66,31
500	144,87	198,56	70,52
600	149,89	197,23	64,45

Ao comparar os resultados obtidos nos ensaios mecânicos realizados nos corpos-de-prova irradiados com os não irradiados, (apresentados nas Tabelas 1 e 2), observa-se que a medida que aumentamos a dose, diminui a resistência à tração e ao impacto, acompanhadas de um aumento na resistência à flexão. Isso significa que o material tornou-se mais rígido e frágil perdendo tenacidade (característica importante nas poliamidas)[1,2,6].

### Ensaio Térmicos

O ensaio de Flamabilidade foi realizado em corpos-de-prova com espessura de 3,05 mm de acordo com a norma UL 94 usualmente utilizada na Indústria Automobilística e Eletrônica. O ensaio de Fio Incandescente foi realizado em corpos-de-prova com espessura de 3mm de acordo com a norma NBR6272/1980 em três temperaturas diferentes (750°C, 850°C e 960°C) dirigida a produtos fabricados pela Indústria de Componentes Elétricos.

Nas Tabelas 3 e 4 temos os resultados de ambos ensaios, Flamabilidade e de Fio Incandescente dos dois tipos de Poliamida estudadas.

TABELA 3. Resultados dos ensaios de Flamabilidade e de Fio Incandescente da PA 6.6 sem reforço.

Dose de Radiação (kGy)	Flamabilidade	Fio Incandescente °C		
		750	850	960
0	V2	R	NR	NR
200	V2	R	NR	NR
300	V2	R	NR	NR
400	V2	R	NR	NR
500	V2	NR	NR	NR
600	V2	NR	NR	NR

Obs.: R (resiste), NR (não resiste).

V2: realiza-se em 5 corpos-de-prova 2 ignições em cada, deixando a chama em contato com a amostra por 10s, afastando-a em seguida. A soma total dos tempos que se leva para extinguir a chama de todos corpos-de-prova nas duas ignições não deve ultrapassar 250s.

TABELA 4. Resultados dos ensaios de Flamabilidade e de Fio Incandescente da PA 6.6 com 30% de Fibra de Vidro.

Dose de Radiação (kGy)	Flamabilidade	Fio Incandescente °C		
		750	850	960
0	HB	R	NR	NR
200	HB	R	R	R
300	HB	R	R	R
400	HB	R	R	R
500	HB	R	R	R
600	HB	R	R	R

Obs.: R (resiste), NR (não resiste).

HB: realiza-se a queima horizontal dos corpos-de-prova e a velocidade de queima de cada amostra não deve ultrapassar 100 mm/min.

Os corpos de prova sem irradiar da PA 6.6 sem reforço no ensaio de Fio incandescente resistem no máximo 750°C enquanto que os irradiados com doses de 200, 300 e 400 kGy resistiram no máximo a 760°C, diferença esta não

muito significativa. Os corpos de prova com 500 e 600 kGy resistiram no máximo a 600°C máximo o que indica uma degradação no polímero.

Com relação ao ensaio de flamabilidade os corpos de prova irradiados e sem irradiar se comportaram da mesma maneira. É bom destacar que o ensaio de Flamabilidade é um ensaio de chama direta enquanto que no de Fio incandescente a temperatura é fornecida por uma fonte de calor elétrica, tentando simular o que ocorre num curto circuito.

Já nos corpos de prova da PA 6.6 com 30% de Fibra de Vidro os resultados no ensaio de Fio incandescente foram surpreendentes porque eles resistiram a uma temperatura de até 960°C enquanto que o sem irradiar resistiu no máximo 750°C.

Outro dado relevante neste ensaio é que na temperatura de 960°C, nos corpos-de-prova irradiados, tão logo era afastado a fonte de calor do corpo-de-prova, a chama extinguiu-se imediatamente enquanto que nos corpos-de-prova sem irradiar a chama persistia por até dois minutos após o afastamento da fonte.

Com relação ao ensaio de Flamabilidade para as amostras de PA 6.6 com 30% de Fibra de Vidro os corpos-de-prova irradiados e sem irradiar se comportaram da mesma forma.

#### IV. CONCLUSÃO

Comparando os resultados de Flamabilidade das amostras de PA 6.6 sem reforço com as de PA 6.6 com Fibra de Vidro, em ambos os casos, elas mantiveram o padrão esperado para polímeros desta natureza, quer sejam irradiadas ou não.

De um modo geral foi possível constatar que a irradiação da PA 6.6 sem reforço não melhora suas propriedades de resistências térmicas no ensaio de Fio Incandescente, indicando que a partir de uma certa dose (500 e 600 kGy), o polímero perde propriedades em relação ao sem irradiar, indicando um possível início de degradação do polímero.

É necessário ressaltar, que mesmo em polímeros aditivados com a finalidade de aumentar suas propriedades térmicas, também sofrem perdas importantes nas suas propriedades de resistência mecânica[2,3,6].

Com relação a PA 6.6 com 30% de Fibra de Vidro irradiada, no ensaio de Fio Incandescente, a sua melhora foi muito grande, o que nos leva a acreditar que de alguma forma a radiação interage com a Fibra de Vidro, ou possivelmente com o agente de Silanização da Fibra (processo que as Fibras de Vidro sofrem para ter melhor adesão no polímero)[6].

Esta melhora na propriedade de resistência ao Fio Incandescente da PA 6.6 com 30% de Fibra de Vidro merece um estudo mais detalhado porque como já foi mencionado que nos processos químicos convencionais também há perdas significativas de propriedades mecânicas, além de ser muito difícil conseguir esta resistência térmica, obriga aos formuladores lançarem mão de aditivos muito caros e que entram em quantidades elevadas na elaboração

dos mesmos, o que acarreta um valor agregado muito alto ao produto.

### REFERÊNCIAS

- [1] KOHAN, M. I., **Nylon Plastics**, Willey Interscience, New York, 1973.
- [2] ASCIUTTI, S. A., Apostila **Poliamida 6 e 6.6, Produção e Transformação**, Petronyl, 1997.
- [3] RADICI NOVACIPS, **Polyamides, Properties and Resistance to Chemicals Agents**, Bergamo, Italy, 1999.
- [4] **Modern Plastics Encyclopedia**, Mc Graw Hill, New York, 1986/1987.
- [5] PLÁSTICO INDUSTRIAL, **Dana Amplia Produção de Autopeças em Termoplásticos no Brasil**, Aranda Editora Técnica Cultural Ltda., ano II, n. 18, fevereiro 2000.
- [6] SAECHTLING, H., **Manuale delle Materie Plastiche**, Tecniche Nuove, Edizione Italiana, Milano, 1996.
- [7] YAMASAKI, M. C. R.; REIS, R. V. V.; ARAÚJO, E. P., **Efeitos Químicos das Radiações Ionizantes Gama e Feixe de Elétrons em Polímeros**. In: 1º Congresso Brasileiro de Polímeros, Novembro, 05-07, 1991, São Paulo – SP. Anais... São Paulo: ABPol, 1991, v.1, p.305-309.
- [8] BOLT, R. O. and CARROL, J. G., **Radiation Effects on Organic Materials**, New York, Academic Pr., 1963.
- [9] CLEGG, D. W. and A. A. COLLYER, A. A., **Irradiation Effects on Polymers**, London, Elsevier Applied Science, 1991.

### ABSTRACT

The Automotive, Electric and Electronic Component Industry, more and more employ the Engineering Plastic as a viable alternative for the reduction of costs and increase of productivity without loss of quality. Polyamide 6.6 is an Engineering Plastic with distinguished role on this category of polymers due to its high thermal and chemical resistances and strength. The aim of this work is to present the results of Tensile Strength, Flexural Strength and Izod Notched Impact Strength as well as thermal experiments of Flammability (Automotive and Electronic Components Industry) and of Glow Wire (Electric Components Industry) of Polyamide 6.6 with or without Fiber Glass reinforcement, irradiated by Electron Beams in different doses.