

ESTUDO DE ALGUMAS CARACTERÍSTICAS DO POLICARBONATO DUROLON COMO DETECTOR DE TRAÇOS NUCLEARES

Valdir Sciani; Reynaldo Pugliesi; Marco A.P.V.de Moraes;
Mário O.de Menezes; Adelina Miranda

IPEN-CNEN/SP CEP 05422-970 - SÃO PAULO - SP

RESUMO

Investigou-se algumas características do policarbonato Durolon para seu emprego como detector de traços nucleares de estado-sólido. Estas foram determinadas mediante irradiações realizadas no Reator Nuclear de Pesquisas IEA-R1 do IPEN-CNEN/SP. Os resultados foram comparados com aqueles obtidos para o Makrofol-E, na mesmas condições, e demonstraram que o Durolon, apesar de possuir estrias em sua superfície, é cerca de 30% mais eficiente e apresenta uma transmitância para a luz visível 2,4 vezes maior.

INTRODUÇÃO

A crescente utilização de policarbonatos na indústria é justificada pelas suas características referentes à alta resistência ao impacto e ao calor, transparência à luz visível, etc, que são superiores aos outros termoplásticos.

Alguns policarbonatos, quando sujeitos a determinadas radiações ionizantes, sofrem danos permanentes em sua estrutura, os quais, mediante um ataque químico adequado, podem ser ampliados formando traços (com dimensões de alguns microns) facilmente visíveis em microscópios óticos comuns[1]. São os denominados detectores de traços nucleares de estado sólido-SSNTD, comumente empregados na tecnologia nuclear como dosímetros, em radiografia, na confecção de microfiltros, etc[2].

A empresa Policarbonatos do Brasil S.A. fabrica o Durolon[3], que vem sendo empregado nas indústrias de aviação, ótica e automobilística, na construção civil, telecomunicações, etc. O objetivo do presente trabalho foi determinar algumas das características necessárias para o seu emprego como SSNTD. Diversas amostras de Durolon (peso molecular 27000g/mol), foram irradiadas em um feixe de nêutrons extraído do Reator Nuclear de Pesquisas IEA-R1 do IPEN-CNEN/SP. O ataque químico aos danos foi realizado em uma solução padrão e os resultados referentes ao tamanho e a forma do traço, sua quantidade (produzida pela ação das partículas ionizantes e por defeitos de fabricação na matriz polimérica) foram analisados e comparados com aqueles obtidos para o Makrofol-E[4], que é um policarbonato importado, nas mesmas condições de irradiação e de ataque químico. São também apresentadas outras características importantes deste policarbonato, fornecidas pelo próprio fabricante.

PARTE EXPERIMENTAL

As irradiações dos policarbonatos foram feitas no canal número-3 do Reator Nuclear de Pesquisas IEA-R1 onde está instalado um espectrômetro de nêutrons do tipo Filtro de berílio-tempo de voo[5]. Este canal de irradiação é radial em relação ao núcleo de reator e em seu interior estão instalados: um colimador do tipo cônico convergente de ferro; um filtro de berílio com 40 centímetros de comprimento e 20 de diâmetro; um filtro de chumbo monocristalino com 10 centímetros de comprimento e 20 de diâmetro. Estes componentes tem por finalidade reduzir a contribuição da radiação gama no local de irradiação das amostras e deslocar o espectro térmico Maxwelliano para uma distribuição cuja intensidade máxima esteja na região fria de

energia (~meV). Na parte externa do canal existe uma blindagem que mantém as doses de radiação neutrônica e gama, no local de trabalho, nos níveis permitidos de acordo com normas internacionais de proteção. As características do feixe extraído no local de irradiação estão apresentadas na tabela 1.

Tabela I- Características do feixe de nêutrons extraído do canal de irradiação numero-3

Fluxo na amostra	$5,8 \times 10^4 \text{ n/s.cm}^2$
Área útil do feixe	36 cm ² (4x9 centímetros)
Razão de cádmio(para o Ouro)	200

As amostras de Durolon e de Makrofol-E foram cortadas no formato de tiras com dimensões 3x1 centímetros as quais são mantidas em contato firme com uma tela conversora de boro natural e este conjunto fixado à um porta-amostras de alumínio durante as irradiações. A exposição ao feixe de nêutrons originam, através da reação nuclear $^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$, à partículas- α de energia 1,47MeV que induzem os danos nas amostras. Estes danos são então atacados quimicamente por uma solução padrão para esta finalidade denominada PEW(15gKOH; 45gH₂O deionizada; 40g álcool etílico) à 70°C[1]. As irradiações foram realizadas para tempos que variaram entre 15 e 180 minutos e os ataques químicos entre 5 e 50 minutos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A avaliação do comportamento do policarbonato Durolon como um detector de traços nucleares foi feita a partir da investigação de sua capacidade de formar um traço bem como das suas características em função da exposição ao feixe de nêutrons e do tempo de ataque químico.

A formação do traço em um policarbonato está diretamente relacionada com a sua capacidade de manter permanente o dano causado pela partícula- α em sua estrutura, o que é característico a materiais que possuem resistividade superior à 2000 ohm.cm[1], que é o caso do Durolon(>10¹⁶)[3]. Após uma irradiação por um período de 15 minutos que corresponde a exposição de nêutrons de $5,2 \times 10^7 \text{ n/cm}^2$ e o posterior ataque químico por 10 minutos, observou-se, em um microscópio ótico comum, a formação de uma quantidade significativa de traços neste material.

As seguintes características dos traços formados foram avaliadas:

-diâmetro: A figura 1 mostra o comportamento do

diâmetro do traço no Durolon para tempos de ataque químico variando entre 5 e 50 minutos. Cada ponto foi obtido por meio de uma média de medidas individuais, obtidas na tela de um microscópio ótico, para 10 traços diferentes, os quais demonstraram bastante uniformidade para o mesmo tempo de ataque. Os diâmetros variaram entre $2,5\mu\text{m} < \phi_t < 10,2\mu\text{m}$ e o valor mínimo foi limitado apenas pela sua visualização no microscópio. Estas medidas foram realizadas em uma condição de sobreposição de traços desprezível, obtida para o tempo de irradiação de 15 minutos que corresponde a exposição de $5,2 \times 10^7 \text{ n/cm}^2$.

Nesta mesma figura são também apresentados os resultados para o SSNTD Makrofol-E obtidos nas mesmas condições que a anterior. Neste caso os diâmetros dos traços variaram entre $2,0\mu\text{m} < \phi_t < 10,1\mu\text{m}$.

Em ambos os casos foram ajustadas retas aos pontos experimentais e constatou-se um comportamento quantitativo similar para o crescimento do diâmetro dos traços, já que seus coeficientes angulares concordam dentro dos erros, ou seja, $(0,187 \pm 0,008)$ para o Durolon e $(0,178 \pm 0,005)$ para o Makrofol-E.

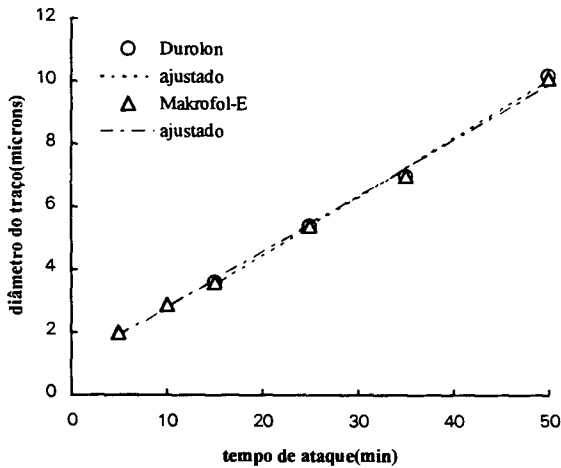


Figura 1. Crescimento do diâmetro do traço para ambos os policarbonatos em função do tempo de ataque químico.

-ângulo crítico: Este parâmetro é definido como o ângulo de incidência mínimo da partícula- α no policarbonato abaixo do qual seu dano produzido não poderá ser revelado como um traço e vem dado pela seguinte expressão[1]:

$$\theta_{\text{crit}} = \arcsen(V_g/V_t)$$

sendo V_g e V_t as velocidades do ataque químico na superfície do policarbonato não ionizado e no traço respectivamente. Este valor para o Makrofol-E e para os SSNTD orgânicos é conhecido e de acordo com a literatura $\theta_{\text{crit}} < 10^\circ$ [6]. Desta maneira, o ângulo crítico para o Durolon deverá ter um valor próximo. Este fato foi confirmado indiretamente mediante a comparação dos coeficientes angulares das retas ajustadas aos pontos experimentais das figuras 2 e 1.

Para o primeiro ajuste estes valores foram $(-4,0 \pm 0,2) \times 10^{-4}$ para o Durolon e $(-4,3 \pm 0,2) \times 10^{-4}$ para o Makrofol-E. Tendo em vista a sua igualdade dentro dos erros, pode-se concluir o mesmo para as velocidades V_g para ambos os policarbonatos.

O outro ajuste foi realizado no item anterior e considerando a relação existente entre V_t e a velocidade de crescimento do diâmetro dos traços[1] pode-se também concluir que seus valores concordam dentro dos erros bem como os ângulos críticos de ambos os policarbonatos.

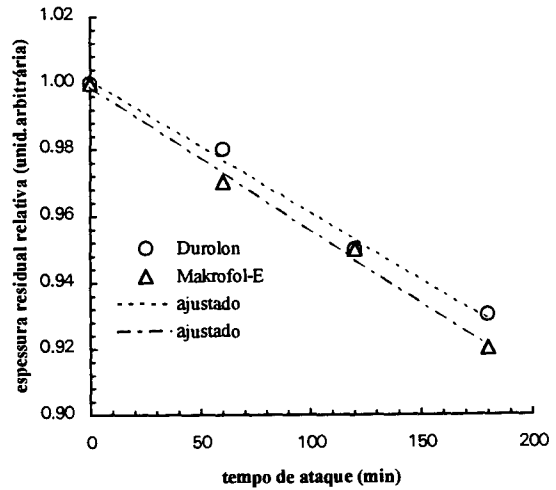


Figura 2. Espessura residual relativa para os policarbonatos não irradiados em função do tempo de ataque químico.

-taxa de produção: Esta quantidade representa a eficiência de conversão nêutron/traço do conjunto policarbonato-conversor. Esta foi determinada por meio da inclinação de uma reta ajustada aos pontos experimentais do gráfico que relaciona densidade de traços (tr/cm^2) em função da exposição ao feixe de nêutrons (n/cm^2). Cada valor de tr/cm^2 foi obtido pela contagem, na tela do microscópio, da quantidade de traços existentes em uma área constante do policarbonato e para um tempo de ataque químico de 15 minutos e os resultados estão apresentados na figura 3. O ajuste foi realizado para exposições aos nêutrons variando entre $5,2 \times 10^7$ e $62,6 \times 10^7 \text{ n/cm}^2$ e o valor obtido para a inclinação foi $\text{tr/n} = (0,0143 \pm 0,0005)$. Um procedimento similar foi empregado para o SSNTD Makrofol-E e o valor obtido foi $\text{tr/n} = (0,0109 \pm 0,0002)$. Este resultado demonstra que o Durolon é cerca de 30% mais veloz do que o Makrofol-E.

Por meio destas equações obtidas pode-se também verificar que, para a exposição, "zero", a densidade de traços de fundo para ambos os policarbonatos concordam dentro dos erros dos ajustes, ou seja, $(1,6 \pm 1,8) \times 10^5$ e $(0,9 \pm 0,9) \times 10^5$ para o Durolon e Makrofol-E respectivamente.

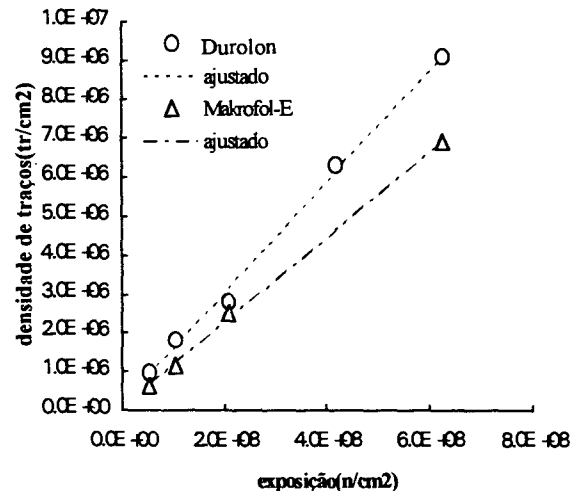


Figura 3. Variação da densidade de traços em função da exposição ao feixe de nêutrons para o tempo de ataque químico de 15min.

Na tabela II são apresentadas outras características

importantes deste policarbonato referentes ao seu emprego como um SSNTD e sua comparação com aquelas do Makrofol-E.

Tabela II- Características do Durolon e do Makrofol-E fornecidas pelos fabricantes*, Policarbonatos do Brasil[3] e Bayer[4], respectivamente, e obtidas neste trabalho.**

	Durolon	Makrofol-E
Densidade(g/cm ³)*	1.2	1.2
Resistividade (ohm.cm)*	>10 ¹⁶	>3.10 ¹⁶
Transmitância(%)*	>86	35
Varição de espessura**(%)	0,4	1

É importante salientar que, como o Makrofol-E, o Durolon também não registrou traços devido a nêutrons epitérmicos, mesmo após 3 horas de irradiação em um fluxo de $\phi \sim 7 \times 10^3$ n/s.cm² e um ataque químico de até 50 minutos.

CONCLUSÕES

O policarbonato Durolon apesar de não ter sido fabricado para ser utilizado como um detector de traços nucleares possui características desejáveis para esta finalidade, pelo menos para danos induzidos por partículas- α de baixa energia ($\sim 1,5$ MeV).

Perante o Makrofol-E, que é um SSNTD comumente empregado em diversos setores científicos e tecnológicos, pode-se constatar que o Durolon é cerca de 30% mais rápido quanto a produção de traços. Apesar de não possuímos informações complementares sobre este policarbonato este fato é geralmente atribuído a uma diferença de energia das ligações químicas. Aquele com as ligações mais fortes é o mais eficiente[7].

O Durolon apresentou, para as presentes condições de ataque químico, uma densidade de traços de fundo com valor igual ao do Makrofol-E, demonstrando que eventuais defeitos microscópicos de fabricação causados na matriz polimérica não são capazes de induzir danos reveláveis. Este policarbonato apresenta também estrias paralelas, visíveis ao microscópio, e em toda a sua extensão. Estas permaneceram em sua superfície mesmo após ataque químico de 50 minutos e são facilmente distinguíveis dos traços. Este fato não restringe a sua utilização por exemplo em Radiografia com nêutrons, como mostrado na figura 4. Aliás a sua transmitância de 85% pode prover radiografias de qualidade similar daquelas obtidas com o SSNTD CR-39.

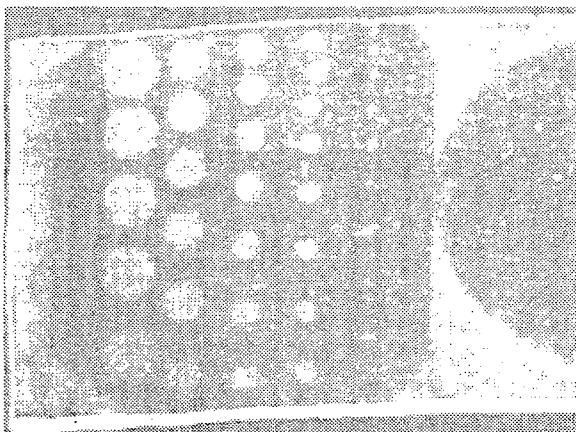


Figura 4.- Reprodução da radiografia de uma peça de cádmio com orifícios obtida no Durolon.

REFERÊNCIAS

- [1] FLEISHER, R. L., BUFORD, P., WALKER, R. M., **Nuclear Tracks in Solids**. Berkeley. University of California Press 1975
- [2] DURRANI, S. A., BULL, R. K., **Solid State Nuclear Track Detection**. New York. Pergamon Press 1987
- [3] Policarbonatos do Brasil, **DUROLON**. Ed. P.C. do Brasil
- [4] Bayer AG. **Makrofol**. Ed Bayer AG
- [5] MORAES, M. A. P. V., PUGLIESI, R., KHOURY, M.T.F.C. **Determinação de Boro em Soluções Aquosas Empregando um Feixe de Nêutrons Filtrado, pela Técnica do Registro de Traços**. Publicação IPEN 86 1985. ISSN0101.3084
- [6] ILIC, R., **Image Formation in Track-Etch Detectors-II. The Space Dependent Transfer Function in Thin Detectors**. **Nuclear Tracks Rad. Meas.** vol 17, n° 4, pp 461-468, 1990
- [7] MATSUMOTO, G; MURATA, N; SUZUKI, S.; MATSUMOTO, M.; OHKUBO, K. IKEDA, Y. **Track-Etch Neutron Radiography with a New Boron Carbide Converter**. **Nuclear Technology**, vol 72, pp 201-11, 1986

ABSTRACT

Some characteristics of the polycarbonate Durolon as a solid state nuclear track detector were investigated. These were determined by means of irradiations performed at the IEA-R1 Nuclear Research Reactor of the IPEN-CNEN/SP. The results were compared with those obtained for Makrofol-E at the same conditions. Although Durolon is grooved, it presents a track registration efficiency and a light transmission of about 30% and 2,4 greater than the former, respectively.