

## Detecção de nêutrons térmicos por detectores sólidos de traços nucleares

M. Cesar Khouri, C. Andrade

*Divisão de Física Nuclear, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, CNEN, Caixa Postal 11049, São Paulo, 05499, SP, Brasil*

Recebido em 6 de agosto de 1990

**Resumo** Estuda-se a detecção de nêutrons térmicos ( $E < 0,4$  eV) com detectores sólidos de traços nucleares. Os nêutrons térmicos são detectados por meio do registro dos traços de partículas alfa provenientes da reação ( $n, \alpha$ ) em conversor que contém boro. Os detectores usados são: LR 115 tipo 2, CN 85 e Makrofol E. Foram determinadas condições adequadas de revelação, a sensibilidade de cada detector e as fluências máxima e mínima detectáveis.

### 1. Introdução

Detectores sólidos de traços nucleares (SSNTDs - solid state nuclear track detectors) são materiais nos quais partículas carregadas pesadas deixam uma trilha (3-10 nm) de danos. Em cristais esta trilha consiste em deslocamentos atômicos manifestando-se como interstícios e vacâncias. Nos plásticos, os danos produzem quebra de moléculas, radicais livres, etc<sup>1</sup>.

Certos reagentes químicos dissolvem ou degradam estas regiões danificadas numa razão muito maior do que o material não danificado, é o processo de revelação dos detectores. Os traços ficam, então, visíveis em um microscópio óptico.

Nêutrons, sendo partículas sem carga elétrica, não produzem traços e são detectados, indiretamente, pelo registro dos traços de produtos de reações nucleares. Os métodos usados para detectar nêutrons dependem da energia dos nêutrons. Neste trabalho nos ateremos ao estudo da detecção de nêutrons térmicos, isto é, com energia menor do que 0,4 eV. Um dos métodos mais utilizados para detectar nêutrons térmicos é a utilização de um conversor ( $n, \alpha$ ), neste caso as partículas

Biblioteca

## *Detecção de nêutrons térmicos por detectores sólidos de traços nucleares*

alfa produzidas é que impressionam o plástico detector deixando seus traços registrados. Comumente o boro e o lítio são usados como conversores pois os isótopos  $^{10}\text{B}$  e  $^6\text{Li}$  tem altas secções de choque para nêutrons térmicos. Na tabela 1 estão os parâmetros para as reações  $(n, \alpha)$  com estes isótopos.

Tabela 1 – Parâmetros para a reação  $(n, \alpha)$  com  $^6\text{Li}$  e  $^{10}\text{B}$ .

Reação	$E_\alpha$ (MeV)	$E$ (2a. part) (MeV)
$^6\text{Li}(n, \alpha)^3\text{H}$	2,05	2,73
$^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}^m$	1,47	0,84
$^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$	1,78	1,01

Vários plásticos sensíveis à partícula alfa estão disponíveis comercialmente. Neste trabalho nós estudamos a detecção de nêutrons térmicos com os filmes LR-115 tipo 2 e CN 85, nitratos de celulose, produzidos pela Kodak Pathé, França, e com o Makrofol E um policarbonato produzido pela Bayer, Alemanha. Serão determinadas as condições de revelação, as fluências máxima e mínima detectáveis e a sensibilidade de cada filme para detectar nêutrons térmicos.

## **2. Parte Experimental**

### a) Os Detectores e Conversores

Os filmes LR 115 tipo 2 e CN 85 são fornecidos com depósito de tetraborato de lítio (tipo B) e sem o depósito. O tetraborato de lítio é utilizado como conversor  $(n, \alpha)$  e deve ser retirado do filme, lavando-se em água comum, antes da revelação.

O LR 115 tipo 2 é constituído por uma camada de  $12 \mu\text{m}$  de nitrato de celulose, tingido de vermelho, em um suporte de poliéster de  $100 \mu\text{m}$ .

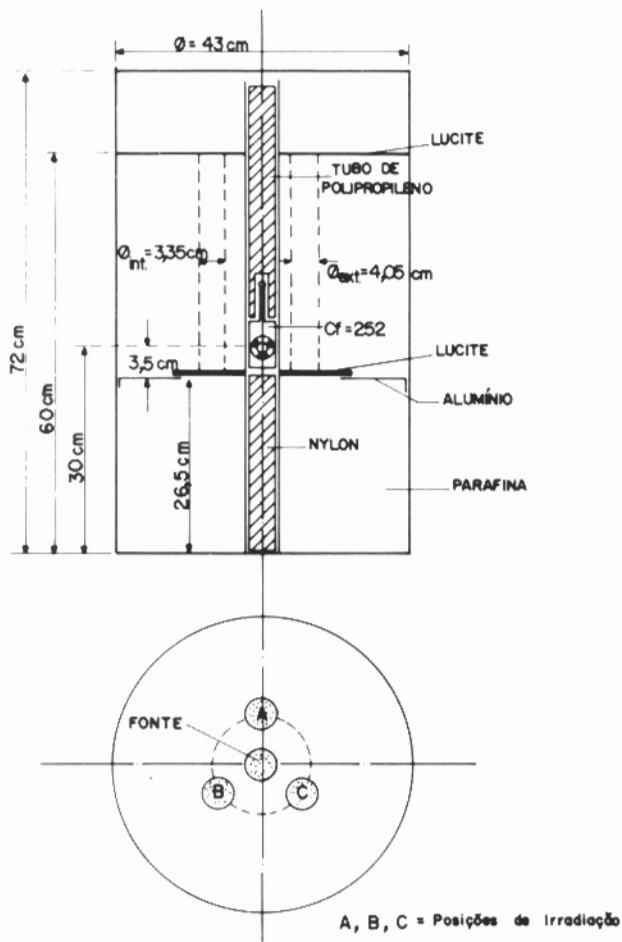
O CN 85 tem  $100 \mu\text{m}$  de espessura, é de nitrato de celulose e incolor.

O Makrofol E utilizado por nós tem  $200 \mu\text{m}$  de espessura, é leitoso, tem só uma face sensível que é brilhante, a face não sensível é rugosa.

Utilizamos os filmes LR 115 tipo 2 B, CN 85 B e também LR 115 tipo 2, CN 85 e Makrofol E com conversor externo de boro (BN), produzido pela Kodak.

b) A Irradiação

Os filmes foram irradiados com nêutrons provenientes de uma fonte de Cf-252 termalizados em parafina. O arranjo pode ser visto na figura 1. Dispomos de três posições para irradiação, simétricas em relação à fonte. Os fluxos de nêutrons térmicos e as razões de cádmio foram medidos pelo Laboratório de Metrologia Nuclear do IPEN utilizando folhas de ouro. Os valores estão na tabela 2.



## Detecção de nêutrons térmicos por detectores sólidos de traços nucleares

Tabela 2 - Valor dos fluxos e razão de cádmio, em cada posição de irradiação do arranjo experimental mostrado na figura 1, medidos pela atividade induzida em folhas de ouro.

Posição	Fluxo Térmico (n/cm <sup>2</sup> /s)	<sup>R</sup> Cd	Erro (%)
1	6,46 × 10 <sup>4</sup>	12,4	2,5
2	6,48 × 10 <sup>4</sup>	14,0	2,5
3	6,35 × 10 <sup>4</sup>	12,6	2,5

### c) Revelação

A revelação dos filmes foi feita por ataque químico, em banho-maria. Os filmes ficam submersos na solução reveladora durante um certo tempo, à temperatura constante.

Após a revelação os filmes são lavados em água corrente sendo que os detectores LR 115 tipo 2 são passados em uma solução de água e álcool 1:1. Os filmes são deixados para secar em papel filtro.

### d) Leitura

A densidade de traços em cada detector é determinada contando-se o número de traços existentes em uma área conhecida. As contagens foram feitas em microscópio óptico.

## 3. Resultados e Conclusões

### a) Tempo de revelação

Foram determinados os tempos de revelação para os detectores LR 115 tipo 2 e CN 85 irradiando-se vários filmes, durante o mesmo tempo, e revelando-se por tempos entre 105 e 140 minutos. A solução utilizada foi NaOH 2,5N, a 60°C, para ambos os filmes<sup>2</sup>. Filmes não irradiados foram revelados simultaneamente para verificarmos o comportamento do *background*. Este *background* é constituído por defeitos ou traços devidos à radiação ambiental. Os resultados estão nas figuras 2 e 3 sendo que escolhemos os tempos de 125 minutos para revelar o LR 115 tipo 2 e 130 minutos para o CN 85. Como a contagem para os filmes irradiados aumenta

até ficar praticamente constante e o *background* continua aumentando, o tempo escolhido foi tal que o *background* fosse o menor após a estabilização das contagens.

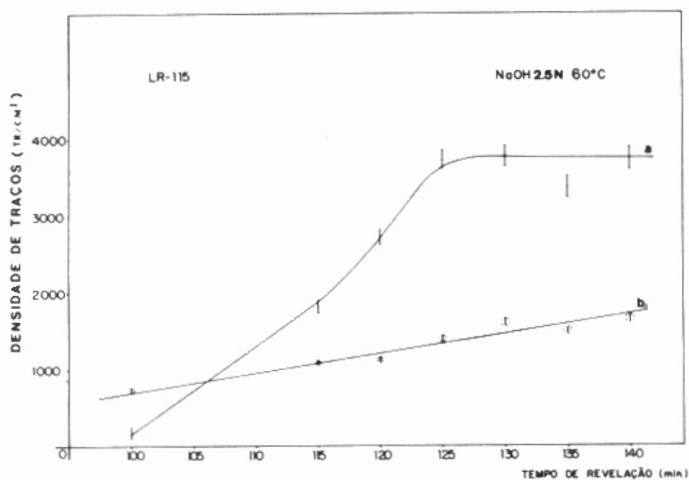


Fig. 2 - Variação da densidade de traços no LR 115 do tipo 2 em função do tempo de revelação: (a) para filmes irradiados; (b) para filmes não irradiados (*background*).

Para o Makrofol E o tempo de revelação utilizado foi 40 minutos em solução com 15% de KOH, 40% de álcool etílico e 45% de água, em peso, a 70°C. Estas condições foram determinadas anteriormente<sup>3</sup>.

As condições para revelação estão na tabela 3.

Tabela 3 - Condições para revelação dos traços devidos a reação ( $n, \alpha$ ).

Detector	Solução-Concentração-Temperatura	Tempo (minuto)
LR 115	NaOH - 2,5N - 60°C	125
CN 85	NaOH - 2,5N - 60°C	130
Makrofol E	KOH 15% álcool etílico 40% água 45% (peso) - 70°C	40

## Detecção de nêutrons térmicos por detectores sólidos de traços nucleares

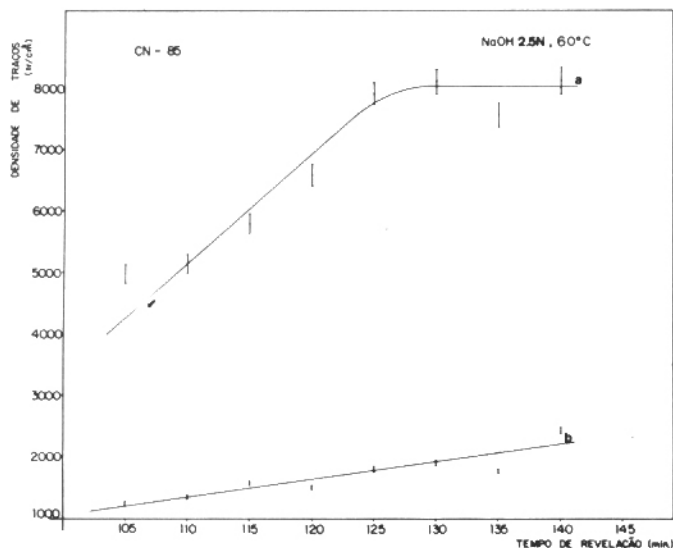


Fig. 3 - Variação da densidade de traços no CN 85 em função do tempo de revelação: (a) para filmes irradiados; (b) para filmes não irradiados (*background*).

### b) Sensibilidade

A partir das densidades de traços obtidos e dos fluxos medidos calculamos as sensibilidades dos filmes LR 115 tipo 2B e CN 85B, que tem o depósito de tetraborato de lítio sobre o detector, e do LR 115 tipo 2, CN 85 e Makrofol E com conversor BN colocado encostado no filme, durante a irradiação.

Foram feitas irradiações de todos os filmes com cobertura de cádmio, de 1 mm de espessura, para verificar qual a fração dos traços registrados seria devida a nêutrons com energia acima de 0,4 eV pois o cádmio absorve nêutrons de energia abaixo deste valor. As contagens obtidas para nêutrons epitérmicos e rápidos foram cerca de 30 vezes menores do que as obtidas sem a cobertura de cádmio. Não descontamos esta contribuição.

Os resultados encontrados para as sensibilidades estão na tabela 4.

Pelos resultados obtidos verificamos que o filme CN 85 com conversor externo BN, entre os materiais estudados, é o mais indicado para a dosimetria pessoal de

Tabela 4 – Sensibilidade dos detectores para nêutrons térmicos.

Detector	Conversor Externo	Sensibilidade (traços/neutron)
LR 115 tipo 2B	-	$(8,5 \pm 0,9)10^{-4}$
CN 85 B	-	$(4,0 \pm 0,4)10^{-4}$
LR 115 tipo 2	BN	$(2,5 \pm 0,3)10^{-3}$
CN 85	BN	$(2,9 \pm 0,3)10^{-3}$
Makrofol E	BN	$(1,9 \pm 0,2)10^{-3}$

nêutrons térmicos apresentando o menor valor de fluência mínima detectável e a maior sensibilidade.

### c) Linearidade

A linearidade da resposta dos detectores (densidades de traços) com a fluência (fluxo x tempo de irradiação) dos nêutrons incidentes foi verificada variando-se o tempo de irradiação.

A resposta dos filmes deixa de ser linear por dois motivos: (1) acima de um certo valor da densidade de traços os traços começam a se sobrepor de modo apreciável e (2) a contagem visual se torna mais difícil e o erro na leitura aumenta. O limite é função das condições de revelação e contagem dos filmes. O limite para os filmes utilizados, revelados e contados, nas condições descritas, é de 150.000 traços/cm<sup>2</sup>.

Em consequência da perda de linearidade determinamos uma fluência máxima detectável, para as condições deste trabalho, que é obtida dividindo-se a densidade máxima pela sensibilidade de cada filme. A fluência mínima foi definida como aquela que produz uma densidade de traços igual a dois desvios padrão do *background*<sup>4</sup>. Este valor depende do detector e deve ser determinado para cada remessa.

Na tabela 5 estão os valores de fluência máxima e mínima para os detectores estudados.

Tabela 5 - Fluências máxima e mínima detectáveis.

Detector	$\phi$ max (n/cm <sup>2</sup> )	$\phi$ min (n/cm <sup>2</sup> )
LR 115 tipo 2B	$1,8 \times 10^8$	$9,2 \times 10^4$
LR 115 tipo 2 (BN)	$6,0 \times 10^7$	$2,2 \times 10^5$
CN 85 B	$3,8 \times 10^8$	$2,2 \times 10^5$
CN 85 (BN)	$5,2 \times 10^7$	$2,1 \times 10^4$
Makrofol E (BN)	$7,9 \times 10^7$	$3,4 \times 10^4$

#### 4. Aplicação da técnica

O filme LR 115 tipo 2B foi utilizado para mapear e medir o fluxo de nêutrons térmicos provenientes de uma fonte de <sup>252</sup>Cf de atividade desconhecida. Este detector foi escolhido porque no caso a sua sensibilidade era adequada e também porque o LR 115 tipo 2 apresenta ao microscópio facilidade de leitura uma vez que os traços aparecem como pontos brilhantes em fundo vermelho.

A fonte de <sup>252</sup>Cf está encapsulada em metal tendo externamente forma cilíndrica com 18 cm de altura e 4,5 cm de diâmetro. Esta fonte foi colocada na posição central de um tambor semelhante ao mostrado na figura 1, porém no lugar da parafina utilizou-se água como moderador dos nêutrons. A fonte fica no tubo central e três tubos foram dispostos simetricamente em torno, havendo 5 cm entre o tubo central e os tubos de irradiação.

Foi colocado no tubo n<sup>o</sup> 1 uma tira de LR 115 B de 24 cm em posição correspondendo à extensão da fonte, e mais, 3 cm para cima e 3 cm para baixo. O filme foi exposto por 5 minutos e depois revelado e lido. A distribuição de densidades de traços obtida está na figura 4.

Outras medidas foram feitas colocando-se um pedaço de filme de 1,5 cm x 1,5 cm em cada canal de irradiação por 5 minutos, na altura correspondente ao maior fluxo. Os fluxos foram calculados a partir das densidades de traços: canal n<sup>o</sup> 1 ( $8,6 \pm 0,9$ )10<sup>4</sup> n/cm<sup>2</sup>/s, canal n<sup>o</sup> 2 ( $8,2 \pm 0,9$ )10<sup>4</sup> n/cm<sup>2</sup>/s, e canal n<sup>o</sup> 3 ( $8,8 \pm 0,9$ )10<sup>4</sup> n/cm<sup>2</sup>/s. Para medidas de fluxo de nêutrons desta ordem de grandeza uma vantagem deste método é a rapidez das medidas, pois em duas horas podemos ter um resultado enquanto que haveria necessidade de dias de irradiação das folhas de ouro para se ter medidas confiáveis.



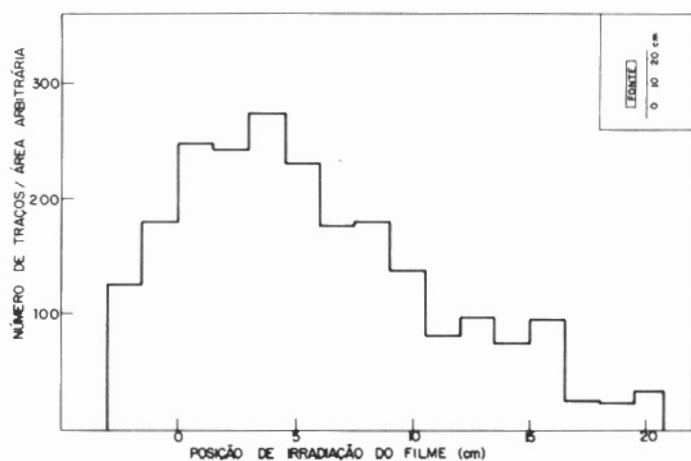


Fig. 4 - Distribuição do fluxo de nêutrons térmicos, ao longo de um tubo de irradiação, provenientes de fonte de  $^{252}\text{Cf}$  e termalizados em água.

## Referências

1. S. A. Durrani and R. K. Bull, *Solid State Nuclear Track Detection*, Pergamon Press, 1987, 283 p.
2. M. F. Cesar and L. P. Geraldo, Studies on alpha particle registration in LR 115 type II - a solid state nuclear track detector, Publicação IPEN 31, junho 1981, 8 p.
3. M. F. Cesar and M. A. R. Franco, *Nuclear Tracks*, **12**, 193 (1986).
4. E. Piesch, Neutron irradiations of proton sensitive track etch detectors: results of the Joint European/USA/Canadian irradiations. Kalsruhe, Sept. 1987, (KfK-4305).

## Abstract

The thermal neutron detection with solid state nuclear track detector is studied. Thermal neutrons are detected using alpha particle sensitive plastics to register the  $(n, \alpha)$  product of reaction taking place in the boron converter. The plastics used are: LR 115 type 2, CN 85 and Makrofol E. The etching conditions, the sensitivity, the maximum and minimum detectable fluences have been determined for each detector.