

DESENVOLVIMENTO DE UM DETECTOR PASSIVO PARA NÊUTRONS RÁPIDOS

Guilherme S. Zahn, Marília C. Khouri & Eudice C. Vilela

IPEN/CNEN-SP

Caixa Postal 11.049

CEP 05422-970, São Paulo, SP

RESUMO

Neste trabalho é estudado um detector de nêutrons constituído por um detector de traços nucleares Makrofol DE (Bayer, Alemanha), associado ao conversor BN (Kodak Pathé), no centro de uma esfera de polietileno de 25 cm de diâmetro. A sensibilidade obtida para nêutrons provenientes de uma fonte de $^{241}\text{AmBe}$ é de 4,4 (2) tr/mSv.cm², resultando em uma faixa de dose mensurável entre 7 μSv e 5,0 mSv, a qual está plenamente de acordo com as exigências impostas para o uso como monitor de área de integração mensal ou quinzenal.

INTRODUÇÃO

Entre todos os tipos de detectores de nêutrons, aqueles constituídos por um detector de nêutrons térmicos envolvido por um meio moderador são os que apresentam sensibilidade a nêutrons dentro de uma faixa mais ampla de energia, detectando desde os nêutrons na faixa térmica até os rápidos, com energia em torno de 20 MeV.

Na monitoração de ambientes em que o espectro de nêutrons consista, basicamente, de nêutrons espalhados e de baixa energia, como em ambientes próximos a blindagens de reatores, aonde o espectro exato dos nêutrons e a sua direção de incidência não são conhecidos, este tipo de detector é de grande utilidade.

Dentre os tipos possíveis de detectores de nêutrons envolvidos por um meio moderador, os mais utilizados são os compostos por uma ou mais esferas, como o espectrômetro das esferas de Bonner [1], por exemplo.

Bramblett *et. al.*, em 1960 [1], propuseram que, mesmo não sendo capaz de fornecer informações sobre o espectro dos nêutrons, um detector de nêutrons térmicos envolvido por uma esfera de material moderador de grande diâmetro (em torno de 10 a 12 polegadas) deveria apresentar uma resposta a nêutrons próxima à do corpo humano, fornecendo então, uma vez calibradas em uma única energia, leituras diretamente em dose.

Posteriormente, vários autores desenvolveram detectores utilizando como moderador esferas de polietileno, seja de 10 ou 12 polegadas de diâmetro [2,4], os quais fazem parte de um grupo conhecido como *rem detectors*, ou seja, detectores com leitura proporcional à dose.

O objetivo deste trabalho foi o de desenvolver um detector de nêutrons, com possíveis aplicações como monitor de área, baseado em um detector de traços nucleares associado a um conversor (n,α) no centro de uma esfera de polietileno de 25 cm de diâmetro. Os detectores foram revelados pelo método do ataque eletroquímico.

As vantagens deste sistema detector são as suas dimensões reduzidas, o seu baixo custo, a dispensa de manutenção e a sua total insensibilidade à radiação gama, o que o torna de interesse na monitoração rotineira de ambientes próximos a blindagens de reatores ou a aceleradores de partículas.

MATERIAIS E MÉTODOS

O conjunto conversor-detector. O detector utilizado foi o Makrofol DE, um policarbonato produzido pela Bayer, Alemanha, com 475 μm de espessura. Para efetuar a conversão (n,α) foi empregado o conversor BN, produzido pela Kodak Pathé.

O monitor de nêutrons. O monitor de nêutrons desenvolvido é composto por um detector, em contacto com um conversor, fixado em uma haste de polietileno. Esta haste, por sua vez, é introduzida em um orifício radial de uma esfera de polietileno de 25 cm de diâmetro, de forma que o conjunto conversor-detector fique exatamente no centro da mesma.

As irradiações com nêutrons rápidos. Para a verificação da resposta do monitor completo a nêutrons rápidos, foram feitas irradiações com nêutrons rápidos, em uma sala construída com o propósito de reduzir o espalhamento, tendo sido utilizada uma fonte de $^{241}\text{AmBe}$ (energia média do nêutron de 4,3 MeV) com emissão, em 4π , de 1,12 (2) $\times 10^7$ nêutrons/segundo e taxa de dose, a 1,0 m, de $5,4 \times 10^{-8}$ Sv/s [5].

O monitor é posicionado sobre uma estrutura metálica, a 3,2 m do chão, podendo-se variar a distância fonte-detector de 12,5cm (o raio da esfera) até 2,0 m.

Ainda assim, irradiações a uma distância inferior ao dobro do raio da esfera devem ser evitadas, pois há uma perda considerável na resposta do detector, devida à divergência excessiva do campo neutrônico nessa região.

PROCEDIMENTOS PARA A ANÁLISE DA RESPOSTA DO DETECTOR A NÊUTRONS RÁPIDOS [5, 6, 7, 8]

Na análise dos resultados obtidos para a obtenção da resposta do monitor a nêutrons rápidos são necessários alguns cuidados especiais.

Como a fonte não tem emissão absolutamente isotrópica, o fluxo de nêutrons calculado deve ser multiplicado por um fator, $F_1(\Theta)$, o qual corrige este efeito. Como as irradiações foram feitas perpendicularmente ao eixo de simetria da fonte (que é cilíndrica), o valor adotado para $F_1(\Theta)$ foi de 1,04 [8].

Além disso, a leitura obtida deve ser corrigida para levar

em conta tanto o fato de que nem a fonte nem o detector são pontuais quanto o espalhamento na sala de irradiação.

Assim sendo, se $M_T(L)$ é a densidade líquida de traços observada no detector irradiado a uma distância L da fonte dividida pelo tempo de irradiação (em $\text{tr}/\text{cm}^2\cdot\text{s}$) e R é a sensibilidade do monitor (tr/n), então:

$$R = MT(L) / [\phi(L) \cdot FG(L) \cdot FS(L)] \quad (1)$$

onde $\phi(L)$, $FG(L)$ e $FS(L)$ são, respectivamente, o fluxo de nêutrons (em $\text{n}/\text{cm}^2\cdot\text{s}$) e os fatores geométrico e de espalhamento.

Quando a distância fonte-detector for maior que o diâmetro da esfera, o fator geométrico é dado por:

$$FG = 1 + 0,5 \cdot (r/2L)^2 \quad (2)$$

onde r é o raio da esfera.

O cálculo de R e $FS(L)$ pode ser feito de diversas maneiras. Os métodos aqui empregados são os descritos nos sub-itens que vêm a seguir.

Método semi-empírico. Se considerarmos pequena a contribuição do espalhamento no ar, podemos obter R e $FS(L)$ a partir das relações:

$$R \cdot (1 + SL^2) = MT(L) / [\phi(L) \cdot FG(L) \cdot (1 + AL)] \quad (3)$$

$$FS(L) = 1 + AL + SL^2 \quad (4)$$

onde A é o fator devido ao espalhamento no ar, o qual, para a fonte e o detector utilizados, vale $0,009/\text{m}$. [6]. Dessa forma, ajustando-se uma reta para a resposta corrigida em função do quadrado da distância, obtêm-se os valores de ambas as grandezas.

Método do cone de sombra. Neste método utiliza-se um cone de material absorvedor entre a fonte e o detector, de forma a se medir apenas a radiação espalhada.

Se $Ms(L)$ é a contagem obtida utilizando-se o cone, então:

$$R = [MT(L) - Ms(L)] \cdot FA(L) / \phi(L) \quad (5)$$

onde:

$$FA(L) = \exp(8,90 \times 10^{-3} \cdot L) \quad (6)$$

Varição dos tempos de irradiação para uma distância fixa. Este método exige uma série de irradiações de diferentes durações a uma distância fonte-detector fixa.

Dessa forma, se construirmos o gráfico da densidade líquida de traços, corrigida pelos fatores geométrico e de espalhamento (este calculado através do método semi-

empírico), em função da fluência de nêutrons, então a sensibilidade R pode ser obtida através do coeficiente angular da reta ajustada.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

A determinação da resposta do monitor a nêutrons rápidos foi feita através dos três métodos citados.

A revelação dos detectores foi feita pelo método do ataque eletroquímico, aonde o detector é revelado sob a influência de um campo elétrico oscilante, resultando em traços de maior diâmetro e com maior contraste quando observados em microscópio. Foram utilizados a solução conhecida por PEW (15% KOH, 40% álcool etílico, 45% água, em peso) e as condições de revelação otimizadas para a detecção de nêutrons térmicos com este conjunto detector-conversor [9]: 55 minutos de revelação, campo elétrico de $44,2 \text{ kV}/\text{cm}$, frequência de oscilação do campo de $2,0 \text{ kHz}$ e temperatura de 30°C . Sob essas condições o detector apresenta uma sensibilidade a nêutrons térmicos de $2,67(10) \text{ tr}/\text{n}$ e um *background* intrínseco de $89(16) \text{ tr}/\text{cm}^2$.

Para a utilização do método semi-empírico foram realizadas irradiações com o monitor a $0,5\text{m}$, $1,0\text{m}$, $1,5\text{m}$ e $2,0\text{m}$ da fonte.

As irradiações com e sem cone de sombra foram feitas com o monitor a $2,02\text{m}$ da fonte.

Além disso, foram feitas várias irradiações com o monitor a $1,0\text{m}$ da fonte, variando-se o tempo de irradiação entre 6 e 26 horas, de forma a se aplicar o método da variação do tempo de irradiação.

RESULTADOS E ANÁLISE

Determinação da resposta do monitor a nêutrons rápidos. Os resultados obtidos para os três métodos empregados são apresentados na Tabela 1, aonde os valores representados pelos números romanos de I a IV são, respectivamente, os obtidos pelos métodos semi-empírico, do cone de sombra, da variação do tempo de irradiação e a média destes três valores. A fluência mínima detectável foi determinada, conforme o recomendado por Piesch *et al* [10], a partir da densidade de traços determinada pelo dobro do desvio padrão do *background*.

Tabela 1 Desempenho do detector

sensibilidade (tr/n)	I	$2,52(8) \times 10^{-3}$
	II	$2,63(10) \times 10^{-3}$
	III	$2,62(10) \times 10^{-3}$
	IV	$2,58(5) \times 10^{-3}$
sensibilidade ($\text{tr}/\text{mSv}\cdot\text{cm}^2$)		$4,4(2) \times 10^3$
fluência mínima (n/cm^2)		$1,2(6) \times 10^4$
fluência máxima (n/cm^2)		$8,7(3) \times 10^6$
dose mínima (μSv)		7(3)
dose máxima (mSv)		5,0(2)

As curvas utilizadas para os métodos semi-empírico e da variação do tempo de irradiação são apresentadas nas Figuras 1 e 2, respectivamente.

Segundo Portal *et al* [11], é necessário, para fins de dosimetria de nêutrons, um limite mínimo de detecção menor que $80\mu\text{Sv}/\text{mês}$ de exposição. Dessa forma, nota-se que o detector desenvolvido tem plenas condições, no que concerne a

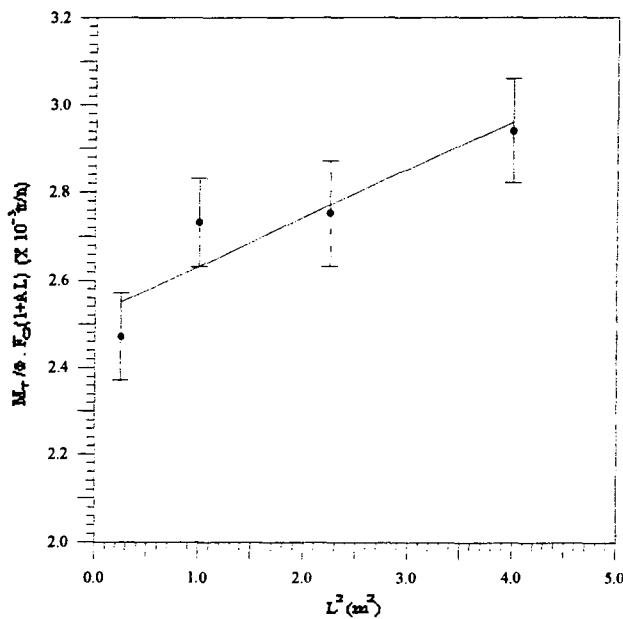


Figura 1: Variação da resposta corrigida do monitor com o quadrado da distância à fonte.

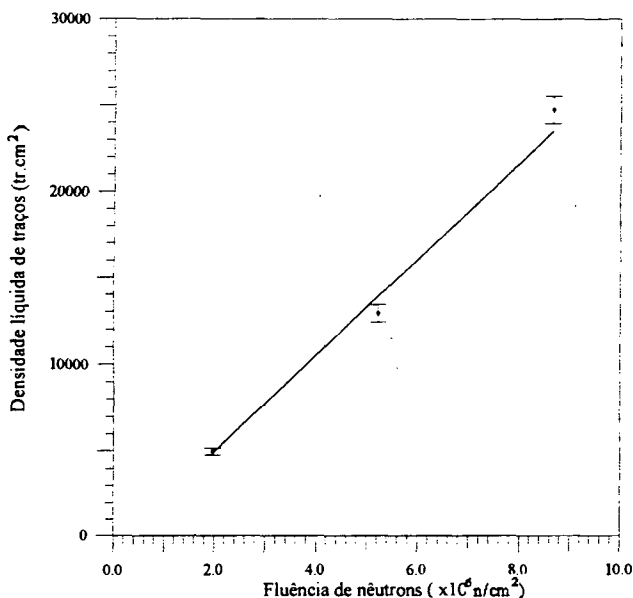


Figura 2 Resposta do monitor a nêutrons rápidos, a 1 m da fonte.

essa exigência, de ser utilizado como monitor de área para integração de dose mensal ou mesmo quinzenal.

CONCLUSÕES

O detector de nêutrons desenvolvido apresentou resultados bastante satisfatórios em termos de sensibilidade e limites de dose, os quais se adaptam perfeitamente às exigências impostas para a utilização como monitor de área de leitura mensal ou mesmo quinzenal.

A dependência energética da resposta do detector, no entanto, não foi verificada, de forma que sua utilização em campos neutrônicos significativamente diferentes do emitido pelo $^{241}\text{AmBe}$ pode resultar em leituras incorretas. Ainda

assim, os resultados obtidos por Hankins [2] para a dependência energética de um detector semelhante levam a crer que os eventuais erros emergentes de tal utilização não devem comprometer seriamente a confiabilidade das medidas.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer à Bayer do Brasil pela doação do material detector utilizado neste trabalho; ao CAPES pelo apoio financeiro; e aos Drs. Marília Cruz e Luciano Fratin (IFUSP) pela cessão do arranjo utilizado para as irradiações.

REFERÊNCIAS

- [1] Bramblett, R. L., Ewing, R.I., and Bonner, T. W. A new type of neutron spectrometer. *Nucl. Instrum. Methods*, 9: 1-12, 1960.
- [2] Hankins, D. E. New methods of dose-rate evaluation. In: *Neutron Dosimetry* Vienna, IAEA, 1963.
- [3] National Bureau of Standards **Protectoin against neutron radiation up to 30 million electron volts**. National Comitee of Radiation Protection, Subcomitee 4, NBS Handbook 63 (1957)
- [4] Jasiak, J., Burgkhardt, B. and Piesch, E. A passive neutron dose equivalent meter for environmental and area monitoring in the low dose range. In: *Proceedings of the 5th Symposium on neutron dosimetry* (Munich, 17-21 sept. 1984).
- [5] Fratin, L. **Dosimetria de nêutrons**, Tese de doutoramento apresentada ao Instituto de Física da Universidade de São Paulo, 1993.
- [6] Draft Standard Proposal **Procedures for calibrating and determining the response of neutron measuring devices used for radiation protection**. ISO TC85/SC2/WG2/SG3 (B), 1989.
- [7] Hunt, J. B. The calibration of neutron sensitive spherical devices. *Radiat. Prot. Dosim.*, 8 (4): 239-251, 1984.
- [8] Eisenhauer, C. M., Hunt, J. B. and Schwartz, R. B. - Calibration techniques for neutron personal dosimetry. *Radiat. Prot. Dosim.*, 10 (1-4): 43-57, 1985.
- [9] Zahn, G. S. e Khouri, M. C. Detecção de nêutrons térmicos utilizando o SSNTD Makrofol DE. *Anais do II Encontro Nacional de Aplicações Nucleares*. (Caxambu, MG, Brasil, 25-30 de Outubro, 1993). Associação Brasileira de Energia Nuclear, 1993, p. 39-40.
- [10] Piesch, E., Al Najjar, S. A. R. and Ninomiya, K. - Neutron dosimetry with CR 39 track detectors using electrochemical etching: Recent improvements, dosimetric characteristics and aspects of routine application. *Radiat. Prot. Dosim.*, 27: 215-230, 1989.
- [11] Portal, G. and Dietze, G. Implications of new ICRP and ICRU recommendations for neutron dosimetry. *Radiat. Prot. Dosim.*, 44 (1-4): 165-170, 1992.

ABSTRACT

In this work we studied a neutron detector based on the nuclear track detector Makrofol DE (Bayer, Germany), in association to the BN (n,α) converter, produced by Kodak Pathé, in the center of a 25 cm polyethylene sphere. The sensibility to neutrons of the $^{241}\text{AmBe}$ spectra was determined as 4,4 (2) tr/mSv.cm², resulting in a detection range from 7 μ Sv to 5,0 mSv, which enables it to measure integrated doses over periods like two weeks or one month.