

ESTUDO DA MODERAÇÃO DE NÊUTRONS UTILIZANDO O ESPECTRO DE $^{241}\text{Am-Be}$ COM MATERIAIS HIDROGENADOS

SANTOS A.R.L.⁽¹⁾, SILVA F.S.⁽¹⁾, FREITAS B.M.⁽²⁾, TAVARES D.Y.S.⁽³⁾, MARTINS M. M.⁽¹⁾
PEREIRA W.W.⁽¹⁾

Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD/LNMRI/LN)⁽¹⁾

Programa de Engenharia Nuclear (COOPE/UFRJ)⁽²⁾

Instituto de Engenharia Nuclear (IEN/CNEN)⁽³⁾

aleiras@ird.gov.br

Resumo: Este trabalho tem como objetivo o estudo de possíveis materiais para a moderação de nêutrons utilizando de uma fonte de $^{241}\text{Am-Be}$, de forma a tentar minimizar as taxas de $H_p(10)$ e $H^*(10)$, reduzindo assim a dose efetiva dos Indivíduos Ocupacionalmente Expostos (IOE) que manipulam diariamente esta fonte. Foram realizadas medições com fonte de nêutrons de $^{241}\text{Am-Be}$, utilizando a espectrometria de Bonner em um sistema eletrônico de posicionamento com distância de 50 cm, desde o centro da fonte até o centro do espectrômetro. Os materiais utilizados para moderação dos nêutrons foram: parafina, silicone e resina com microesferas de PVC.

Palavras-chave: espectrometria; moderação de nêutrons; radioproteção.

Abstract: This work intends to assess materials for moderation of neutrons, trying to reduce the rate of $H_p(10)$ and $H^*(10)$, reducing the effective dose of Occupationally Exposed Workers (OEW) who handle this source daily. The neutron spectra moderated by different materials was performed with a neutron source of $^{241}\text{Am-Be}$ in an electronic positioning system, using a neutron spectrometry with Bonner Sphere at 50 cm from the center of source. The materials used for moderation were paraffin, silicone and Polyvinyl Chloride (PVC) resin ball.

Keywords: spectrometry, moderation of neutrons, radioprotection.

1. INTRODUÇÃO

Os nêutrons assim como os demais tipos de radiação ionizante, podem ser produzidos numa larga faixa de energias, apresentando propriedades de atenuação substancialmente diferentes para diversas energias. A divisão dos nêutrons em grupos de energia é arbitrária, sendo utilizada neste trabalho a mesma classificada por (BERGER, 1965), ou seja:

- ✓ Térmico: $0,01 < E_m < 0,3 \text{ eV}$;
- ✓ Epitérmico: $0,3 \text{ eV} < E_m < 10 \text{ keV}$; e
- ✓ Rápido $10 \text{ keV} < E_m < 20 \text{ MeV}$

Os nêutrons térmicos são aqueles que estão em equilíbrio térmico com o meio à temperatura ambiente. Isto ocorre quando o nêutron, ao atravessar a matéria, sofre colisão, perdendo energia até que atinja a distribuição em equilíbrio com a dos átomos e moléculas do meio.

Nêutrons de alta energia possuem alto fator de conversão de fluência para $H_p(10)$ ou $H^*(10)$ gerando altas doses, já nêutrons de baixa energia possuem fator menor gerando assim baixas doses de $H_p(10)$ ou $H^*(10)$. Se uma fonte de nêutron de alta energia for moderada, a mesma perderá energia até que alcance uma faixa energética menor, onde o fator de conversão de

fluência para $H_p(10)$ seja mínimo. Dessa forma, a dose estará sendo reduzida em relação à dose de nêutrons inicial à qual o IOE havia sido exposto.

Figura 1. Coeficiente de conversão de fluência para $H_p(10)$ e $H^*(10)$.

Dessa forma, uma alternativa proposta para a detecção dos nêutrons rápidos é a moderação dos mesmos até a energia térmica, sendo possível a utilização de detectores para os nêutrons térmicos resultantes. Isto é feito cobrindo-se os detectores usados para nêutrons térmicos com material moderador. Através de uma moderação adequada, é possível que o nêutron rápido transfira sua energia para o material moderador e interaja com o detector de nêutrons térmicos. Bons moderadores são compostos primordialmente por hidrogênio, deutério, berílio, carbono e oxigênio. (AWSCHALOM e SANNA, 1985; KNOLL, 1989).

Fontes de nêutrons são amplamente utilizadas para testes e calibrações de dispositivos sensíveis a nêutrons, como monitores individuais, monitores de área e outros (ROBERTS *et al.*, 2013). E são diariamente manipuladas para esta finalidade.

Os efeitos biológicos causados por nêutrons e suas radiações secundárias são altamente danosos, se não forem controlados. Portanto, as informações dos espectros do campo de radiação de nêutrons são fundamentais na proteção radiológica. (KHABAZ; & HAKIMABAD, 2011).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

As medições dos espectros da fonte de $^{241}\text{Am-Be}$ sem moderação e moderadas por diferentes materiais foram realizadas com o Espectrômetro de Multiesferas de Bonner (EMB). A fonte de $^{241}\text{Am-Be}$ utilizada possui atividade de 185GBq e taxa de emissão de $1,06 \times 10^7$ nêutrons/segundo; tendo sido calibrada no sistema da padronização primária de Banho de Sulfato

Manganês do Laboratório de Nêutrons. O LN é um dos laboratórios integrantes do Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes (LNMRI).

O EMB consiste de um conjunto de 6 esferas de polietileno de alta densidade e um detector central de nêutrons térmicos de 4 mm × 4 mm de $^6\text{LiI(Eu)}$. As esferas utilizadas possuem diâmetros de 2" (5,08 cm), 3" (7,62 cm), 5" (12,70 cm), 8" (20,32 cm), 10" (25,40 cm) e 12" (30,48 cm). A maior vantagem deste método é a extensa faixa de energia que o mesmo permite a medição de uma distribuição espectral que se alonga dos - nêutrons térmicos até dezenas de MeV. (FREITAS, B. M., 2014; AWSCHALOM e SANNA, 1985).

Os materiais confeccionados e utilizados para moderação (**Figura 2**) foram: parafina, silicone e resina com microesferas de PVC de até 1 mm. Os cilindros foram confeccionados nas seguintes proporções: diâmetro externo de 14 cm, diâmetro interno de 6 cm e altura de 19 cm.

Figura 2. Materiais hidrogenados utilizados nas medições (da esquerda para direita) resina com microesferas de PVC, silicone e parafina.

No processo de irradiação, o centro geométrico do cristal de $^6\text{LiI(Eu)}$ foi alinhado na mesma altura que o centro geométrico da fonte de nêutrons, na distância horizontal de 50 cm. Foram realizadas de medições das taxas de contagem da fonte de $^{241}\text{Am-Be}$ com e sem moderação. Dessa forma o detector foi exposto com e sem esferas, separadamente, por tempo suficiente para a obtenção de uma única contagem que fornecesse uma incerteza estatística menor que 1%.

Esses materiais hidrogenados anteriormente citados têm por objetivo principal moderar os nêutrons criando espectros diversos para análise, tendo como base para essas análises o espectro de $^{241}\text{Am-Be}$ sem moderação e comparando-o com o espectro da ISO 8529-1.

As condições de exposição e medida foram as seguintes: Temperatura: 22,6° C ($\pm 0,5$); Umidade: 47% ($\pm 5\%$); Pressão Atmosférica: 1021 hPa ($\pm 0,5$).

3. RESULTADOS

De acordo com as especificações e procedimentos citados anteriormente, foram medidos e quantificados quatro espectros: ^{241}Am -Be sem moderação alguma; ^{241}Am -Be moderado com parafina; ^{241}Am -Be moderado com silicone; ^{241}Am -Be moderado com resina e microesferas de PVC. Os espectros obtidos podem ser vistos na **Figura 3**.

Figura 3. Espectros da fonte de ^{241}Am -Be: referência da ISO 8529-1; medição sem moderação; moderado por Parafina; moderado por Silicone e moderado por resina + PVC.

A comparação do espectro desta fonte sem moderação com o espectro de referencia publicado na ABNT NBR ISO 8529-1 mostra concordância. Sendo assim, as medições e o processo de desdobramento são validados. É possível observar que os materiais modificam significativamente o espectro de nêutrons em relação ao espectro de referência. Na **Tabela 1** é apresentado a redução percentual da fluência, $H_p(10)$ e $H^*(10)$, dos espectros moderados em comparação ao espectro não moderado.

Tabela 1. Redução percentual da fluência e das grandezas $H_p(10)$ e $H^*(10)$ dos espectros moderados em comparação com o espectro não moderado.

Material	Grandezas		
	Fluência	$H_p(10)$	$H^*(10)$
Silicone	43%	70%	70%
Parafina	1%	4%	5%
Resina + PVC	0%	23%	23%

As moderações de Parafina e Resina + PVC apresentam pouca ou nenhuma redução da fluência de nêutrons em comparação com o espectro não moderado. Entretanto, mesmo

assim é possível observar uma redução percentual nos valores de $H_p(10)$ e $H^*(10)$. Isto se deve ao fato de que os coeficientes de conversão de fluência para as grandezas de $H_p(10)$ e $H^*(10)$ apresentam valores menores para algumas faixas de energias do que para outras. Sendo assim, mesmo que a fluência não tenha tido uma redução, a moderação do espectro de nêutrons por estes matérias leva os nêutrons de uma faixa de energia no qual este coeficiente apresente alto valor para uma região de energia aonde este coeficiente apresente um valor menor, reduzindo significativamente o valor das grandezas $H_p(10)$ e $H^*(10)$ dos espectros moderados quando comparados com o espectro sem moderação.

Já a moderação de silicone apresenta uma significativa redução, chegando a 43% na grandeza fluência e 70% nas grandezas $H_p(10)$ e $H^*(10)$. Mostrando que este material é um bom moderador do espectro de ^{241}Am -Be, quando o objetivo é reduzir as taxas de $H_p(10)$ e $H^*(10)$, reduzindo assim a dose efetiva do IOE que manipula diariamente esta fonte.

4. CONCLUSÕES

Utilizando como base os espectros moderados, com os materiais citados anteriormente, e os coeficientes de conversão ABNT NBR ISO 8529-1, foi possível verificar a redução na dose absorvida ao se utilizar alguns materiais moderadores.

O fator de qualidade da radiação (fator Q) para nêutrons depende fortemente da energia. Havendo moderação, este fator passa de um alto valor para um valor reduzido, podendo assim reduzir de forma considerável a dose efetiva dos IOE que manipulam diariamente fontes de nêutrons.

Porém ao se quantificar a redução percentual das grandezas de fluência, $H_p(10)$ e $H^*(10)$, dos espectros moderados em comparação com o espectro não moderado, observou-se que

alguns materiais não apresentam redução significativa na fluência e assim, baixa redução percentual nos valores de dose em $H_p(10)$ e $H^*(10)$.

Com base nos resultados, o silicone demonstrou ser o melhor moderador dentre os três materiais, apresentando a maior redução percentual tanto da fluência quanto nas grandezas $H_p(10)$ e $H^*(10)$. Foi capaz de moderar os nêutrons para uma faixa de energia onde o fator de qualidade da radiação (fator Q) apresenta baixos valores, gerando uma redução de aproximadamente 70% no equivalente de dose $H_p(10)$ e uma diminuição na fluência, após moderação, de 43%.

Sendo assim, este material pode ser utilizado para a confecção de uma blindagem de transporte para fonte de nêutrons como $^{241}\text{Am-Be}$.

Atualmente outros materiais estão em estudo para esta mesma finalidade, assim como a simulação com método de Monte Carlo destes materiais aqui estudados e de outros que venham a ser produzidos.

5. REFERÊNCIAS

FREITAS, B. M. - Estimativa do Fator de Correção do Espalhamento de Nêutrons do Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes na Calibração com Fonte de $^{241}\text{Am-Be}$ - (Dissertação de Mestrado em Radioproteção e Dosimetria), Instituto de Radioproteção e Dosimetria – IRD. Rio de Janeiro, Brasil, 2014.

KHABAZ, R.; HAKIMABAD, H. M. - Determination of $^{241}\text{Am-Be}$ Spectra using Bonner Sphere Spectrometer by Applying Shadow Cone Technique in Calibration. Journal of Applied Sciences 11(15) 2849-2854 (2011).

AWSCHALOM, M.; SANNA, R. S. - Applications of Bonner Sphere Detectors in

Neutron Field Dosimetry. Radiat. Prot. Dosim., Vol. 10 No. 1-4 pp. 89-101 (1985).

ROBERTS, N. J., JONES, L. N., LIU, Z. Z., TAGZIRIA, H. and THOMAS, D. J - Bonner sphere measurements of $^{241}\text{Am-B}$ and $^{241}\text{Am-F}$ neutron energy spectra unfolded using high-resolution a priori data, 2013, Radiat. Prot. Dosim., Advance Access published October 14. DOI: 10.1093/rpd/nct238.

BERGER, H. Neutron Radiography Methods, Capabilities and Applications Argonne National Laboratory, 1965, p. 10.

KNOLL, G. F., Radiation Detection and Measurement, 3rd Ed., John Wiley & Sons, 1999.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. Radiações de nêutrons de referência, Parte 1: Características e métodos de Produção, 2011, ABNT NBR ISO 8529-1, Rio de Janeiro.

