

Determinação da Radiação Espalhada no Laboratório de Calibração com Nêutrons do IPEN

Determination of the Scattered Radiation at the Neutron Calibration Laboratory of IPEN

Tallyson S. Alvarenga¹, Claudio A. Federico², Caio C. S. Valeriano¹ e Linda V.E. Caldas¹

¹ Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Comissão Nacional de Energia Nuclear (IPEN/CNEN), São Paulo, Brasil;

² Instituto de Estudos Avançados, Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (DCTA/IEAv), São Paulo, Brasil.

E-mail: talvarenga@ipen.br, claudiofederico@ieav.cta.br e lcaldas@ipen.br

Resumo: Com o aumento do uso de técnicas que utilizam radiação de nêutrons, houve um crescimento considerável no número de detectores para esse tipo de radiação. Foi projetado um laboratório de calibração de detectores com nêutrons (²⁴¹AmBe). Nas situações práticas neste tipo de laboratório, um dos problemas principais está relacionado ao conhecimento da radiação espalhada. Com o intuito de avaliar esta radiação espalhada, foram realizadas simulações sem a presença dos elementos estruturais e com a sala completa. Foram avaliados quatorze pontos de medições em direções diferentes a várias distâncias.

Palavras-chave: Calibração, Detector de nêutrons, Espalhamento da radiação.

Abstract: With the increased use of techniques using neutron radiation, there has been a considerable growth in the number of detectors for this kind of radiation. A neutron calibration laboratory with neutron radiation (²⁴¹AmBe) was designed. In practical situations of this type of laboratory, one of the main problems is related to the knowledge of scattered radiation. In order to evaluate this scattered radiation, simulations were carried out without the presence of structural elements and with the complete room. Fourteen measuring points were evaluated in different directions at various distances.

Keywords: Calibration, Neutron detector, Radiation scattering .

1. INTRODUÇÃO

A radiação de nêutrons é utilizada em três áreas: industrial, pesquisa e médica. Na indústria, o uso da radiação de nêutrons destaca-se pela geração de energia nuclear e prospecção de petróleo. Na área médica, os nêutrons são usados em terapia de captura de nêutrons por boro

(BNCT). No campo científico, os nêutrons estão presentes nos estudos de fissão e fusão[1].

A utilização de um sistema de medição da radiação de nêutrons é de suma importância, pois permite monitorar uma área e avaliar a segurança das instalações e dos operadores. A obtenção de uma medição confiável da radiação de nêutrons é uma tarefa muito difícil, devido ao grande

intervalo de energia, aos seus mecanismos complexos de interação com a matéria e a diferentes geometrias de irradiação. Consequentemente, a resposta obtida pelo instrumento é limitada, podendo ocorrer uma sub ou superestimativa da dose; essa é uma característica da maioria dos instrumentos disponíveis comercialmente [2].

No passado, a monitoração de indivíduos expostos a radiações de nêutrons era muito limitada; somente os trabalhadores de reatores e aceleradores precisavam ser monitorados. Essa demanda é crescente devido ao aumento do uso de técnicas na indústria, pesquisa e na área médica, que utilizam radiações de nêutrons, aumentando assim o número de trabalhadores potencialmente expostos a essa radiação, e assim levando a uma necessidade maior de monitoração individual.

A calibração dos instrumentos de medição de radiação, tais como os monitores de radiação e os dosímetros, é realizada com o objetivo de assegurar medições precisas e exatas com uma incerteza associada, atendendo às exigências estabelecidas pelas autoridades regulamentadoras [3].

A calibração é definida como um conjunto de operações que estabelece a relação entre os valores indicados por um instrumento de medição e os valores obtidos por um sistema padrão [4]. Segundo a norma NE 3.02 da CNEN, é obrigatória a calibração dos instrumentos de medição por entidades autorizadas, em conformidade com as normas específicas, para garantir que o instrumento esteja trabalhando devidamente [5]. Os laboratórios de calibração devem possuir seus campos de radiação bem caracterizados, e as condições de calibração muito bem controladas.

No Brasil só há um laboratório de calibração de detectores de radiação de nêutrons, localizado no Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes (LNMRI/IRD-CNEN, Rio de Janeiro), com uma demanda muito grande de

serviços com este tipo de radiação. Assim, tendo em vista que o IPEN possui mais de 30 equipamentos detectores de nêutrons utilizados pelos trabalhadores dos dois reatores nucleares e dos dois cíclotrons, além de várias fontes radioativas, que necessitam ser calibrados periodicamente, com o intuito de descentralizar a oferta de calibração, surgiu a necessidade da montagem de um segundo laboratório de calibração com nêutrons, no IPEN, com o propósito de atender à demanda interna e externa [6].

Nas situações práticas envolvendo a calibração de detectores de radiação de nêutrons, um dos problemas principais está relacionado à radiação espalhada, que pode variar dependendo das dimensões do laboratório usado nos procedimentos de calibração. Por causa dos nêutrons espalhados, o seu espectro, medido num certo ponto do laboratório de calibração, não é o mesmo espectro que é emitido pela fonte de nêutrons, consequentemente influenciando a leitura do instrumento a ser calibrado e ocasionando um erro sistemático na calibração dos dispositivos para medição de nêutrons.

Como parte do processo de caracterização do campo de radiação do novo Laboratório de Calibração com Nêutrons do IPEN (LCN), este trabalho tem o intuito de avaliar a influência da radiação espalhada pelos componentes estruturais da sala: paredes, portas, teto, piso e solo, em diferentes posições de calibração, na resposta dos detectores. Futuramente, serão realizadas medições experimentais com o intuito de se avaliar a concordância entre os resultados obtidos de forma experimental e os simulados.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização da simulação do LCN do IPEN, utilizou-se o código de Monte Carlo MCNP5. Este código foi desenvolvido e é mantido pelo Laboratório Nacional de Los

Alamos (EUA); é um método estatístico no qual se utiliza uma sequência de números aleatórios com a finalidade de solucionar problemas matemáticos e físicos, os quais são muito difíceis de serem obtidos de maneira direta; pode ser utilizado para o cálculo de transporte de radiação de nêutrons, fótons e elétrons [7].

Foram simuladas 2×10^9 histórias, com o *tally* F4, com o objetivo de obter resultados com incertezas menores. A geometria utilizada foi baseada nas plantas baixas do laboratório, disponíveis no IPEN, bem como as medições no local, para garantir que todas as dimensões utilizadas na simulação estejam em concordância com as do laboratório.

O laboratório está localizado no prédio do Bunker (local semi-enterrado), que é uma instalação integrante do Laboratório de Calibração de Instrumentos, da Gerência de Metrologia das Radiações. O LCN possui dimensões de 6,88 m x 5,46 m e paredes de concreto com espessura de 15 cm e cobertas por *drywall*. O laboratório possui 2,8 m de altura, sendo que o teto de concreto possui 15 cm de espessura, e o piso de granito 5 cm de espessura.

A inserção da constituição dos materiais do LCN no código MCNP5 foi feita com base nos dados do relatório PNNL-15870 [8].

Com o intuito de avaliar a radiação espalhada, que ocorre devido à interação dos nêutrons com o ar e com os componentes estruturais do laboratório tais como: piso, teto, paredes e portas, foram realizadas simulações sem a presença dos elementos estruturais (utilizando apenas o ar que preenche a sala de calibração) e com a sala completa (com todos os componentes estruturais).

A fonte radioativa utilizada para realização deste estudo foi de $^{241}\text{AmBe}$ (37 GBq), posicionada à altura de 140 cm do piso, mesma altura utilizada nos procedimentos de calibração. O espectro desta fonte, utilizado na simulação, foi obtido por meio da norma ISO 8529-1 [3].

Foram avaliados quatorze pontos de medições em direções perpendiculares em várias distâncias: direção A: entre 25 cm e 300 cm; e na direção B: entre 10 cm e 200 cm, em relação à fonte de $^{241}\text{AmBe}$.

Nos pontos de medição foram inseridas esferas de ar com 1,0 cm de raio, preenchidas com o mesmo material que preenche a sala (ar atmosférico).

3. RESULTADOS

A figura 1 apresenta a localização dos pontos de medição e a geometria da sala, utilizadas no código MCNP5.

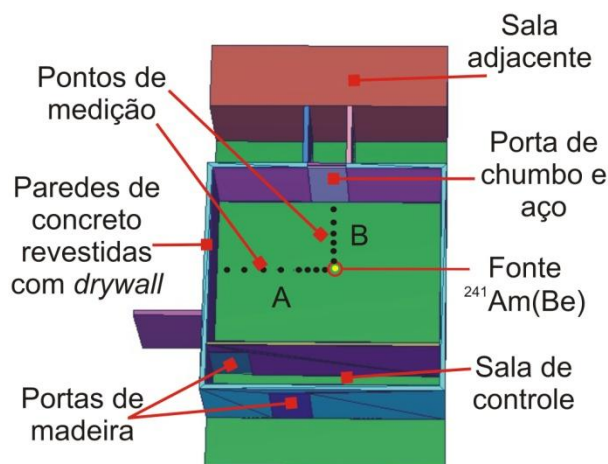


Figura 1. Geometria da instalação do LCN, utilizada nas simulações de Monte Carlo com o código MCNP5.

Em cada um dos quatorze pontos de medição foi determinado o espectro de nêutrons na sala sem os componentes estruturais e com todos os componentes estruturais. Com o objetivo de evitar as incertezas advindas das mudanças da geometria no código de Monte Carlo, todas as superfícies e células foram mantidas, mas a densidade dos materiais foi considerada nula.

O espectro obtido em cada ponto de medição foi convertido em equivalente de dose ambiente $H^*(10)$, utilizando os coeficientes de conversão da ICRP 74 [9] e os valores do fluxo de nêutrons foram obtidos diretamente do código MCNP5.

A radiação de nêutrons espalhada foi determinada por meio da razão entre os valores obtidos de $H^*(10)$ da sala com todos os componentes e os valores $H^*(10)$ da sala sem os componentes estruturais. O mesmo procedimento foi empregado na avaliação da influência sobre o fluxo de nêutrons [10]. Os resultados da influência da radiação espalhadas do fluxo de nêutrons e dos valores de $H^*(10)$ obtidos nos quatorze pontos de medição são apresentados na tabela 1.

Tabela 1. Influência da radiação espalhada na determinação do fluxo de nêutrons e do $H^*(10)$ nos pontos de medição.

Distância da fonte de $^{241}\text{AmBe}$ (cm)	Influência (%)	
	$H^*(10)$	Fluxo de nêutrons
	Direção A	
25	1,9	5
50	6,6	15
75	12,6	28
100	21,9	42
150	35,1	59
200	44,6	70
250	54,3	78
300	91,5	84
Direção B		
10	0,2	1
25	1,8	4
40	4,4	10
70	12,2	26
100	22,7	42
200	48,4	71

A partir dos resultados na tabela 1, é possível observar que as posições de calibração nos sentidos A e B a 200 cm, em relação à fonte de nêutrons, apresentam uma influência da radiação espalhada de 44,6 % e de 48,4% para os valores

de $H^*(10)$. Esta influência é devido ao espalhamento dos nêutrons, ocasionado pela interação dos nêutrons com os componentes estruturais do laboratório, principalmente as paredes e o piso e uma das portas compostas por ferro e chumbo.

4. CONCLUSÕES

Por meio desse estudo foi possível avaliar a influência da radiação espalhada nos componentes estruturais do laboratório. Desta forma, pode-se concluir que a calibração deve ser realizada às distâncias menores de 200 cm em relação à fonte, atendendo à norma ISO 8529-2[10], a qual recomenda que a distância máxima seja fixada de tal forma que o aumento da leitura devido ao espalhamento na sala seja menor que 40 %.

5. REFERÊNCIAS

- [1] LUSZIK-BHADRA, M.; ALBERTS, W. G.; DIETZ, E.; GULDBAKKE, S. Aspects of combining Albedo and track etched techniques for use in individual neutron monitoring. *Radiation Protection Dosimetry*, v.46 (1), p.31-36, 1993.
- [2] SCHUHMACHER, H. Neutron calibration facility. *Radiation Protection Dosimetry*, v. 110, p. 33-42, 2004.
- [3] ISO, INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Reference Neutron Radiations – Part 2: Characteristics and Methods of Production, ISO 8529-1, 2001.
- [4] INMETRO, INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE e TECNOLOGIA. Vocabulário Internacional de Metrologia: Conceitos Fundamentais e Gerais e Termos Associados (VIM). 1ª edição luso-brasileira, 2012.
- [5] CNEN, COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR, Diretrizes Básicas de Radioproteção, NN-3.01/004, Rio de Janeiro, 2011.

[6] ALVARENGA, S. T. Instalação e Caracterização Básica de um Laboratório para Testes de Monitores Portáteis com Radiação de Nêutrons. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, 2014.

[7] MCNP — A general Monte Carlo N-particle transport code, Version 5. LA-UR-03-1987. Los Alamos National Laboratory, 2008.

[8] McCONN, JR. R. J; GESH, C. J, PAGH, R. T; RUCKER, R. A; WILLIAMS, R. G. Radiation portal monitor project. Compendium of material composition data for radiation transport modeling. PNNL-15870, Rev. 1, Pacific Northwest National Laboratory, 2011.

[9] ICRP, INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION.

Conversion Coefficients for use in Radiological Protection against External Radiations, Report 74, Pergamon Press, Oxford, 1996.

[10] ISO, INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Reference Neutron Radiations. Calibration Fundamentals of Radiation Protection Devices related to the Basic Quantities characterizing the Radiation Field. ISO 8529, Part 2, Geneva, 2000.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às agências de fomento CAPES, FAPESP, CNPq e ao MCTIC, com o projeto INCT – Metrologia das Radiações na Medicina, pelo apoio financeiro.