

ANISOTROPIA DE FONTES DE NÊUTRONS DO LABORATÓRIO DE METROLOGIA DE NÊUTRONS

Silva, A.C.F.¹, F.S.Silva¹, S.P.Leite², Creazolla, P.G¹, K.C.S.Patrão, E.S.da Fonseca¹, S.S.Fernandes¹, W.W.Pereira¹

¹ National Metrology Laboratory of Ionizing Radiation LNMRI/IRD.
Av. Salvador Allende, s/n, Barra da Tijuca, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Alexander.camargo@oi.com.br

s.felippesouza@gmail.com

karla@ird.gov.br

walsan@ird.gov.br

evaldo@ird.gov.br

simonesilvafernandes@gmail.com

prycyllacreazolla@gmail.com

² Fundação Técnico Educacional Souza Marques – FTESM. Av. Ernani Cardoso, 335, Cascadura, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

leitesprk@gmail.com

RESUMO

As medidas de anisotropia têm como objetivo principal definir a emissão da radiação por diferentes ângulos de uma fonte de nêutrons encapsulada. As medidas foram realizadas usando um Detector de Contador Longo de Precisão (PLC) na Sala de baixa dispersão do LNMRI / IRD com diferentes fontes de nêutrons. Cada medida foi feita utilizando um suporte para a fonte, emulado através de um sistema arduino para rotaciona-lo. O suporte é marcado com uma variação de 5°, indo de 0° a 360°, para o trabalho em questão utiliza-se apenas metade, 0° a 180° com um total de dezenove passos. Neste artigo foram utilizadas três fontes de ²⁴¹AmBe (α, n) 5.92 GBq (16 Ci), as fontes de nêutrons têm as seguintes dimensões: 105 mm de altura e 31 mm de diâmetro. O PLC foi posicionado a uma distância de 2 metros da fonte de nêutrons e tem um raio de 15 cm para a área de detecção. O fator de anisotropia da fonte de ²⁴¹AmBe foi de 17%. Os resultados neste trabalho incidirão principalmente na área de radioproteção e em estudos que aperfeiçoarão o processo de medições de rotina em laboratórios e calibrações de instrumentos.

1. INTRODUÇÃO

A metrologia de nêutrons ao atuar na calibração de monitores de área para nêutrons necessita utilizar uma fonte de nêutrons padronizada em um sistema absoluto tal como o Banho de Sulfato de Manganês (BSM) ou que seja calibrada em um sistema secundário como o detector do tipo Precision Long Counter (PLC). Estes dois sistemas permitem, sob condições específicas, a determinação da taxa de emissão da fonte de nêutrons e a estimativa de incertezas que serão conhecimentos característicos iniciais para a calibração dos monitores de nêutrons⁽¹⁾.

Geralmente, conhecendo-se o espectro em energia de uma fonte de nêutrons e a taxa de emissão dessa fonte, pode-se construir um modelo simples em que, num espaço amplo e livre de obstáculos, estejam posicionados a fonte de nêutrons e o monitor de área a ser calibrado. Diante deste modelo é possível construir uma dependência funcional entre a referência que expressa a grandeza operacional de interesse com a distância entre a fonte de nêutrons e o instrumento a ser calibrado⁽²⁾.

Outras correções devem ser introduzidas neste modelo, como a dependência funcional da grandeza de interesse numa determinada distância, para uma representação mais realística dentro de um laboratório de calibração. O espalhamento de radiação de nêutrons devido as interações com o ar e materiais que delimitam o laboratório tais como: teto, paredes e solo, entre outros também devem ser considerados. Estes são fatores relevantes no aperfeiçoamento deste modelo. As correções poderiam incluir fatores individuais ligados a cada um dos materiais considerados ou produzir um único fator que daria conta da contribuição do espalhamento⁽²⁾.

Existe ainda uma última correção a ser considerada para este modelo e esta tem a ver com a construção das fontes de nêutrons. Geralmente, os fabricantes constroem as fontes de nêutrons baseadas em radionuclídeos radioativos com encapsulamentos em aço que seguem rigorosas regras de construção que garantem uma integridade longa. Quando a taxa de emissão dessas fontes se dá de forma isotrópica pela fonte, não é necessária nenhuma correção. Entretanto, o material radioativo presente em fontes de nêutrons é distribuído e encapsulado em geometrias cilíndricas podendo levar a pequenas diferenças na espessura do aço e na distribuição do material radioativo. Isto causa efeitos de anisotropia na emissão de nêutrons, devido às diferenças produzidas na taxa de emissão de nêutrons em relação ao eixo axial da fonte^(1,2).

Sendo assim, um procedimento de medição que leve em consideração o fator de anisotropia de fontes de nêutrons contribuirá para a solução de alguns problemas, particularmente com relação às grandes incertezas, associadas à dosimetria de nêutrons para radioproteção. Beneficiando assim tanto os profissionais da área de radioproteção quanto aqueles que estão expostos a campos de nêutrons, além de servir para ampliar os padrões de nêutrons no

Laboratório de Metrologia de Nêutrons por meio da criação de novas linhas de CMC (Calibration and Measurement Capability)^(1,2).

Para a medição da taxa de emissão total de uma fonte de nêutrons a ser calibrada, é necessário considerar alguns fatores que são exclusivos do tipo de dispositivo usado e que podem variar de acordo com o ângulo de incidência de nêutrons⁽¹⁾. Um formato ideal de fonte a ser usada para calibração é aquela em que se aproxima de uma fonte pontual com emissão isotrópica⁽²⁾. Entretanto, as fontes de nêutrons comercialmente disponíveis geralmente têm o formato cilíndrico com os componentes radioativos duplamente encapsulados com materiais leves, geralmente aço inoxidável ou zircônio para evitar qualquer vazamento e minimizar a correção de nêutrons espalhados no material. Além disso, é comumente considerado que a emissão de nêutrons é produzida de forma isotrópica em relação ao eixo do cilindro. Todavia, mesmo seguindo normas nacionais e internacionais, variações na espessura dos materiais no processo de encapsulamento das fontes de nêutrons fazem com que a emissão ocorra de forma anisotrópica, devido à dispersão elástica e inelástica sofrida pelos nêutrons⁽³⁾. Além da forma como o material radioativo é encapsulado, quanto maior a diferença entre o comprimento do cilindro e o diâmetro da fonte, maior será a diferença na intensidade da emissão de nêutrons em relação ao eixo da fonte, resultando numa emissão anisotrópica de nêutrons.

2. METODOLOGIA

2.1. Cálculo de anisotropia

Na ausência de qualquer meio de dispersão, a taxa de fluência de nêutrons, ϕ , em um ângulo θ , medido em relação ao eixo do cilindro a um determinado ponto de calibração numa distância L do centro da fonte, cuja taxa de emissão total absoluta é B e $F(\theta)$ é o fator de anisotropia, é representada pela expressão (1) e sua unidade é dada em $\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ^(3,4):

$$\phi(L, \theta) = \frac{B F_1(\theta)}{4\pi L^2} \quad (1)$$

Se a emissão de nêutrons de uma fonte cilíndrica não depender do ângulo azimutal α , mas somente sobre o ângulo θ , uma vez que a emissão de nêutrons varia menos para a direção perpendicular ao eixo ($\theta = 90^\circ$), aplica-se então a expressão (2) em qualquer prática de calibração⁽⁵⁾:

$$B = 2\pi L^2 \int_{\theta=0}^{\pi} \phi(L, \theta) \sin \theta d\theta \quad (2)$$

Experimentalmente, isso pode ser determinado usando um detector do tipo *PLC* numa distância de 2 metros do centro da fonte^(3,5). O fator de anisotropia $F(\theta)$ é definido a partir da substituição da expressão (1) na expressão (2) que resultará na equação (3). As medições devem realizadas com variações de dez graus ou menos.

$$F_1(\theta) = \frac{2\phi(L, \theta)}{\int_{\theta=0}^{\pi} \phi(L, \theta) \sin \theta d\theta} \quad (3)$$

A integral pode ser substituída pela soma dos fatores de anisotropia $F(\theta_\alpha)$, pois ambas as funções na integração apresentam-se contínuas dentro dos limites de integração. Para cada ângulo de medição θ_α ⁽⁵⁾. Onde $C(L, \theta_i)$ é a taxa de contagem no ângulo θ_i corrigida para os efeitos de tempo morto numa distancia L e aplicado para todos os ângulos entre $(\theta_{i-1} + \theta_i)/2$ e $(\theta_i + \theta_{i+1})/2$ ⁽⁶⁾. Sendo assim, modificando a equação (3) para a equação (4) pode-se avaliar os coeficientes de anisotropia num ângulo Θ_α a partir do eixo da fonte.

$$F_1(\theta_\alpha) = \frac{2C(L, \theta_\alpha)}{\sum_{i=1}^n C(L, \theta_i) \times \left[\cos\left(\frac{\theta_{i-1} - \theta_i}{2}\right) - \cos\left(\frac{\theta_i + \theta_{i+1}}{2}\right) \right]} \quad (4)$$

Onde:

Θ_α : ângulo de interesse para cada medição;

Θ_i : ângulo para cada medição “i”, que vai de 1 a 19, assumindo valores a partir de $\theta_i = (i - 1) \times 10^\circ$;

$F(\theta_\alpha)$: Coeficiente de anisotropia da fonte num ângulo α ;

$C(L, \theta_i)$: Taxa de contagem obtida numa distancia L a partir do PLC;

$C(L, \theta_\alpha)$: Taxa de fluência de nêutrons em uma posição (L, θ) em relação ao centro da fonte para a mesma distância L de uma fonte isotrópica pontual com a mesma taxa de emissão total.

A determinação do fator de anisotropia no ângulo de 90° em relação ao eixo cilíndrico da fonte tem uma importância maior por ser a direção mais usada para a calibração do detector e ter uma variação mínima de emissão com o ângulo. Portanto, é desejável fazer medições extras nesta direção para $F(\theta=90^\circ)$ a fim de reduzir a incerteza estatística⁽⁷⁾.

2.2. Procedimento de determinação de anisotropia

A descrição de um procedimento padrão de medição de anisotropia em fontes de nêutrons é baseada nas medições de anisotropia realizadas no Laboratório de Metrologia de Nêutrons usando o detector do tipo PLC.

O PLC consiste essencialmente em um conjunto de moderadores cilíndricos de polietileno com um detector BF_3 para nêutrons lentos, disposto ao longo do seu eixo. O conjunto está contido dentro de um revestimento de alumínio para prevenir a destruição do polietileno. Uma fonte interna é fornecida para a calibração BF_3 ⁽¹¹⁾. As principais vantagens deste contador para a medição da fluência de nêutrons e conseqüentemente para calibração é que ele possui uma alta eficiência para detecção rápida de nêutrons, uma resposta relativamente uniforme aos nêutrons de diferentes energias e uma boa discriminação de raios gama⁽¹²⁾.

A medição da emissão de nêutrons é em função do ângulo polar θ entre a direção do detector e o eixo da fonte (Figura 1). Sendo assim, a medição de anisotropia foi realizada a partir do alinhamento horizontal da fonte com o detector a uma distância de 2 metros. As fontes utilizadas nas medições foram Californio-252 (^{252}Cf) e Amerício-Berílio-241 ($^{241}\text{Am-Be}$).

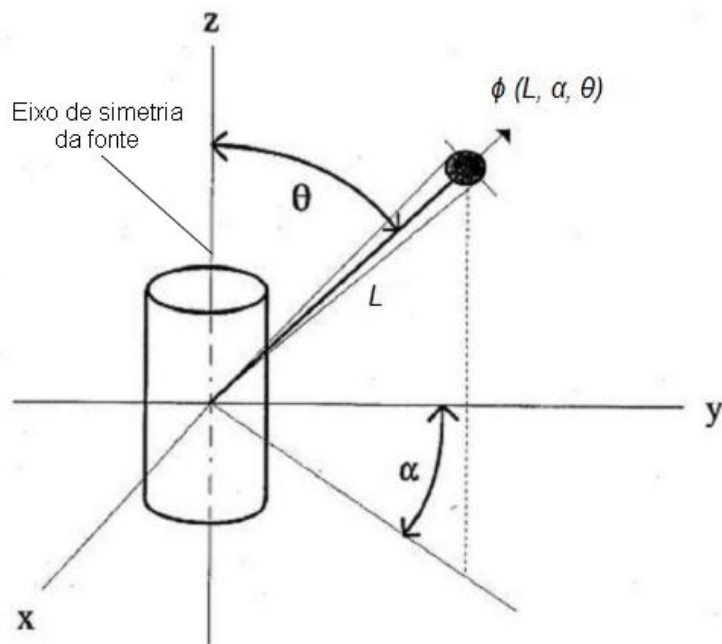


Figura 1: Sistema de coordenadas de uma fonte cilíndrica com emissão anisotrópica.

A fonte de nêutrons tem um encapsulamento reforçado para conter o elemento radioativo, nem sempre esse encapsulamento é igual em todos os ângulos, gerando assim uma perda de atividade da fonte em certas posições.

As medições são feitas em uma sala de baixo espalhamento no laboratório de nêutrons, permitindo total eficácia e confiabilidade no experimento.

Foi utilizado um sistema mecânico de rotação de fontes (Figura 2) controlado eletronicamente e útil para evitar repetidas aproximações do operador com a fonte em cada medição. Esse sistema é composto por um motor de passo de quatro fases (NEMA 17), com 200 passos por volta, acoplado a uma caixa de redução (redução aproximada de 25:1). Para o controle do motor foi utilizada uma placa controladora (driver) e uma placa do ARDUINO, que proporciona a interface computador/motor. E um programa específico do ARDUINO foi desenvolvido para a movimentação do motor.

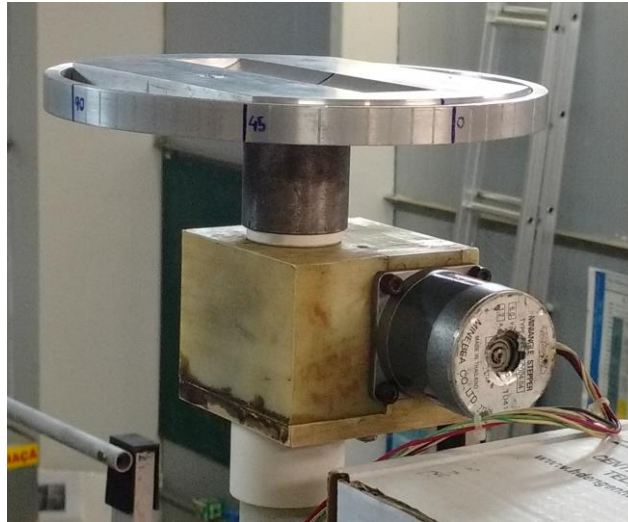


Figura 2: Sistema mecânico de rotação de fontes

O eixo da fonte foi orientado de forma que pudesse estar alinhado ao detector e a fonte foi posicionada no sistema mecânico de rotação, o que permitiu que a fonte pudesse ser girada a partir do ângulo de 0° até 360° . Foram realizadas 19 medições durante 900 segundo cada, variando em ângulos de 10° . Foram realizadas 5 medições na posição de 90° , 270° e 360° em relação ao eixo cilíndrico da fonte sem alterar o intervalo de tempo.

As contagens totais e o tempo de contagem constituem dados de entrada para um programa de computador, ANISOT, que calcula os fatores de anisotropia para cada ângulo das 19 medições.

2.3. Monte Carlo

Para a simulação da anisotropia das fontes de nêutrons é usado o monte carlo (versão 2.5.0), primeiro foi construído uma geometria para a base onde fica a fonte (figura 2) e usando as dimensões da fonte de $^{241}\text{AmBe}$ de ^{16}Ci foi feita uma geometria para a mesma ser colocada em cima da base. A simulação apresenta um método diferente do experimental, mas servindo para o mesmo propósito. A base para fonte juntamente com a fonte é posicionada no centro do programa, e em uma distância de 2 metros são posicionados 19 detectores em ângulos diferentes em volta da fonte, respectivamente de 0° a 180° . Esse método para a simulação é mais simples do que fazer 19 simulações diferentes, sendo uma para cada ângulo.

3. RESULTADOS

A taxa de contagem da fonte de AmBe ^{16}Ci de 0° a 180° teve uma variação crescente até o ponto de 90° , logo, uma variação decrescente de 90° a 180° .

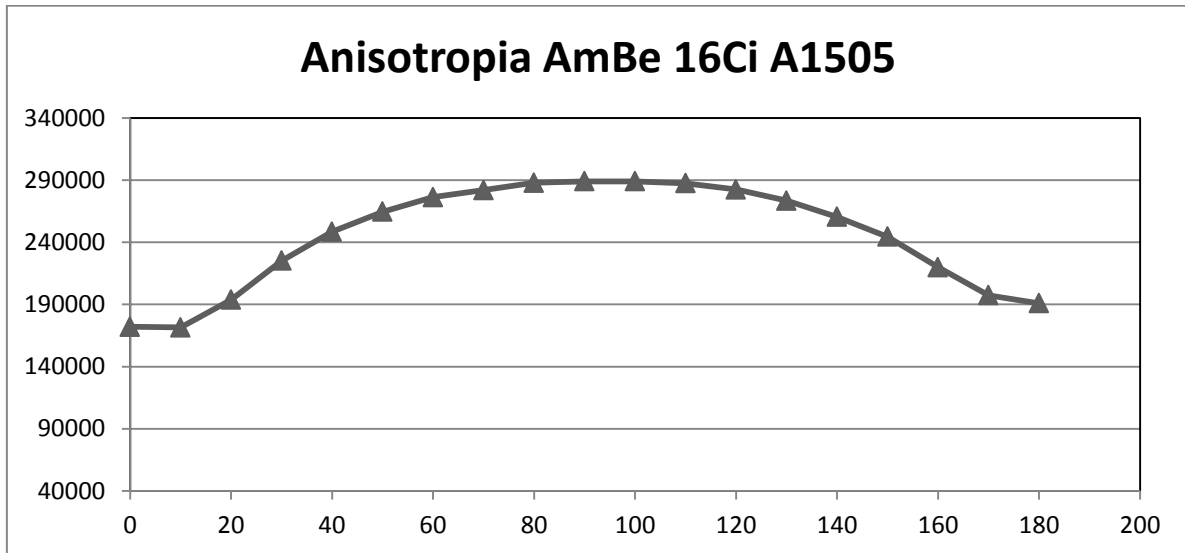


Figura 3: Gráfico da curva anisotrópica da fonte AmBe 16Ci

O fator de anisotropia da fonte de $^{241}\text{AmBe}$ ^{16}Ci foi de 8%, tornando-a uma fonte isotrópica, com uma variação de atividade dependendo do ângulo.

4. CONCLUSÃO

Com isso temos que a fonte de $^{241}\text{AmBe}$ de ^{16}Ci é isotrópica. O resultado deste trabalho beneficiará principalmente a área de radioproteção, melhorando a qualidade dos cálculos para uma blindagem mais segura, diminuindo os riscos nas áreas públicas, e nos estudos que melhorarão o processo de medições de rotina em laboratórios e calibrações de instrumentos.

REFERÊNCIAS

1. (Astuto, 2014) A. Astuto, A.P. Salgado, S.P. Leite, K.C.S. Patrão, E.S. Fonseca, W.W. Pereira, and R.T. Lopes. Thermal neutron calibration channel at LNMRI/IRD Radiat Prot Dosimetry (2014) 161 (1-4): 185-189 first published online March 13, 2014 doi:10.1093/rpd/ncu040

2. (Pereira, 2005), PEREIRA, W. W. ; FONSECA, E. S. ; LEITE, J. O. ; PATRAO, K. C. S. . Metrologia de Nêutrons no Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes. Revista Brasileira de Pesquisa e Desenvolvimento, v. 7, p. 113-119, 2005
3. (ISO, 2001), “Characteristics and Methods of Production”, International Organization for Standardization, ISO-8529-1. Neutron Reference Radiation - Part 1, Switzerland.
4. International Organization for Standardization. *Reference neutron radiation-part 1, characteristics and methods of production*. ISO 8529-1 (Geneva: 150) (2001)
5. British Nuclear Energy Society. *Radiation dose management in the nuclear industry*. 2nd International Conference on Remote Techniques for Nuclear Plants, Stratford-upon-Avon (United Kingdom). Pag. 71 -73 (260p) (1995)
6. Eisenhauer, C. M., Hunt, J. B. and Schwartz, R. B. *Calibration techniques for neutron personal dosimetry*. Radiat. Prot. Dosim. Vol.10 n°.1-4. Pag.43-57 (1958)
7. Kowatari, M., ONUMA, I., TANIMURA, Y., KAWASAKI K., SAEGUSA, J. e YOSHIZAWA, M. *Determination of the Anisotropic Emission Factor for Neutrons from ²⁴¹Am-Be Source*. Radioisotopes. Vol. 57. N°9. 559-569(2008)
8. Bardell, A. G., Burke, M., Hunt, J. B., Tagziria, H. e Thomas, D. J., *Anisotropy of Emission from Radionuclide Neutron Sources*, NPL Report CIRM 24, December (1998)
9. Hawkes, N. P., FREEDMAN, R. TAGZIRIA, H. e THOMAS, D.J. *Measurement and calculation of the emission anisotropy of an XI ⁵²⁵Cf Neutron Source*. Radiat. Prot. Dosim. Vol.126 n°.1-4. Pag.78-82 (2007)
10. Tagziria. H.,Roberts, N., Bennett, A. e Thomas, D. J. *Calibration and Monte Carlo Modelling of the NPL Long Counters at 22.8 keV*. NPL Report CIRM 48 (2001)
11. PANGHER, J., NICHOLS, L.L., A. *Precision Long Counter For Measuring Fast Neutron Flux Density*. In: Report BNWL-260, Pacific Northwest Laboratory (1966).
12. MASSAND, O. P. *Investigation of Some Properties of the Precision Long Counter*. Commission of the European Communities. CBNM, Luxembourg. pag. 6-7 (60 pag) (1972).