

Estudo da espectrometria de uma fonte de ^{252}Cf moderada em água leve

T R Coutinho, W W Pereira

Laboratório de Metrologia de Nêutrons - LN
Instituto de Radioproteção e Dosimetria,
Av. Salvador Allende, 3773 – Barra da Tijuca, Rio de Janeiro - RJ, 22780-160.
E-mail: thayna.r.coutinho@gmail.com / walsan@ird.gov.br

RESUMO

O Laboratório de Metrologia de Nêutrons (LN) é referência em metrologia de nêutrons, sendo responsável pela custódia e manutenção do Padrão Brasileiro de Fluência de Nêutrons. O objetivo deste estudo foi determinar os valores de fluência, equivalentes de dose ambiente e individual produzidos por uma fonte de ^{252}Cf posicionada dentro de uma esfera de aço preenchida com água leve. Os valores de fluência foram determinados usando o espectrômetro multiesferas de Bonner para 84 faixas de energia de nêutrons de 10^9MeV até 20MeV . Os valores de fluência total, equivalente de dose pessoal e ambiente foram determinados e suas incertezas estimadas.

Palavras-chave: metrologia de nêutrons, fonte de ^{252}Cf e espectrômetro multiesferas de Bonner.

1. INTRODUÇÃO

Através da necessidade de conhecer e avaliar a energia de Fluência de nêutrons, o Laboratório de Metrologia de Nêutrons (LN) do Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes (LNMRI/IRD), que por sua vez, é o protetor do Padrão Brasileiro de Fluência de Nêutrons, tem por principal objetivo assegurar a disponibilidade de padrões primários nacionais de fluência de nêutrons e de grandezas relacionadas à dose para campos de nêutrons. A espectrometria deve ser utilizada para melhorar o conhecimento do espectro em locais de trabalho e também melhorar os padrões de nêutrons nacionais, para isso, o LN desenvolve trabalhos com o espectrômetro de multiesferas de Bonner (EMB). EMB é um sistema bastante utilizado em laboratórios por ser capaz de contar nêutrons de diferentes faixas de energia desde térmicos até rápidos. Esse trabalho tem a proposta de analisar um novo espectro de nêutrons usando uma fonte de ^{252}Cf imersa em um material moderador.

2. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

2.1. Fundamentos Teóricos

2.1.1. Nêutrons

Os nêutrons são partículas encontradas no núcleo de um átomo. Ao contrário dos prótons e elétrons, os nêutrons não possuem carga elétrica, sendo assim, eletricamente “neutros”. Essas partículas sem carga podem ser removidas do núcleo do átomo por algum processo de rearranjo nuclear, desta forma, ele apresenta um espectro compreendido em energia, podendo variar de 0 eV até energias da ordem de GeV, de acordo com a tabela 1.

Tabela 1 – Classificação dos nêutrons de acordo com a quantidade de energia cinética [Zamboni, 2007].

CLASSES	FAIXA DE ENERGIA (eV)
LENTOS	$0 < E < 10^{-3}$
FRIOS	$E < 0,01$
TÉRMICOS	$0,01 < E < 0,5$
EPITÉRMICOS	$0,5 < E < 10^4$
RESSONÂNCIA	$1 < E < 100$
RÁPIDOS	$10^3 < 20 \times 10^6$
ULTRA - RÁPIDOS	$E > 20 \times 10^6$

2.1.2. Interação dos nêutrons com a matéria

Os nêutrons por não possuírem carga eles interagem de vários modos com o núcleo. Essas interações precisam produzir algum tipo de radiação secundária, também conhecida como radiação indiretamente ionizante. Existem duas classificações para essas interações, denominadas de *espalhamento* e *absorção*. As reações de espalhamento podem ser classificadas como *espalhamento elástico* e *espalhamento inelástico*. O espalhamento elástico ocorre quando o nêutron colide com um núcleo alvo de massa igual ou próxima à dele, como os materiais hidrogenados. Neste tipo de interação, há a conservação da energia cinética, o nêutron muda de direção e transfere parte de sua energia para o núcleo alvo. No espalhamento inelástico, o núcleo alvo tem massa maior que a dele, sendo por ele capturado, formando um núcleo composto num estado excitado, que decai num outro nêutron de menor energia e com a emissão do restante de energia sob a forma de radiação gama. Portanto, neste processo não há conservação da energia cinética, pois parte da energia de movimento do nêutron inicial se converteu em energia gama. Nas reações de *absorção* ou *captura*, os processos mais importantes são de *captura radioativa* e a *fissão*. As reações de capturas radioativas, do tipo (n,γ) ou com a emissão de partículas carregadas do tipo (n,α) e (n,p) e, alguns casos específicos, (n,f) , ou seja, fissão nuclear, nêutrons rápidos são de baixa probabilidade e ocorrem com poucos núcleos. [Tauhata, 2014]

2.1.3. Dosimetria de nêutrons

Nêutrons são detectados através de reações nucleares que resultam na produção de partículas carregadas, como prótons, alfas e outros. Com isso, os detectores de nêutrons possuem algum núcleo para servir como alvo, que na interação com os nêutrons produzem partículas carregadas. Isto é, o núcleo alvo funciona como um conversor de nêutrons para radiação detectável. Devido ao fato da relação de choque variar bruscamente em função da energia dos nêutrons, as técnicas foram desenvolvidas para a detecção dos nêutrons separadamente em cada faixa de energia [Knoll, 1989]. Medidas espectrométricas são necessárias em uma ampla faixa de energia, desde as muito baixas (térmicas), encontradas em acelerados nucleares; passando pelas energias intermediárias encontradas na indústria nuclear; até altas energias (vários GeV) encontradas na dosimetria de raios cósmicos [Azevedo, 2013]. O espectrômetro de multiesferas de Bonner (EMB) é um sistema de espectrometria de nêutrons que consiste em um detector de nêutrons térmicos localizados no centro de varias esferas moderadoras de diferentes diâmetros, geralmente construídas de polietileno de alta densidade. Este sistema é muito utilizado e estudado em diversos laboratórios. O EMB utiliza um detector de cintilação $6\text{Li}(\text{Eu})$ e um conjunto de seis esferas de polietileno com o diâmetro de 2" (5,08cm), 3" (7,62cm), 5" (12,70cm), 8" (20,32cm), 10" (25,40cm) e 12" (30,48cm). O espectro de nêutrons é obtido utilizando-se os diferentes graus de moderação proveniente de cada esfera: a esfera de menor diâmetro é mais sensível aos nêutrons incidentes de menor energia, e a esfera de maior diâmetro é mais sensível aos nêutrons incidentes de maior energia [Lemos Jr, 2005].

2.1.4. Fontes de nêutrons

Dentre as fontes discretas de nêutrons, destacam-se as de fontes de fissão espontânea, como ^{252}Cf , e as do tipo (α, n) , como $^{241}\text{Am-Be}$, $^{239}\text{Pu-Be}$, $^{210}\text{Po-Be}$, $^{241}\text{Am-B}$, $^{241}\text{Am-F}$, $^{238}\text{Pu-}^{13}\text{C}$ e $^{226}\text{Ra-Be}$. O ^{252}Cf

é produzido em reatores de alto fluxo, e decai por emissão de alfa fissão espontânea, emitindo isotropicamente nêutrons, fótons e partícula alfa⁷. Sua taxa de emissão de nêutrons prontos por fissão é de aproximadamente $2,31 \times 10^{12}$ n/s-g, com energia média de 2,1 MeV [Andrade]. Fontes de ²⁵²Cf são encontradas em laboratórios de pesquisa nuclear fundamental e aplicada, por exemplo, para auxiliar na calibração de instrumentos de medição, física da fissão nuclear e radioatividade, dentre outras práticas.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. *Materiais*

Os materiais utilizados para o levantamento de contagens para a realização da espectrometria foram:

- Esfera de aço inoxidável
- Água leve
- Fonte de ²⁵²Cf
- Espectrômetro de multiesferas de Bonner

3.2. *Métodos*

Foram feitas medições utilizando uma fonte de ²⁵²Cf situada no centro da cavidade uma esfera de aço inoxidável de 30 cm de diâmetro representada na figura 1, preenchida com um material moderador e localizada a uma distância de 100 cm do Espectrômetro de multiesferas de Bonner.



Figura 1 – Esfera de aço com diâmetro de 30 cm antes de ser preenchida com água leve [arquivo pessoal].

A característica essencial de um material moderador é que este possua alta seção de choque de espalhamento, preferencialmente na faixa rápida e baixa seção de choque de absorção. Diante disto, o material moderador escolhido foi água destilada (leve), uma vez que esta modera dimensões, ajuda absorver nêutrons e apresenta baixo custo. O material moderador foi introduzido na cavidade esférica como na figura 2.



Figura 2 – Esfera de aço sendo preenchida com água leve [arquivo pessoal].

Após a esfera ser completamente preenchida com água leve, colocou-se a fonte de ^{252}Cf no suporte de fonte ilustrado na figura 3, logo após o suporte com a fonte foi introduzido na esfera como na figura 4 para realização das medições.



Figura 3 – Suporte da fonte a de ^{252}Cf [arquivo pessoal].



Figura 4 – Esfera de aço com suporte e fonte inserido [arquivo pessoal].

Com a esfera totalmente preenchida com o material moderador e com a fonte depositada em seu interior, foi realizada a primeira medição no Laboratório de baixo espalhamento (LBM) situado no LN. A primeira medição feita com o espectrômetro de multiesferas de Bonner a uma distancia de 100 cm da fonte ^{252}Cf moderada com água leve. A primeira esfera utilizada foi a de 12", e assim, sucessivamente decrescendo de tamanho até a esfera de 2".



Figura 5 – Primeira medição realizada no LBM com a esfera de 12" a 100 cm de da fonte [arquivo pessoal].

Ao todo foram feitas ao todo 15 medições com esferas de Bonner de diferentes diâmetros e por diferentes tempos de contagens. Também foram realizadas 5 medições com o detector NU, por diferentes tempos de contagens para avaliar o BG do laboratório de baixo espalhamento. Todas as medições realizadas tem o objetivo de fazer a caracterização do espectro com o mínimo de influencia possível. A partir das contagens obtidas pelas esferas do EMB, foi gerado um espectro de nêutrons normalizados para um valor de referencia com sua matriz resposta para então ser deconvoluido utilizando o método de Redes Neurais para aquisição de demais valores como fluência, equivalente de dose, entre outros. Por meio deste programa, foi possível chegar à elaboração do espectro da fonte de ^{252}Cf e as demais informações da fonte apresentadas nos resultados.

4. RESULTADOS

Foi estudado o caso da fonte de $^{252}\text{Cf}+\text{H}_2\text{O}$ pelo fato de no laboratório haver diversas esferas e também com finalidade de obter novas informações para o LN. No LBE, realizamos o levantamento do espectro utilizando o EMB a uma distancia de 100 cm, os dados estão na tabela 2 e os valores adquiridos pelo NeuraLN utilizando os dados coletados compõem a tabela 3.

Tabela 2 – Demonstra a média dos resultados obtidos no total das contagens.

MÉDIA DAS CONTAGENS	TAMANHO DA ESFERA
0,347740741	Nu
0,963888889	2"
2,532222222	3"
4,489861111	5"
4,024583333	8"
3,205277778	10"
2,072638889	12"

Tabela 3 – Apresenta os parâmetros determinados por meio da deconvolução do espectro.

Energia Média	Taxa de Fluência	Taxa Eq. de Dose Ambiente	Taxa Eq. de Dose Individual	Coef. de conv. de fluência para H*(10)	Coef. de conv. de fluência para Hp(10,0)
E (MeV)	ϕ (d) (n.cm ⁻² .s ⁻¹)	H*(10) (μSv.h ⁻¹)	H _p (10,0) (μSv.h ⁻¹)	h*(10) (pSv/n)	hp(10,0) (pSv.cm ⁻² /n)
1,1238 ± 0,06	3,20E+01 ± 1,6E+00	3,45E+01 ± 1,7E+00	5,09E+01 ± 2,5E+00	424 ± 21	441 ± 22

Pode-se observar uma atenuação no espectro, na faixa epitérmica, demonstrando o processo de moderação que ocorre devido à interação entre os nêutrons emitidos pela fonte os átomos de hidrogênio presentes na água, a seguir na figura 6 temos um espectro que afirma essa constatação.

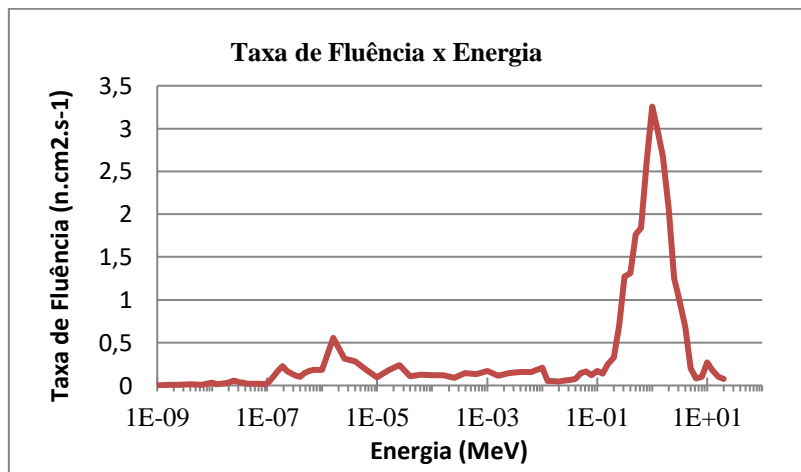


Figura 6 – Espectro da fonte de ²⁵²Cf obtido pelo programa NEURALN através dos resultados encontrados com as esferas de polietileno [arquivo pessoal].

5. CONCLUSÃO

Nêutrons de baixa energia são mais fáceis de ser encontrados na natureza, a moderação de fontes industriais por meio aquoso torna os espectros das mesmas do que encontramos em situações de exposição à radiação. Para essa moderação ser eficiente, é preciso utilizar átomos que possuam uma alta seção de choque, como por exemplo, materiais hidrogenados, que fazem com que os nêutrons percam energia nessas interações. O material escolhido foi água leve, esse material possibilita que o espectro esteja mais próximo a realidade e que não aconteçam sub ou superestimação no uso dos instrumentos de calibração em ambientes nucleares que envolvam o uso de fontes de nêutrons. Concluímos que, de acordo com os resultados obtidos, a utilização da água leve, faz com que seja possível estudar e compreender o comportamento dessas fontes, e assim, proporciona um auxílio para o desenvolvimento de um novo espectro que poderá ser utilizado na calibração de monitores de área e monitores individuais.

REFERÊNCIAS

Andrade, A.P. de A.; Campos, T.P.R. de; “Adequação de espectros de nêutrons epitérmicos à terapia de captura neutrônica”; Belo Horizonte/Brasil.

Azevedo, G.A.; Pereira, W.W.; Patrão, K.C.S.; FONSECA, E.S.; “*Estudo da reprodutibilidade das medições com espectrômetro de multiesferas de Bonner*”. International Atlantic Conference – INAC, 2013, Santos/Brasil.

Knoll, G. F.; *Radiation Detection and Measurement. 2ed./1989*

Lemos Jr, R.M. de; Silva, A.X. da; Pereira, W.W.; Souza, E.M. de; Leite, S.P.; “*Determinação de uma matriz resposta para o espectrômetro de multiesferas de Bonner*”. International Atlantic Conference – INAC, 2005, Santos/Brasil.

Tauhata, L.; *Radioproteção e dosimetria: fundamentos/ 10ª – Revisão – abril/2014*, Instituto de Radioproteção e Dosimetria – CNEN, Rio de Janeiro/Brasil.

Zamboni, C.B.; *Fundamentos da física dos nêutrons/2007*, Editora Livraria da Física, SP/Brasil.