

Espectrometria de nêutrons em um acelerador cíclotron utilizando o sistema de esferas de Bonner e detectores termoluminescentes

J. A. L. Santos^{1,2}; E. C. Vilela²; A. M. Guimarães³; M. A. S. Lacerda³

¹Departamento de Energia Nuclear, Universidade Federal de Pernambuco, 50740-540, Recife-Pe, Brasil

²Laboratório de Nêutrons, Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste, 50740-540, Recife-Pe, Brasil

³Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, 31270-901, Belo Horizonte-MG, Brasil

jasantos@cnen.gov.br

(Recebido em 29 de novembro de 2010; aceito em 04 de novembro de 2011)

O espectro neutrônico pode apresentar uma grande variação em energia em um mesmo ambiente e alguns métodos experimentais foram desenvolvidos para determinar a distribuição espectral em função da energia. Para a realização de tal tarefa, a espectrometria neutrônica exerce papel fundamental na determinação do fluxo de nêutrons ($\Phi_E(E)$). A informação sobre o espectro permite a determinação de outras grandezas radiológicas como o Equivalente de Dose Ambiental [$H^*(10)$]. No entanto, a caracterização do campo de nêutrons é um problema complexo devido à ocorrência das interações peculiares dos nêutrons com a matéria. No presente estudo, os espectros de energia de nêutrons foram obtidos por meio do sistema espectrômetro de Esferas de Bonner (EB), tal sistema é constituído por seis esferas de polietileno de alta densidade com diâmetros diferentes, onde no centro de cada esfera é utilizado um detector de nêutrons térmicos. O objetivo deste trabalho é avaliar a utilização do detector termoluminescente (TLD) como detector de nêutrons térmicos, sendo inserido em cada esfera cinco TLDs $^6\text{LiF:Mg,Ti}$ e cinco $^7\text{LiF:Mg,Ti}$, conhecidos como TLD600 e TLD700, respectivamente. Esses detectores foram escolhidos pela boa reprodutibilidade e baixa sensibilidade, o que permite seu uso em campos de alta intensidade. Os resultados deste estudo demonstram que o sistema EB-TLD pode ser utilizado na realização espectrometria de nêutrons em campos de alta intensidade, como o que ocorre na vizinhança de aceleradores cíclotrons.

Palavras-chave: espectrometria neutrônica; dosimetria termoluminescente.

The neutron spectrum can provide a great variation in energy in the same environment and some experimental methods have been developed to determine the spectral distribution as a function of energy. To carry out this task, the neutron spectrometry perform a fundamental role in determining the neutron fluence ($\Phi_E(E)$). The spectrum information allows the determination of others radiological quantities such as Ambient Dose Equivalent [$H^*(10)$]. However, the characterization of the neutron field is a complex problem due to the occurrence of the peculiar interactions of neutrons with matter. In this study, the energy spectra of neutrons were obtained by the Bonner Sphere Spectrometer (BS), such system consists of six levels of polyethylene with high density and different diameters. The aim of this study is to evaluate the use of thermoluminescent detector (TLD) as a detector of thermal neutrons. Ten thermoluminescent detectors (TLD) were placed in the center of each ball, five $^6\text{LiF:Mg,Ti}$ and five $^7\text{LiF:Mg,Ti}$, also known as TLD600 and TLD700, respectively. These detectors were chosen for good reproducibility and low sensitivity, which allows its use in fields of high intensity. The results of this study show that combination of TLDs embedded in an EB system can be used in neutron spectrometry achievement in fields of high intensity, as it occurs in the vicinity of accelerators cyclotrons.

Keywords: neutron spectrometry, thermoluminescent dosimetry.

1. INTRODUÇÃO

A tomografia por emissão de pósitrons (do inglês: *Positron Emission Tomography – PET*) é uma modalidade diagnóstica não invasiva que utiliza radionuclídeos emissores de pósitrons (β^+), sendo o mais comum o flúor-18 (^{18}F) que agregado à molécula de glicose forma o radiofármaco denominado de fluordeoxiglicose (FDG).

O pósitron possui as mesmas características de um elétron, porém com carga positiva. Quando essa partícula é emitida pelo radioisótopo e se depara com um elétron, as duas partículas se aniquilam dando origem a dois fótons com 0,511 MeV de energia e defasados em aproximadamente 180° . Pelo princípio de detecção por coincidência esses fótons são então detectados pelo o equipamento PET, podendo assim aferir processos bioquímicos com alta precisão.

Os exames que utilizam essa técnica, principalmente em oncologia, cardiologia e neurologia, estão entre os que atualmente produzem os resultados mais precisos na medicina, onde a captação do radiofármaco reflete a atividade metabólica ou a atividade proliferativa celular apresentando imagens do metabolismo de órgãos e tecidos [1].

Os isótopos utilizados nos exames PET são produzidos por aceleradores de partículas cíclotron. A Tabela 1 apresenta algumas características físicas dos principais isótopos utilizados nos procedimentos de exames PET.

Tabela 1: Principais emissores pósitrons e suas características.

Reação Nuclear	Valor Q (MeV)	Emissor Pósitron	Meia-Vida (minutos)	$E_{\beta+\max}$ (MeV)
$^{11}\text{B} (p, n) ^{11}\text{C}$	-2,764	Carbono-11 (^{11}C)	20,385	0,960
$^{14}\text{N} (p, \alpha) ^{11}\text{C}$	-2,922	Carbono-11 (^{11}C)	20,385	0,960
$^{16}\text{O} (p, \alpha) ^{13}\text{N}$	-5,217	Nitrogênio-13 (^{13}N)	9,965	1,190
$^{12}\text{C} (d, n) ^{13}\text{N}$	-0,280	Nitrogênio-13 (^{13}N)	9,965	1,190
$^{15}\text{N} (p, n) ^{15}\text{O}$	-3,536	Oxigênio-15 (^{15}O)	2,037	1,720
$^{14}\text{N} (d, n) ^{15}\text{O}$	+5,073	Oxigênio-15 (^{15}O)	2,037	1,720
$^{18}\text{O} (p, n) ^{18}\text{F}$	-2,437	Flúor-18 (^{18}F)	109,770	0,635
$^{20}\text{Ne} (d, \alpha) ^{18}\text{F}$	+2,792	Flúor-18 (^{18}F)	109,770	0,635

Um feixe de partículas carregadas e aceleradas pelo cíclotron pode produzir radiação de fundo como resultado de sua interação com o alvo ou com os componentes do acelerador que estão dispostos naquele ambiente, sendo produzida normalmente radiação de bremsstrahlung, raios X característicos, radiação gama e nêutrons [2, 3].

Para nêutrons, em geral, o intervalo de energia pode se estender desde alguns meV a centenas de MeV, o que torna o desempenho de espectrometria de nêutrons muito importante para a compreensão da fluência energética de nêutrons [$\Phi(E)$] em um determinado ambiente.

Tal conhecimento possibilita o estabelecimento de algumas grandezas dosimétricas, como o Equivalente de Dose Ambiental [$H^*(10)$]. No entanto, esta informação só pode ser obtida por meio de espectrômetros com respostas idealmente isotrópicas e por detectores que sejam eficientes em campos mistos intensos, como o que ocorre na vizinhança de aceleradores cíclotrons.

Assim, o objetivo deste trabalho é avaliar o uso da combinação de detectores termoluminescentes (TLD600 e TLD700) para realização de espectrometria neutrônica na substituição do detector de $^6\text{Li}(\text{Eu})$ como detector de nêutrons térmicos.

1.1 Espectrômetro de Bonner

Dentre os vários métodos utilizados para caracterizar os espectros neutrônicos, o sistema de espectrometria de Bonner (EB), proposto por Bramblett e colaboradores em 1960 [4], é um dos sistemas mais utilizados. Este sistema consiste em um conjunto de esferas moderadoras de polietileno de alta densidade, cujos diâmetros mais comuns são: 5,08 cm (2"); 7,62 cm (3"); 12,70 cm (5"); 20,32 cm (8"); 25,40 cm (10"); e 30,48 cm (12"), com uma densidade de 0,95

$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$, onde no centro de cada esfera é possível acomodar um detector de nêutrons térmicos, cujo intervalo de energia comumente considerado é $E_n \leq 25 \times 10^{-9} \text{ MeV}$ [5].

Devido à sua simetria esférica, o que normalmente resulta em respostas quase isotrópicas, o sistema EB pode ser utilizado em um amplo intervalo de energia, que vai desde os nêutrons térmicos até nêutrons rápidos ($0,2 \text{ MeV} < E_n \leq 10 \text{ MeV}$) [6].

A sensibilidade de cada conjunto esfera-detector a um determinado intervalo de energia depende consideravelmente de seu diâmetro. Isso implica que, para uma esfera pequena, o grau de moderação e de captura é baixo, permitindo que os nêutrons de baixa energia tenham uma razoável probabilidade de detecção. No entanto, para as esferas maiores, existe uma maior probabilidade de ocorrer reações de captura, possibilitando a detecção de nêutrons de alta energia. Entretanto, o sistema EB apresenta uma baixa resolução e a precisão do espectro de nêutrons em energia, obtida pela deconvolução da leitura experimental, é limitada pela escolha de uma matriz resposta adequada [7].

1.2 Detector de nêutrons

A aplicação crescente dos detectores termoluminescentes (TLD) na dosimetria neutrônica foi um dos fatores preponderantes para seu uso na realização deste trabalho. A combinação de fluoretos de lítio, tais como o ${}^6\text{LiF}$ e o ${}^7\text{LiF}$, também conhecidos como TLD600 e TLD700, respectivamente, permite que fótons e nêutrons térmicos sejam discriminados em campos mistos intensos.

Uma vantagem significativa no uso desses materiais é que, além de suas pequenas dimensões e de não necessitarem de equipamentos auxiliares ou cabos durante a realização da medida, os mesmos podem ser reutilizados inúmeras vezes, sem que isso implique na perda de suas propriedades dosimétricas. No entanto, a principal desvantagem é a sua baixa eficiência, o que pode implicar em exposições mais prolongadas a fim de que os TLDs apresentem um limite mínimo detectável [8].

1.3 Deconvolução do espectro

A informação de um espectro neutrônico não é obtida como um resultado direto da contagem no detector. Devido às características do sistema espectrométrico, cada conjunto esfera-detector detecta nêutrons em diferentes intervalos de energia. Assim, a solução do problema de deconvolução do espectro de nêutrons é obtida através da utilização de uma equação integral de primeira ordem conhecida como Integral de Fredholm [9]:

$$C_j = \int_{E_{\min}}^{E_{\max}} \Phi_E(E) \cdot R_j(E) dE \quad j = 1, 2, 3, \dots, m \quad (1)$$

onde C_j é a razão de contagem da j -ésima esfera; $\Phi_E(E)$ é a fluência de nêutrons em um intervalo de energia (E); $R_j(E)$ é a função resposta para a j -ésima esfera em um determinado intervalo de energia (E) e j é o número de esferas detectoras utilizadas pelo sistema espectrométrico.

Embora existam vários métodos para apresentar uma solução formal para este conjunto de equações, nenhum deles é aplicável quando a função resposta ($R_j(E)$) não é conhecida analiticamente, que é o caso do sistema EB. Geralmente, esta função é determinada experimentalmente ou analiticamente por meio de uma matriz resposta com valores discretos. De fato, este problema é resolvido com a solução de m equações lineares, dividindo o intervalo de energia em N regiões definidas do espectro. Assim, a equação 1 pode ser reescrita como:

$$C_j = \sum_{i=1}^N \Phi_i \cdot R_{ij} \quad j = 1, 2, 3, \dots, m \quad (2)$$

onde C_j é a razão de contagem da j -ésima esfera, R_{ij} é a matriz resposta do j -ésimo detector para nêutrons no i -ésimo intervalo de energia; N é o número total de intervalos de energia; e Φ_i é a fluência de nêutrons para o i -ésimo intervalo de energia.

A deconvolução dos espectros de nêutrons, por não ser trivial, é geralmente obtida utilizando códigos computacionais ou softwares desenvolvidos especificamente para este fim. Estes códigos procuram chegar ao espectro de nêutrons a partir de espectros de referência [10]. Vários programas foram desenvolvidos para realizar o desdobramento do espectro, entre eles o código BUNKI [11], utilizado neste trabalho.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O sistema espectrométrico fabricado pela Ludlum Measurements Inc., Modelo 42-5, é constituído por seis esferas de polietileno de densidade $0,95 \text{ g.cm}^{-3}$, cujos diâmetros são: 5,08 cm (2"), 7,62 cm (3"), 12,70 cm (5"), 20,32 cm (8"), 25,40 cm (10") e 30,48 cm (12") e por um cintilador de ${}^6\text{LiI}(\text{Eu})$. Esse sistema permite a investigação do espectro com sete conjuntos esfera-detector, considerando a utilização do detector sem esfera atenuadora (detector descoberto). O cintilador de ${}^6\text{LiI}(\text{Eu})$ foi substituído por 5 pares de TLDs, sendo os mesmos inseridos no centro de cada esfera atenuadora.

Inicialmente o arranjo experimental para determinar o espectro neutrônico com o sistema EB-TLD foi montado no Laboratório de Nêutrons do Centro Regional de Ciências Nucleares (LN/CRCN-NE/CNEN). Cada conjunto esfera-detector foi então exposto a uma fonte de ${}^{241}\text{AmBe}$, cuja taxa de emissão era $(4,46 \pm 0,08) \times 10^6 \text{ n/s}$. Os conjuntos foram posicionados a uma distância de $(75 \pm 1) \text{ cm}$ da fonte, sendo essa distância recomendada para futuras calibrações de rotina de monitores de nêutrons.

Os TLDs utilizados para a realização de espectrometria de nêutrons em campos mistos geralmente indicam uma sobreposição de leituras, devido ao fato de que o sistema EB-TLD estar inserido em um campo constituído por dois componentes de radiação, nêutrons e raios gama.

Assim, devido à sensibilidade dos TLDs à radiação gama, tornou necessária a determinação de um fator de correção para a resposta devido a esse tipo de radiação. Quando os detectores (TLD600 e TLD700) são expostos a um campo misto, a leitura final dos mesmos é expressa pela seguinte relação [12]:

$$R_{600}^{n+\gamma} = R_{600}^n + k \cdot R_{700}^{n+\gamma} \quad (3)$$

onde $R_{600}^{n+\gamma}$ é a leitura total do TLD600, R_{600}^n é contribuição dos nêutrons no TLD600, $R_{700}^{n+\gamma}$ é a leitura total do TLD700 e k , um fator de proporcionalidade, que está relacionado com a sensibilidade de ambos os detectores à radiação gama.

Para obtenção do valor de k , os detectores foram expostos a uma fonte de ${}^{137}\text{Cs}$, cuja taxa de kerma no ar era igual a $(31,05 \pm 0,05) \text{ mGy/h}$. As irradiações foram realizadas por meio de exposições no ar a 1 m de distância da fonte. O valor do fator de proporcionalidade obtido foi de $k = 1,07 \pm 0,08$.

Os valores das leituras com os detectores termoluminescentes (TLD), expressos em nanocoulomb (nC), foram obtidos com a utilização de uma leitora HARSHAW 5500, por meio de tratamentos térmicos com taxa de temperatura de aquisição de 25°C/s , temperatura de aquisição e "anneal" $300^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ [13].

A determinação do espectro na sala de irradiação do ciclotron na Seção de Produção de Radiofármacos do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear

(SECPRA/CDTN/CNEN). Neste ambiente está instalado o ciclotron PETtrace-8, fabricado pela General Electric Company, capaz de acelerar íons de hidrogênio de carga negativa (H^-) em até 16,5 MeV ou íons negativos de deutério (D^-) em até 8,4 MeV. Sendo o valor máximo de corrente para produção de isótopos radioativos de 80 μA para prótons e 60 μA para deutérios. O ciclotron em questão foi projetado para realizar uma irradiação simultânea em até dois alvos de prótons [14].

O espectro foi obtido em um ponto dentro do *bunker* do acelerador, onde os conjuntos esfera-detector foram posicionados a uma distância de (100 ± 1) cm do alvo. Durante o experimento os conjuntos foram expostos durante 5 minutos sob uma corrente de 4 μA .

Todos os dados obtidos, tanto no LN/CRCN-NE como no SECPRA/CDTN foram deconvoluídos utilizando o código BUNKI e traçados na unidade Fluência/Letargia x Energia (MeV). Os mesmos foram comparados com espectros de referência apresentados na ISO 8529 [10] e no TRS N° 403 [15].

A unidade letargia é o logaritmo da normalização da energia ($Leth = \Delta \ln(E/E_0)$), onde E é a energia máxima do nêutron e E_0 é a energia atribuída a partir da contagem de nêutrons. Normalmente essa grandeza é adotada nos gráficos que apresentam as curvas dos espectros neutrônicos com o objetivo de melhorar a sua visualização.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No LN/CRCN-NE, cada conjunto EB-TLD foi exposto à fonte de $^{241}AmBe$, que devido a sua taxa de emissão $(4,46 \pm 0,08) \times 10^6$ n/s, relativamente baixa quando se observa a taxa de emissão de outras fontes neutrônicas, tal valor de emissão fez com que cada conjunto fosse exposto por um intervalo de tempo adequado a fim de possibilitar um limite de detecção dos TLDs. Por exemplo, a esfera de 5,08 cm (2") de diâmetro foi exposta à fonte radioativa por 67 h enquanto que a esfera de 30,48 cm (12") de diâmetro foi exposta por 311 h.

O espectro obtido com os conjuntos EB-TLDs foi comparado com o espectro de referência para a fonte $^{241}AmBe$. O resultado obtido é apresentado na Figura 1.

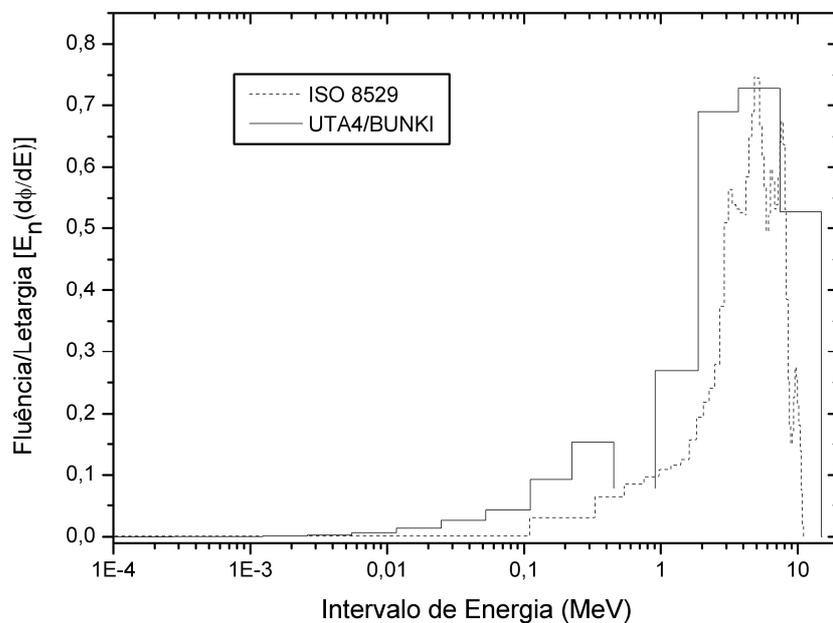


Figura 1: Fluência/Letargia x Energia. Comparação do espectro obtido no Laboratório de Nêutrons do CRCN/NE com o espectro de referência ISO 8529. Espectro obtido pela combinação dos TLD600 e TLD700 e deconvoluído com o código UTA4/BUNKI.

O espectro neutrônico obtido no interior do *bunker* do acelerador ciclotron (SECPRA/CDTN) foi obtido por exposições de 5 minutos para cada conjunto EB-TLD. Esse intervalo foi assim

estabelecido a fim de minimizar a exposição à radiação de fundo (background) durante a troca dos conjuntos.

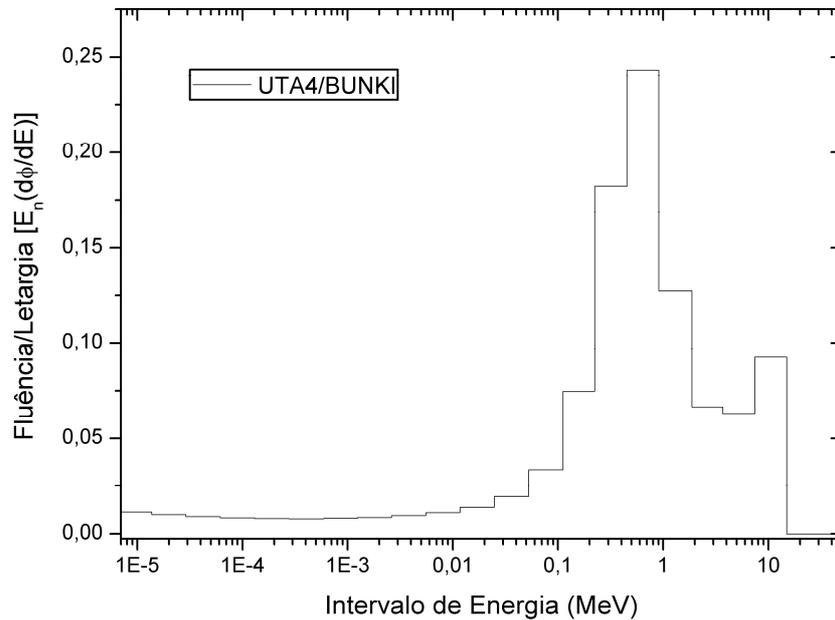


Figura 2: Espectro neutrônico obtido no interior do bunker do ciclotron (SECPRA/CDTN). Espectro obtido pela combinação dos TLD600 e TLD700 e deconvoluido com o código UTA4/BUNKI.

Ao contrário do espectro obtido com a fonte de $^{241}\text{AmBe}$, a comparação entre o espectro obtido no bunker do acelerador ciclotron e aquele apresentado no TRS N^o 403 (Figura 3) não é possível devido a alguns fatores, entre eles o fato que o acelerador onde foi montado o setup experimental deste trabalho possui características energéticas diferentes, já que opera com energia máxima de 18 MeV enquanto que o acelerador onde foi obtido o espectro apresentado no TRS possui energia de 35 MeV.

Outro fato relevante é que não são disponibilizadas informações sobre como o mesmo foi obtido, o tipo de detector utilizado nem tão pouco o método de deconvolução aplicado.

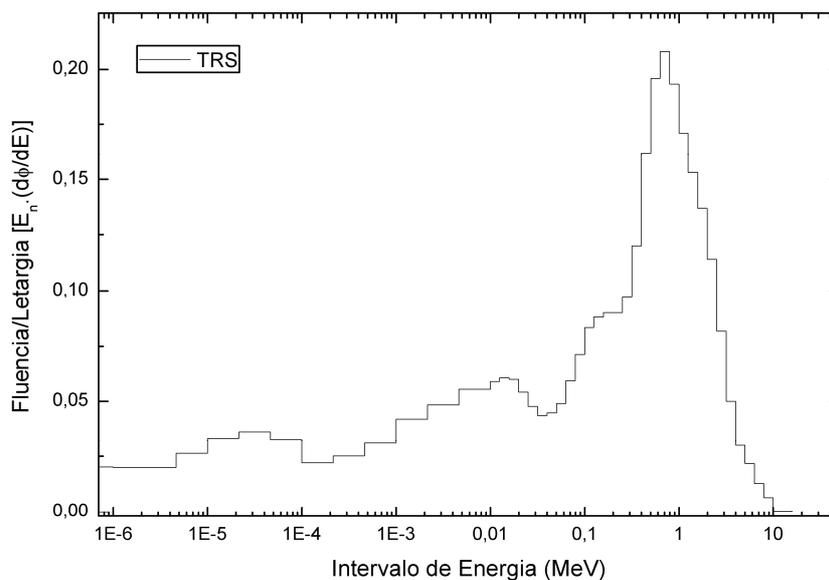


Figura 3: Espectro neutrônico disponibilizado no TRS N^o 403. Acelerador ciclotron de 35 MeV. Univ. de Tohoku. Japão (IAEA, 2001).

As características dos espectros neutrônicos obtidos com os conjuntos EB-TLDs nos setups experimentais, são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2: Características dos espectros neutrônicos obtido no Laboratório de Nêutrons (LN/CRCN-NE) e na Seção de Produção de Radiofármacos (SECPRA/CDTN-MG).

Local	Energia Média (MeV)	Φ_{total} (n.cm ⁻²)	[H*(10)] _n (mSv.h ⁻¹)
LN/CRCN-NE	1,19 ± 0,31	(7,14 ± 1,88) x10 ²	3,62 ± 0,95
SECPRA/CDTN-MG	1,72 ± 0,04	(11,12 ± 0,23) x10 ³	41,33 ± 0,95

4. CONCLUSÕES

Devido à produção de nêutrons, como resultado de interações nucleares durante a produção de radioisótopos em um acelerador cíclotron, torna-se necessária a determinação das características do campo neutrônico ao qual o indivíduo ocupacionalmente exposto (IOE) possa estar sujeito.

Embora os espectros de referência apresentados não tenham sido adquiridos com TLDs, o experimento demonstrou que a substituição do cintilador de ⁶LiI(Eu) por TLDs como detector de nêutrons térmicos mostra-se eficaz durante a exposição de campos mistos intensos, uma vez que as características desses materiais permitem que o sistema espectrométrico sofra exposições mais prolongadas sem o comprometimento da informação armazenada.

O espectro obtido pelo sistema EB-TLD no *bunker* do acelerador cíclotron, apresenta um componente de nêutrons rápidos produzidos na direção do feixe de emissão de partículas carregadas, em conformidade com os espectros disponibilizados na literatura. Outros levantamentos serão realizados em novas instalações que disponham de um acelerador cíclotron para caracterizar o espectro neutrônico deste ambiente e determinar mais precisamente a existência de outros componentes neutrônicos.

5. AGRADECIMENTOS

Este trabalho não seria possível sem o suporte financeiro do CAPES e do suporte técnico da Seção de Produção de Radioisótopos do Centro para o Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN/CNEN).

1. ROBILOTTA, C.C. A tomografia por emissão de pósitrons: Uma nova modalidade na medicina nuclear brasileira. *Revista Panamericana de Salud Publica*. 20:134-142 (2006).
2. VEGA-CARRILLO, H.R. Neutron energy spectra inside a PET cyclotron vault room. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*. 463:375-386 (2001).
3. FERNANDEZ, F.; AMGAROU, K.; DOMINGO, C.; GARCÍA, M.J.; QUINCOSES, G.; MARTÍ-CLIMENT, J.M.; MÉNDEZ, R.; BARQUERO, R. Neutron spectrometry in a PET cyclotron with a Bonner sphere system. *Radiation Protection Dosimetry*. 126:371-375 (2007).
4. BRAMBLETT, R.L.; EWING, R.I.; BONNER, T.W. A new type of neutron spectrometer. *Nuclear Instruments and Methods*, 9:1-12 (1960).
5. BECKURTS, K.H.; WIRTZ, K. Neutron physics. U.S.A. Springer-Verlag. New York Inc. (1964).
6. ALEVRA, A.V.; THOMAS, D.J. Neutron spectrometry in mixed fields: Multisphere spectrometers. *Radiation Protection Dosimetry*. 107: 37-72 (2003).
7. VEGA-CARRILLO, H.R.; WEHRING, B.W.; VEINOT, K.G.; HERTEL, N.E. Response matrix for a multisphere spectrometer using a ⁶LiF thermoluminescence dosimeter. *Radiation Protection Dosimetry*. 81:133-140 (1999).
8. McKEEVER, S.W.S.; MOSCOVITCH, M.; TOWNSEND, P.D. Thermoluminescence dosimetry materials: Properties and uses. U. K. *Nuclear Technology Publishing*. (1995).

9. VEINOT, K.G.; HERTEL, N.E.; BROOKS, K.W.; SWEEZY, J.E. Multisphere neutron spectra measurements near a high energy medical accelerator. *Health Physics*. 75: 285-290 (1998).
10. INTERNATIONAL STANDARDIZATION FOR ORGANIZATION (ISO). ISO 8529. Neutron reference radiation for calibrating neutron-measuring devices used for radiation protection purposes and for determining their response as a function of neutron energy. *U.K. British Standards Institution* (1989).
11. LOWRY, K.A.; JOHNSON, T.L. Modifications to interactive recursion unfolding algorithms and computer codes to find appropriate neutron spectra. *Naval Research Laboratory*. Memorandum Report 5340. U.S.A. (1984).
12. VEGA-CARRILLO, H.R. TLD pairs, as thermal neutron detectors in neutron multisphere spectrometry. *Radiation Measurements*. 35: 251-254 (2002).
13. BICRON-NE. Model 5500 automatic TLD Reader. User's Manual. *Saint-Gobain Industrial Ceramics Inc.* 1993.
14. TECHNICAL PUBLICATIONS. PETtrace Production System. Revision 18. *General Electric Company* (2004).
15. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA). Compendium of neutron spectra and detector responses for radiation protection purposes. Technical Report Series (TRS) N° 403. *International Atomic Energy Agency*. Viena (2001).