MONITORAÇÃO INDIVIDUAL DE NÊUTRONS: 18 ANOS DE EXPERIÊNCIA

Sérgio Alves Gonçalves, Claudia Lucia de Pinho Mauricio, José Moura Junior, Marcelo Marques Martins, Nilton Ferreira Meira, Ricardo Diz e Rosângela Pinto Guimarães Seda

Instituto de Radioproteção e Dosimetria – IRD/CNEN
Caixa Postal 37.750
22642-970, Recreio, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

RESUMO

O Laboratório de Dosimetria Termoluminescente do Departamento de Monitoração Individual do Instituto de Radioproteção e Dosimetria (LDT/DEMIN/IRD) é o único no Brasil que presta rotineiramente o serviço de corpo inteiro para nêutrons. É utilizado um monitor do tipo albedo com pares de detetores termoluminescentes de ^{6}LiF:Mg,Ti e ^{7}LiF:Mg,Ti, comercializados pela Harshaw/Bicron com o nome, respectivamente, de TLD-600 e TLD-700. Em seus 18 anos de atividades, o laboratório realizou sempre um grande esforço para acompanhar o estado da arte na área. Equipamentos e procedimentos foram modernizados e otimizados para garantir a qualidade de todas as medições realizadas. Atualmente o serviço de monitoração individual de nêutrons avalia doses ocupacionais em cerca de 300 trabalhadores ocupacionalmente expostos a nêutrons de várias instalações de diversas áreas de atuação e regiões do Brasil. O histórico do serviço e os resultados obtidos em intercomparações e em sua rotina são apresentados neste trabalho.

Keywords: neutron individual monitoring, albedo dosimeter, TLD, ^{6}LiF:Mg,Ti, ^{7}LiF:Mg,Ti.

I. INTRODUÇÃO

Desde novembro de 1983, o Laboratório de Dosimetria Termoluminescente do Departamento de Monitoração Individual do Instituto de Radioproteção e Dosimetria (LDT/DEMIN/IRD) opera rotineiramente um serviço de monitoração individual de corpo inteiro para nêutrons [1,2,3]. Os primeiros usuários deste serviço foram os trabalhadores da usina nuclear de Angra I. Atualmente o serviço atende a cerca de 300 trabalhadores brasileiros ocupacionalmente expostos a nêutrons. São trabalhadores de reatores (de potência e de pesquisa), de aceleradores de partículas, da área de prospecção de poços de petróleo, e outros que operam medidores de umidade e fontes de nêutrons. Todos os dados referentes aos usuários e suas doses são registradas no banco de dados do DEMIN/IRD denominado CONEXO.

Inicialmente os detetores termoluminescentes (TLD) eram avaliados em leitores Teledyne modelo 7300C. Estes leitores forneciam apenas a leitura integrada dos TLDs. Em 1990, foi desenvolvida uma interface entre estes leitores e um microcomputador do tipo PC-XT para aquisição e análise das curvas termoluminescentes [4]. A partir de 1995, as avaliações dos TLDs passaram a ser feitas em um leitor Harshaw/Bicron modelo 3500, controlado por microcomputador. Este novo leitor armazena, automaticamente, em arquivo, além dos 200 pontos da curva de emissão termoluminescente (curva TL), informações, como a curva de aquecimento. De modo a otimizar as rotinas de monitoração individual e minimizar o erro devido ao operador, foi desenvolvido um programa de cálculo de dose a partir das curvas TL obtidas nestes novos leitores [5]. Este programa, denominado TLDcalc, permite uma melhor reprodutibilidade do sistema e diminui o limite inferior de detecção. Este trabalho apresenta uma descrição do sistema dosimétrico para nêutrons utilizado pelo LDT/DEMIN/IRD e os resultados obtidos pelo seu serviço de monitoração durante estes 18 anos de experiência.

II. DESCRIÇÃO DO SISTEMA DOSIMÉTRICO

O monitor individual de corpo inteiro para nêutrons foi desenvolvido na década de setenta pelo IRD em conjunto com o Gsf (Institut für Strahlenschutz) da Alemanha e foi tema de duas teses de mestrado [6,7]. Ele é um monitor individual de corpo inteiro para nêutrons do tipo albedo de uma componente, resumidamente chamado de monitor de albedo [3]. Ele consiste de um hemisfério de poliamida com 32 mm de diâmetro com uma extensão cilíndrica de 10 mm de altura, encapsulado em um suporte semi-esférico de duralumínio com tampa, com 0,5 mm de espessura. A tampa é rosqueada ao suporte e possui rasgo em ambos os lados, para passagem de um cinto. A peça em poliamida é fixada no suporte de alumínio por uma camada absorvedora de nêutrons de 1 mm de espessura, composta de uma mistura de cola polivinílica com carbeto de boro. No eixo de simetria da peça de poliamida, um pequeno

cilindro, também em poliamida, é inserido. Este pequeno cilindro possui dois rebaixos para colocação dos detetores. Os detetores são um par de chips de TLDs com dimensões de 3,2 x 3,2 x 0,9 mm^3, em cada uma destas cápsulas. Os TLDs são ^{6}LiF:Mg,Ti e ^{7}LiF:Mg,Ti, comercializados pela Harshaw/Bicron com o nome, respectivamente, de TLD-600 e TLD-700. A dose de nêutrons é calculada a partir da diferença das repostas destes TLDs (r(TLD600)-r(TLD700)). A Fig. 1 mostra o desenho deste monitor de albedo [3].

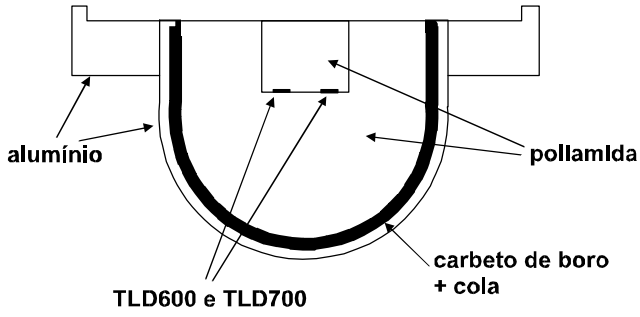

Figura 1: Cápsula do Monitor de Albedo do IRD

A monitoração individual de nêutrons é feita mensalmente com o uso de um cinto de albedo por cada usuário. Cada cinto é identificado com um código associado a cada usuário, a cada mês, e contém duas das cápsulas semi-esféricas descritas acima. A Fig. 2 mostra fotos deste cinto de albedo: em detalhe (fechado e aberto) e na cintura de um usuário. A dose de cada usuário é calculada pela soma das doses recebidas por cada cápsula, para minimizar a dependência angular do monitor [3].

Figura 2: Monitor Individual de Nêutrons do IRD

Os TLDs são agrupados em lotes com sensibilidades iguais dentro de um desvio padrão de 3,5%. O sistema de leitura é calibrado mensalmente para irradiação gama usando-se a fonte de ^{60}Co do Laboratório de Irradiação do DEMIN/IRD (LABIR/DEMIN), rastreado ao Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes (LNMRI). Para converter as respostas de exposição de ^{60}Co em doses de nêutrons é preciso calibrar o monitor em campos de nêutrons. Para estas calibrações, os monitores de albedo foram colocados em um simulador cilíndrico de polietileno cheio de água e a grandeza utilizada foi o MADE [3]. Os fatores de calibração obtidos para o espectro de fissão de uma fonte de ^{252}Cf, sem e com diferentes tipos de moderação, e para espectros de ambientes em torno de reatores são mostrados na Fig. 3. Como o fator de calibração pode variar por mais de uma ordem de grandeza, e como o albedo do IRD não pode identificar qualquer mudança no campo de nêutrons, são utilizados fatores diferentes para cada tipo de espectro de nêutrons, conforme a Tabela 1. Estes fatores foram obtidos usando-se a técnica de calibração de esfera única [8].

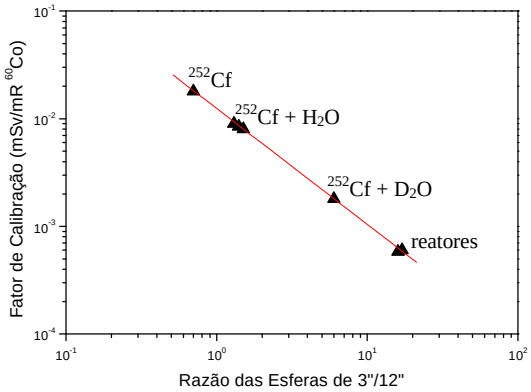

Figura 3: Variação do Fator de Calibração do Monitor de Albedo do IRD

TABELA 1. Fatores de calibração para os diversos espectros das instalações monitoradas pelo IRD

Tipo de Campo de Nêutrons	**Fator de calibração (mSv /mR)**
prospecção de petróleo	1 x 10^{-2}
medidores	3 x 10^{-3}
reatores	6 x 10^{-4}
fontes:	
^{241}Am-Be	3,5 x 10^{-2}
^{238}Pu-Be	3 ,0x 10^{-2}
^{252}Cf	2,0 x 10^{-2}

Atualmente estão sendo feitos testes (e calibração) deste monitor de albedo na grandeza $H_p(10)$ nos campos de nêutrons padronizados do Laboratório de Nêutrons do LNMRI. São usados simuladores de acrílico de 300 x 300 x 150 mm^3 preenchidos com água, simulador da ISO [9].

III. RESULTADOS

A Tabela 2 mostra os resultados obtidos pelo serviço de monitoração individual de nêutrons do IRD desde o seu início em 1983 até dezembro de 2001. A maioria dos monitores de albedo avaliados pelo serviço apresentaram doses menores que o nível de registro adotado, que é de 0,20 mSv. Apenas cerca de 3% dos usuários recebem doses mensais acima de 0,20 mSv. A Tabela 2 apresenta este percentual para cada uma das principais áreas de atuação do serviço, além das informações sobre a dose média, considerando apenas os monitores que tiveram doses acima de 0,20 mSv, e a maior dose avaliada em todos estes anos.

O maior número de usuários do serviço, atualmente, é da própria CNEN. Estes usuários atuam nas áreas de pesquisa, calibração e fiscalização. Os campos de nêutrons são devidos a atividades com fontes de nêutrons, em reator de pesquisa e em aceleradores. Poucos destes usuários recebem doses acima de 0,20 mSv, mas as doses de alguns servidores da CNEN chegam a ser bem elevadas. A dose média chega a ultrapassar o nível de investigação mensal, que é de 1,2 mSv. A maior dose de nêutrons medida chegou a atingir 12,0 mSv, que é muito maior que o limite derivado mensal de 4,0 mSv. Esta dose foi recebida em uma atividade de pesquisa com fonte de nêutrons, e o limite anual para este servidor não foi atingido.

No Brasil, a área de prospecção de petróleo é a que tem o maior número de trabalhadores expostos ocupacionalmente a nêutrons. Devido à pequena capacidade do serviço de monitoração de nêutrons do IRD, este monitora apenas uma pequena amostra destes trabalhadores. As doses medidas não têm sido grandes, mas é a área de maior potencial de dose coletiva [10]. Apenas 2% das doses avaliadas foram maiores que o nível de registro e a média destas doses foi de 1,0 mSv. Mas a maior dose avaliada pelo serviço, 13,0 mSv foi de um trabalhador desta área.

Um grande número de usuários do monitor de albedo do IRD trabalha com medidores nucleares com fontes de nêutrons. Esta atividade normalmente está associada a uma dose de nêutrons desprezível, entretanto a manutenção destes equipamentos ou algum problema de operação, onde haja a perda do material moderador, pode expor o usuário a doses elevadas. Isto é confirmado pelos resultados da monitoração apresentados na Tabela 2.

Os trabalhadores da usina nuclear de Angra I, e agora de Angra II, apesar de apresentarem o maior percentual de doses acima de 0,20 mSv (5%), são expostos à menor dose média (0,35 mSv) e a uma dose máxima de apenas 2,0 mSv. Este resultado deve ser proveniente do maior controle e otimização da radioproteção neste tipo de atividade.

TABELA 2- Resultados obtidos na rotina de monitoração individual de nêutrons do IRD (novembro de 1983 a dezembro de 2001)

Tipo de Instalação	Monitores avaliados	% de Doses > 0,20mSv	Dose média* (mSv)	Dose máxima (mSv)
reator de potência	6821	5%	0,35	2,00
CNEN	9400	3%	1,63	12,00
prospecção de petróleo	10165	2%	1,00	13,00
medidor nuclear	5500	4%	1,10	10,00

*média das doses acima de 0,20 mSv

O sistema foi testado ao longo destes anos em intercomparações internacionais. O serviço de monitoração individual de corpo inteiro para nêutrons participou desde 1985 de todos os "Personnel Dosimetry Intercomparison Studies (PDIS)" promovidos pelo Oak Ridge National Laboratory (ORNL), EUA. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 3. Em 1993. após o início do PDIS18, este programa de intercomparação foi descontinuado. A partir dessa data, o IRD tentou alguns outros contatos internacionais para poder continuar testando o seu serviço de nêutrons, mas não obteve sucesso.

As doses dos PDIS variaram de 0,31 a 6,00 mSv. Os resultados obtidos, mesmo quando em campos inicialmente desconhecidos ou nunca testados anteriormente, demonstram que o serviço atende os requisitos internacionais para a dosimetria individual de nêutrons. As duas únicas doses com erro maior do que um fator 2, foram resultados de um campo misto e desconhecido inicialmente, (^{252}Cf +$^{252}Cf(D_2O)$) do PDIS 15 e o feixe de 14 MeV do PDIS16. Os dois casos são casos críticos para este tipo de monitor, que não é adequado para campos desconhecidos (principalmente se misto), e cuja sensibilidade diminui drasticamente para nêutrons de energias superiores a 1 MeV [3]. O desvio padrão das doses médias avaliadas em cada campo, normalmente com o uso de 3 monitores, variou de 0 a 17%, o que também é considerado aceitável. A dependência angular do sistema é desprezível, por isto os resultados destes testes não são apresentados na Tabela 3.

TABELA 3. Resultados obtidos nos "Personnel Dosimetry Intercomparison Studies (PDIS)" promovidos pelo Oak Ridge National Laboratory (ORNL), EUA

Campo de Nêutrons	H_{IRD} / $H_{referência}$						
	PDIS11 (1985)	PDIS12 (1986)	PDIS13 (1987)	PDIS14 (1989)	PDIS15 (1990)	PDIS16 (1991)	PDIS17 (1992)
HPRR	1,90	0,85					
HPRR (13 cm de aço)	1,51	0,76					
HPRR (12 cm de lucite)	0,98	1,02					
HPRR (20 cm de concreto)	1,46						
HPRR (lucite) + ^{137}Cs		0,93*					
HPRR (aço + lucite + concreto)		0,97*					
^{238}PuBe		0,58*	1,15	1,43	1,05	0,74	
^{252}Cf							0,52*
^{252}Cf (D_2O)			0,94	0,72	1,40	0,78	1,3
^{252}Cf (D_2O) sem Cd				0,91			
^{252}Cf (polietileno) + ^{137}Cs				0,70			
^{252}Cf (D_2O) + ^{137}Cs					1,41	1,03	
^{252}Cf + ^{252}Cf (D_2O)					2,80*		
^{252}Cf (polietilneo) + ^{238}PuBe							1,3
Acelerador (14 Mev)						0,33	

*campo desconhecido dos participantes, quando da avaliação das doses

IV. CONCLUSÃO

Este trabalho mostra a preocupação constante do LDT/DEMIN/IRD em aprimorar seu desempenho na monitoração ocupacional de nêutrons com TLDs. Além da preocupação constante com a exatidão e a precisão das medidas realizadas, o laboratório prioriza a organização e a clareza dos registros. Os procedimentos e registros do LDT/DEMIN/IRD estão dentro de um sistema da qualidade, que atualmente está sendo reestruturado para se adequar aos requisitos da norma NBR/ISO 17025:2001. Esta é uma prioridade atual do IRD em todos os seus laboratórios.

Os resultados obtidos nestes 18 anos de rotina do serviço mostram a importância da monitoração individual de corpo inteiro para nêutrons no Brasil. Uma análise crítica destes dados indicam a necessidade de otimização da radioproteção em alguns setores. Os limites em todas as áreas monitoradas estão sendo obedecidos, mas as doses devem ser otimizadas.

Um novo monitor de albedo de duas componentes (avalia nêutrons de albedo e nêutrons térmicos incidentes) está sendo desenvolvido no laboratório. Este novo monitor além de aumentar sua sensibilidade, barateia seu custo de confecção e reparo e possibilita alguma correção da resposta energética do monitor, Este monitor encontra-se em fase final de testes [11].

REFERÊNCIAS

[1] Mauricio, C. L. P., Fonseca, E. S., **Personnel Neutron Dosimetry in Brazil: 7 Years Experience**, Proceedings of the 8th International Congress of IRPA (IRPA8), vol.1, 293-296, 17 a 22 de maio, 1992.

[2] Rosa, L. A. R., Mauricio, C. L. P., Diz, R., Brito, R. R. A., **Thermoluminescence Based Extremity and Neutron Individual Monitoring in Brazil**, Rad. Prot. Dosim. 47 (1-4), 435-438, 1993.

[3] Mauricio, C. L. P., **Dosimetria Individual de Nêutrons**, nota técnica, IRD-CNEN-NT-014/87, 1987.

[4] Mauricio, C. L. .P., Becker, P. .H. .B.; Kasprykowski, C. F., **TLD Data Acquisition and Analysis System for Neutron Individual Monitoring**, Radiat. Prot. Dosim. 34(1-4), 161-163, 1990.

[5] Amaro, M. M., Martins, M. M., Mauricio, C. L. P., **Sistema de Análise de Espectros Termoluminescentes para Monitoração de Nêutrons**, Proceedings of the 4th

Meeting of Nuclear Applications (ABEN/IAEA), CD-ROM, Poços de Caldas, MG, Brasil, 18 a 22 de agosto, 1997.

[6] Carvalho, W. B. D., **Monitor Pessoal de Nêutrons Baseado na Técnica de Albedo**, tese de mestrado, IME, Rio, 1975.

[7] Schuch, L. A., **Calibração de Monitores de Nêutrons com Moderadores e Aplicação na Determinação de Fatores de Calibração de Dosímetros de Albedo**, tese de mestrado, IME, Rio, 1978.

[8] Piesch, E., Burgkhardt, B., Comper, W., **The Single Sphere Albedo System - A Useful Technique in Neutron Dosimetry**, Radiat. Prot. Dosim. 10 (1-4), 147-150, 1985.

[9] International Organization for Standardization (ISO), **Reference Neutron Radiation - Part 3, Calibration of Area and Personal Dosimeters and the Determinations of their Response as a Function of Neutron Energy and Angle of Incidence**, ISO 8529-3, Genève:ISO, 1995.

[10] Martins, M. M.; Mauricio, C. L. P.; Cunha, P. G.; Almeida, C. E.; Fonseca, E. S. **Potencial de Exposição a Nêutrons dos Trabalhadores Brasileiros.** 3rd Meeting on Nuclear Applications (ABEN/IAEA) - Águas de Lindóia, SP - 07-11 de agosto, 1995.

[11] Martins, M. M., Mauricio, C. L. P., **Factors that Affected the Development of a New Albedo Individual Monitor at IRD**, Proceedings of Regional IRPA Congress, CD-ROM, Recife, PE, 2001.

ABSTRACT

The Thermoluminescent Dosimetry Laboratory of the Departamento de Monitoração Individual of the Instituto de Radioproteção e Dosimetria (LDT/DEMIN/IRD) is the only one in Brazil that operates routinely a whole body external individual monitoring service for neutrons. An albedo type monitor is used with thermoluminescent detectors pairs of ^{6}LiF:Mg,Ti and ^{7}LiF:Mg,Ti, made by Harshaw/Bicron and named, respectively, TLD-600 and TLD-700.

In its 18 years of activities, the laboratory has ever made a great effort to be continuously updated. Equipment and procedures have been updated and optimized in order to guarantee the quality of all measurements.

Nowadays, the neutron individual monitoring service evaluates doses of about 300 workers occupationally exposed to neutrons in several facilities of different areas of Brazil. The system history and the results obtained by the service in international intercomparisons and in its routine monitoring are presented in this work.