

Dependência Angular e Energética de Monitores de Radioproteção para Medidas de Equivalente de Dose Ambiental para Radiação Gama

Fernanda B. C. Nonato, Valdir S. Carvalho, Raphael E. Diniz e Linda V. E. Caldas

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN – CNEN/SP, São Paulo, Brasil

Resumo. No Brasil, a maioria dos equipamentos utilizados para monitoração de área quantificam apenas as grandezas exposição ou dose absorvida, sendo necessária a adequação à grandeza equivalente de dose ambiental, $H^*(10)$. Neste trabalho foram calibrados 19 detectores de radiação Geiger-Müller e 7 câmaras de ionização no Centro de Metrologia das Radiações, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN. Foram estudadas as dependências energética para radiação gama (^{137}Cs e ^{60}Co) e angular para ^{137}Cs .

Palavras-chave: metrologia das radiações, radiação gama, equivalente de dose ambiental, monitores de radiação.

Angular and energy dependence of radiation protections monitors to the quantity ambient dose equivalent for gamma radiation.

Abstract. In Brazil, most of the equipment used for monitoring area is just used in the quantities exposure and absorbed dose, with the need of adequation to the ambient dose equivalent, $H^*(10)$. In this work, 19 Geiger-Müller detectors and 7 ionization chambers were calibrated in the Calibration Laboratory of the Instituto de Pesquisas Energéticas Nucleares, IPEN. The energy dependence of these radiation detectors was studied for gamma radiation (^{137}Cs e ^{60}Co) and the angular dependence, for ^{137}Cs radiation.

Keywords: radiation metrology, gamma radiation, ambient dose equivalent, radiation monitors.

1. Introdução

A calibração dos instrumentos utilizados na radioproteção tem como objetivos verificar se o instrumento está trabalhando corretamente; se está adequado para o monitoramento da radiação; e, se possível, ajustar o instrumento para que sua leitura seja otimizada em todas as faixas de leitura [1].

No Brasil, o Laboratório de Calibração de Instrumentos (LCI), que faz parte do Centro de Metrologia das Radiações, do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, oferece serviços de calibração de instrumentos com radiações gama, X, beta e alfa. O laboratório dispõe atualmente de fontes de ^{137}Cs e ^{60}Co para calibração de instrumentos monitores portáteis; fontes planas de diversos radioisótopos para calibração de detectores de contaminação; fonte de ^{60}Co para calibração de dosímetros clínicos, equipamentos de raios X de energias baixas (em tensões máximas de operação de 60kV e de 160kV), para calibração de câmaras de ionização (níveis radioterapia, radiodiagnóstico e radioproteção); e um sistema de raios X diagnóstico, para calibração de instrumentos de uso específico nesta área. Todos os equipamentos de radiação do LCI possuem sistemas específicos de referência, alguns com rastreabilidade ao laboratório padrão primário da Alemanha, Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) e outros ao laboratório padrão secundário do Brasil,

Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes (LNMRI), do Instituto de Radioproteção e Dosimetria, CNEN, Rio de Janeiro, dependendo do sistema padrão. O LNMRI organiza as intercomparações de sistemas de referência.

As grandezas operacionais determinadas pela ICRU 39 para calibração de instrumentos de monitoramento de área são: equivalente de dose direcional e equivalente de dose ambiental. Para monitoração individual utiliza-se a grandeza equivalente de dose pessoal [1].

Este trabalho teve como objetivo estudar o comportamento dos instrumentos utilizados em monitoramento de área, especificamente para radiação gama, certificando se estes aparelhos estão adequados para uso na nova grandeza equivalente de dose ambiental, que é uma grandeza utilizada para radiações fortemente penetrantes. Atualmente no Brasil os monitores de área são calibrados nas grandezas exposição e dose absorvida no ar.

2. Material e Métodos

Foram calibrados 19 detectores Geiger-Müller de 5 marcas e 9 modelos diferentes e 7 câmaras de ionização de uma marca e 4 modelos diferentes.

O irradiador gama utilizado foi fabricado pela Steuerungstechnik & Strahlenschutz GmbH, modelo OB85, Alemanha; possui absorvedores com formato de discos de chumbo com 22 mm de espessura, modelo nº OB85.10.2, 18 mm de

espessura, modelo nº OB85.10.3 e 26 mm de espessura, este último feito no IPEN. O absorvedor nº OB85.10.2 corresponde a um fator de atenuação de 1/10; em conjunto com o absorvedor nº OB85.10.3, o fator de atenuação alcança 1/100 e aproximadamente 1/1000 utilizando todos os absorvedores em conjunto para a fonte de Cs-137. Os absorvedores permitem a redução da intensidade dos feixes, possibilitando a calibração de monitores portáteis em diversas escalas. Este sistema de radiação gama contém fontes radioativas de ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{226}Ra e ^{241}Am . Foram utilizadas as seguintes fontes radioativas: ^{60}Co (energia média: 1.250 keV), com atividade nominal de 37GBq (05/1995); ^{137}Cs (energia média: 662 keV), com atividade nominal de 740GBq (04/1995); fabricadas pela Amersham Buchler, Alemanha.

Os monitores de área são equipamentos sensíveis, portanto deve-se tomar cuidados especiais no manuseio, armazenamento e transporte deles. Quando os equipamentos são submetidos à calibração, a temperatura deve estar entre 18°C e 22°C e a umidade relativa do ar entre 30% a 65%. Após a leitura da radiação de fundo (BG), faz-se as leituras em 20%, 50% e 80% de cada escala do instrumento, utilizando a fonte de césio do irradiador. A posição de referência do instrumento localiza-se no centro geométrico do detector, ou de acordo com as especificações do fabricante, e qualquer ajuste do instrumento é feito a 50% da escala. Após a coleta de dados para césio na direção de 0°, escolhe-se apenas uma escala apropriada para fonte de cobalto, sendo que a leitura é realizada a 50% da escala escolhida [2-3]. Para cada posição são tomadas dez medidas e são obtidos valores médios.

Após a obtenção dos dados para césio e cobalto, é possível realizar um estudo da dependência energética primeiramente para kerma no ar, K_{ar} . No caso de aparelhos que possuem como grandeza de medida a exposição, os valores das médias foram convertidos para kerma no ar.

Em seguida foi obtida a dependência energética para a grandeza equivalente de dose ambiental, $H^*(10)$, por meio dos coeficientes de conversão, C_c , determinados pela norma ISO 4037-3 [4] especificados na Tabela 1 e Equação 1.

Tabela 1. Coeficiente de conversão de kerma no ar para equivalente de dose ambiental para césio e cobalto.

Fonte	Energia média (keV)	Coef. de conversão (Sv × Gy ⁻¹)
^{137}Cs	662	1,20
^{60}Co	1.250	1,16

$$H^*(10) = K_{ar} * C_c \quad (1)$$

Após a obtenção da dependência energética, foi escolhida uma escala em que o instrumento apresentou uma leitura estável e realizou-se um estudo da resposta angular do detector para fonte

de césio em 0° e para + 45° e -45°, como determina a norma EN 60846 [7], onde a resposta dos detectores não deve variar mais de 40% entre 0° e ± 45°. Para esta fase do estudo, foi construído pela oficina do IPEN um suporte de placas de acrílico que exerce a função de um goniômetro para se realizar os estudos da dependência angular nos aparelhos calibrados com radiação gama. Este goniômetro é constituído por uma parte retangular de 21cm de largura, 30cm de comprimento e 1cm de espessura; sobre a placa de acrílico retangular foi acoplada uma placa circular de acrílico de 26cm de diâmetro e 1cm de espessura; o centro do círculo foi posicionado no centro do retângulo. No suporte foram marcados os ângulos de 0°, - 45° e +45°.

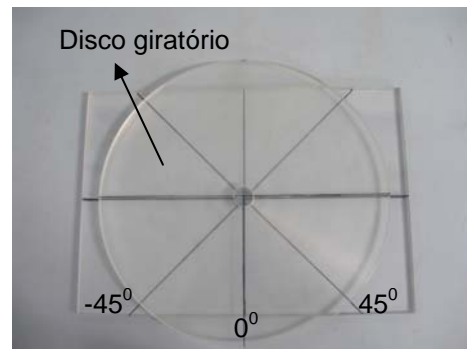


Figura 1-Suporte de placas de acrílico para estudo de dependência angular dos monitores de área.

3. Resultados

Os resultados obtidos no estudo da dependência energética estão apresentados nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2. Dependência energética ($^{60}\text{Co}/^{137}\text{Cs}$) para K_{ar} e $H^*(10)$, para detectores Geiger-Müller.

Modelo	Número de detectores	Dependência Energética (%) para	
		K_{ar}	$H^*(10)$
A	3	12,6	8,9
		9,7	6,0
		25,0	20,8
B	3	38,6	34,0
		32,2	27,8
		42,9	38,1
C	7	33,2	28,7
		35,3	30,8
		26,9	22,6
		30,0	25,6
		29,4	25,1
		29,6	25,3
		28,0	23,7
Variados	6	31,6	27,2
		14,2	10,4
		24,3	20,2
		25,2	21,0
		34,5	30,0
		26,9	22,6

Tabela 3. Dependência energética ($^{60}\text{Co}/^{137}\text{Cs}$) para K_{ar} e $H^*(10)$, para câmara de ionização

Modelo	Número de detectores	Dependência Energética (%) para	
		K_{ar}	$H^*(10)$
A	4	0,2	3,3
		1,2	2,1
		0,0	3,3
		0,0	3,0
Variados	3	5,6	2,0
		1,3	2,1
		1,2	2,1

De acordo com os resultados das Tabelas 2 e 3 observa-se que a dependência energética para a nova grandeza equivalente de dose ambiental foi menor do que a dependência energética para kerma no ar no caso dos detectores Geiger-Müller. As câmaras de ionização apresentaram pouca ou nenhuma dependência energética para kerma no ar; aplicando os fatores de conversão para equivalente de dose ambiental, a dependência energética sofreu um pequeno aumento mas levando-se em conta as incertezas das medidas, ficou dentro do esperado e bem próximo à dependência energética obtida para kerma no ar. As incertezas dos dados obtidos nas Tabelas 2 e 3 variaram respectivamente entre 0,4 e 2,6% e entre 0,1 e 3,1%.

O resultado do estudo da resposta angular dos detectores está apresentado nas Tabelas 4 e 5.

Tabela 4. Resposta angular (^{137}Cs) para $H^*(10)$, para detectores Geiger-Müller.

Modelo	Número de detectores	Dependência angular (%) entre	
		0° e $+45^\circ$	0° e -45°
A	3	7,2	6,2
		5,4	0,2
		6,2	0,1
B	3	26,1	25,5
		17	16,7
		21,1	20,1
C	7	7,1	5,1
		0,3	0,4
		14,4	15,3
		2,7	5,2
		2,7	1,2
		8,5	9,2
Variados	6	0,7	4,7
		11,1	11,9
		29	26,8
		5,3	6,1
Variados	3	9,1	11,1
		3,6	8,2
		2,1	2,3

Tabela 5. Resposta angular (^{137}Cs) para $H^*(10)$, para câmaras de ionização.

Modelo	Número de detectores	Dependência angular (%) entre	
		0° e $+45^\circ$	0° e -45°
A	4	7,6	7,9
		0,7	0,7
		0,1	0,1
		5,7	2,3
Variados	3	1,6	0,2
		8,1	7,8
		10,2	10,4

O estudo da resposta angular, para equivalente de dose ambiental, dos instrumentos apresentados nas Tabelas 4 e 5, apresentou variação menor que 40% nas respostas entre 0° e $\pm 45^\circ$, mostrando que os instrumentos estão de acordo com a norma internacional EN 60846 [5], principalmente para as câmaras de ionização. As incertezas dos dados obtidos nas Tabelas 4 e 5 variaram respectivamente entre 0,6 e 7,8% e entre 0,5 e 7,5%.

4. Conclusões

O estudo para dependência energética abre a possibilidade de se obter as medidas para esses instrumentos em equivalente de dose ambiental, pois a dependência energética para esta grandeza foi menor ou igual em relação à grandeza kerma no ar para respectivamente detectores Geiger-Müller e câmaras de ionização. Os resultados obtidos por meio do estudo da resposta angular estão de acordo com os valores estabelecidos pela norma internacional EN 60846 [5].

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), ao Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT, INCT em Metrologia das Radiações na Medicina), pelo apoio financeiro parcial.

Referências

1. International Atomic Energy Agency, "Calibration of Radiation Protection Monitoring Instruments.", IAEA, Safety Reports Series 16, Vienna, 2000.
2. Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes, "Requisitos para a Operação de Laboratórios de Calibração de Instrumentos de Medição para Radiações Ionizantes Usados em Radioproteção.", (LNMRI), Rio de Janeiro. Revisão setembro de 2003.
3. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Norma Brasileira, "Requisitos gerais para competência de laboratórios de ensaio e calibração.", ABNT NBR ISO/IEC 17025, Rio de Janeiro, 2001

4. International Organization for Standardization, "X and Gamma Reference Radiations for Calibrating Dosimeters and Doserate Meters and for Determining their Response as a Function of Photon Energy", "Calibration of area and personal dosimeters and the measurement of their response as a function of energy and angle of incidence", ISO 4037-3, Geneva, 1999.
5. European Standard, "Radiation Protection Instrumentation - Ambient and/or Directional Dose Equivalent (rate) Meters and/or Monitor for Beta, X and Gamma Radiation.", EN 60846, Brussels, 2004.

Contato:

Fernanda Beatrice Conceição Nonato
ferbeatrice@usp.com.br