

ESTABELECIMENTO DE CAMPOS PADRÕES DE RAIOS-X DE ENERGIAS BAIXAS, NÍVEL RADIOPROTEÇÃO, PARA CALIBRAÇÃO DE INSTRUMENTOS

Eliane C. Oliveira e Linda V. E. Caldas

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
Comissão Nacional de Energia Nuclear
Travessa R, 400 - CEP 055508-900 - São Paulo - SP
Tel. (011) 816-9118 - Fax (011) 816-9117

RESUMO

A implantação de campos padrões de raios-X de energias baixas, nível Radioproteção, tem como objetivos principais a calibração e a determinação da dependência energética de instrumentos utilizados para este propósito. Foram estabelecidas sete qualidades de campos padrões de raios-X de energias baixas, nível Radioproteção, no Laboratório de Calibração do IPEN. Estes campos de radiação reproduzem cinco das qualidades implantadas no National Physical Laboratory, Inglaterra, com energias entre 16 e 38 keV, e duas qualidades recomendadas pela International Organization for Standardization, com energias de 33 e 48 keV.

INTRODUÇÃO

O Laboratório de Calibração do IPEN é constituído por vários arranjos experimentais com as seguintes finalidades:

1. Calibração de dosímetros clínicos, nível Radioterapia, com radiação gama de ^{60}Co e ^{137}Cs ;
2. Calibração de dosímetros clínicos, nível Radioterapia, com raios-X de energias baixas (60 kV);
3. Calibração de monitores portáteis, nível Radioproteção, com radiação gama de ^{60}Co e ^{137}Cs ;
4. Calibração de instrumentos, nível Radioproteção, com radiação beta de ^{147}Pm , ^{204}Tl e $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$; e
5. Calibração de instrumentos, nível Radioproteção, com radiação alfa de ^{241}Am , ^{239}Pu , ^{238}Pu , ^{244}Cm e ^{233}U .

Neste trabalho são apresentados os procedimentos e os resultados obtidos para a implantação das qualidades de campos padrões de raios-X de energias baixas (20 a 60 kV), nível Radioproteção¹, para utilização na calibração de instrumentos e testes de dosímetros em geral.

MATERIAIS

Sistemas de Medida Utilizados. Os sistemas de medida utilizados neste trabalho foram:

1. *Sistema A:* Câmara de ionização de placas paralelas, tipo superficial, modelo 2536/3B (0,3 cm³), acoplada ao eletrômetro modelo 2560, ambos da *Nuclear Enterprises (NE)*. Este sistema constitui o sistema padrão secundário do Laboratório de Calibração do IPEN;
2. *Sistema B:* Câmara de transmissão desenvolvida por Austerlitz e col.², no Instituto de Radioproteção e

Dosimetria, acoplada ao eletrômetro *Baldwin Farmer, NE*, modelo 2502/3;

3. *Sistema C:* Câmara de ionização cilíndrica, modelo 2511/3 (600 cm³), acoplada ao eletrômetro *Baldwin Farmer*, modelo 2502/3, ambos da *NE*. Este sistema é referenciado ao sistema padrão nacional do Instituto de Radioproteção e Dosimetria.

Sistema de Raios-X de Energias Baixas. O sistema de raios-X de energias baixas (60 kV) para a calibração de instrumentos é formado por um gerador *Rigaku Denki Co. LTD.*, tipo *Geigerflex* (potencial constante), acoplado a um tubo *Philips*, modelo *PW2184/00*, com janela de 1 mm de Berílio e alvo de Tungstênio. A corrente e a tensão podem variar entre 2 e 80 mA e entre 20 e 60 kV, respectivamente. Sua potência máxima de operação é de 2,5 kW. Este sistema possui uma câmara monitora *PTW*, modelo *Tch 7786/k*, tipo 24390, com janela de grafite, acoplada a um eletrômetro *PTW*, modelo *DU0/4*. Apresenta, ainda, um obturador de feixe de radiação, com transmissão menor que 0,1%, um sistema de colimação e um tubo laser para auxiliar no posicionamento dos instrumentos a serem calibrados.

RESULTADOS

Testes de Estabilidade a Curto e a Longo Prazos. Para assegurar as boas condições de funcionamento dos sistemas de medida e ainda verificar se os limites máximos de variação nas medidas obtidas concordavam com aqueles estabelecidos em normas específicas^{3,4}, foram realizados os testes de rotina conhecidos como Testes de Estabilidade a Curto e a Longo Prazos e Teste de Corrente de Fuga. Realizando-se o Teste de Estabilidade a Curto Prazo (ou de Repetibilidade), ao longo do tempo, sempre sob as mesmas condições geométricas, obtém-se o que se

chama de Teste de Estabilidade a Longo Prazo, cujo resultado pode ser verificado através de um gráfico cronológico. A Figura 1 mostra o resultado do Teste de Estabilidade a Longo Prazo, realizado com o sistema de medida *E*. Pode-se notar que as medidas obtidas oscilam em torno de um valor de referência. Estas medidas devem se apresentar dentro de um limite de variação entre $\pm 0,5$ e $\pm 1,0\%$, de acordo com a classificação do sistema de medida utilizado (padrão primário, secundário, etc). Os Testes de Estabilidade a Curto e a Longo Prazos foram realizados rotineiramente com todos os sistemas de medida, ao longo de todo este estudo, e os resultados obtidos se mostraram dentro dos limites estabelecidos.

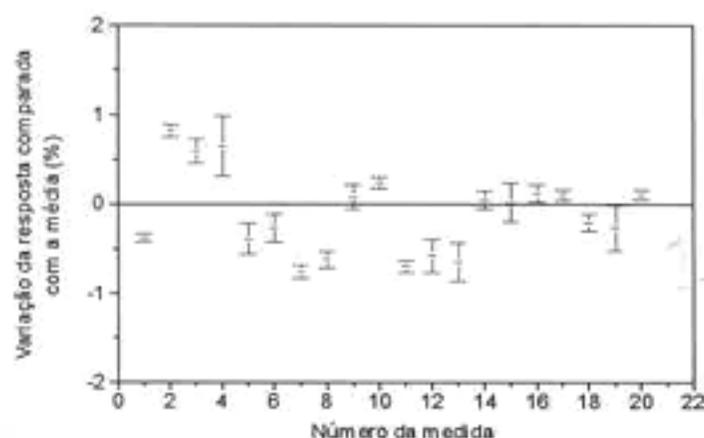


Figura 1 - Estabilidade a longo prazo do sistema de medida *E*, utilizado na implantação das qualidades de campos de raios-X de energias baixas

Teste de Corrente de Fuga. Segundo as recomendações internacionais, o valor da corrente de fuga deve ser no máximo igual a $\pm 0,5\%$, para instrumentos de referência (padrões), e a $\pm 1,0\%$ para instrumentos de campo⁴ do valor da menor taxa de exposição a que forem submetidos em cada leitura do Teste de Repetibilidade. O maior valor de corrente de fuga obtido para os sistemas de medida utilizados foi igual a 0,3%, estando portanto perfeitamente dentro dos limites recomendados.

Varição da Resposta da Câmara Monitora com a Corrente Aplicada ao Tubo de Raios-X. Este teste foi realizado para verificar as condições de funcionamento do sistema de medida formado pela câmara monitora. Isto foi feito irradiando-se, simultaneamente, o sistema de medida formado pela câmara monitora e os sistemas *A* e *B*, pois, desta forma, qualquer alteração sofrida pelo feixe de raios-X deveria ser acusada nos três sistemas irradiados. As câmaras de ionização dos sistemas *A* e *B* foram posicionadas próximas e logo após a câmara monitora, e todas as medidas obtidas correspondem a uma série de 10 leituras consecutivas, para cada variação de corrente aplicada ao tubo. O desvio padrão percentual máximo obtido nas medidas não ultrapassou a 0,9%. Todos os sistemas de medida apresentaram resultados lineares com a variação da corrente aplicada ao tubo, inclusive o sistema de medida formado pela câmara monitora, provando sua confiabilidade.

Uniformidade dos Campos de Radiação Produzidos. Segundo as recomendações internacionais^{5,6}, a

uniformidade do campo de radiação não deve variar mais que 5,0%, em toda sua extensão, quando utilizado em propósitos de calibração de instrumentos, nível Radioproteção. Foram utilizados dois métodos para verificar a uniformidade dos campos produzidos, nos quais foram feitas medidas ao longo de duas linhas perpendiculares entre si e pertencentes a um mesmo plano normal ao eixo central do alvo do tubo de raios-X. No primeiro método o mapeamento foi feito medindo-se a taxa de exposição no ar, variando-se a posição da câmara de ionização, até que se atingiu uma região em que a taxa de exposição caiu a 50% daquela determinada no centro do campo, conhecida como região de penumbra. No segundo método, irradiou-se um filme radiográfico, e a medida da uniformidade do campo foi determinada através de leituras de densidade óptica. Geralmente, as leituras decrescem simetricamente em todas as direções que circundam o eixo central do campo de radiação. Os resultados obtidos nos dois métodos, para uma tensão de 50 kV, coincidiram, e mostraram que a uniformidade do campo de radiação produzido não varia mais que 1,0% dentro de uma extensão de 10 cm de diâmetro, a 50 cm do alvo do tubo de raios-X. A verificação da uniformidade do campo também foi realizada a 200 cm do alvo do tubo de raios-X. O maior desvio padrão percentual obtido nas séries de leituras foi igual a 3,0%.

Contribuição da Radiação Espalhada. As recomendações internacionais^{5,6} estabelecem que não deve haver influência da radiação espalhada nas medidas obtidas. No caso de calibração de instrumentos utilizados em propósitos de Radioproteção, esta influência não deve ser maior que 5,0%. A determinação da contribuição da radiação espalhada foi feita através de dois métodos recomendados pela norma International Organization for Standardization (ISO) 4037⁵, utilizando-se o sistema de medida *C*. No primeiro método foi feita uma verificação da validade da lei do inverso do quadrado da distância, após a correção do efeito da atenuação do ar, no campo de radiação produzido. A presença de radiação espalhada resulta no desvio do cumprimento desta lei. Neste teste, a posição da câmara de ionização foi variada entre 75 e 250 cm do alvo. Os resultados obtidos mostraram que o maior desvio da lei em questão é de 2,8%, a 1,0 m de distância do alvo do tubo de raios-X, que está dentro do limite de tolerância de 5,0% estabelecido pela ISO. No caso do segundo método, as medidas foram feitas no centro do campo de radiação, e nas posições referentes a 9,0 e a 18,0 cm do centro do campo (início e fim da região de penumbra, respectivamente), para uma tensão aplicada ao tubo igual a 50 kV, a 75 cm do alvo. A 18 cm do centro do campo de radiação, as medidas obtidas foram iguais a 0,4 e 0,5%, em cada extremo, do valor obtido na posição central. Portanto, através dos resultados obtidos nos dois métodos, concluiu-se que não há presença de radiação espalhada.

Implantação das Qualidades. Foram implantadas sete qualidades de campos nível Radioproteção, sendo que cinco delas (16 a 38 keV) reproduzem aquelas

estabelecidas no National Physical Laboratory, Inglaterra, e duas delas (33 e 48 keV) reproduzem aquelas recomendadas pela ISO⁵. Na primeira etapa foram confeccionados os filtros adicionais referentes a cada qualidade de campo implantada, sendo, em seguida, determinadas as respectivas camadas semi-redutoras (CSR), através da obtenção das curvas de transmissão, variando-se a espessura de absorvedores. A determinação experimental das CSR foi feita a 200 cm do alvo do tubo de raios-X, distância determinada para a calibração de instrumentos, nível Radioproteção, e para um campo de diâmetro igual a 12 cm, suficiente para irradiar a câmara de ionização do sistema de medida *C* utilizado. Segundo a norma ISO/DIS 4037-1⁵, para que se considere que duas qualidades de campos tenham a mesma energia efetiva, é necessário que os valores determinados de suas CSR sejam iguais, dentro de um limite de variação máximo de 5,0%. No caso das qualidades de campos implantadas, pode-se considerar que suas energias efetivas estão próximas àquelas determinadas pelo NPL e pela ISO, já que os valores das CSR determinados estão dentro do limite estabelecido. Foram ainda determinadas as taxas de exposição, a 200 cm do alvo do tubo de raios-X, para cada qualidade de campo implantada. Para isto, calibrou-se o sistema de medida *C* para as qualidades de campos ISO contra a câmara de ionização padrão secundário, marca *ÖFS*, modelo *LS01*, do Instituto de Radioproteção e Dosimetria, acoplada ao eletrômetro *Keithley*, modelo *617*, do Laboratório de Calibração do IPEN. A Tabela 1 apresenta as características das qualidades dos campos implantados.

Tabela 1 - Características das Qualidades de Campos de Raios-X de Energias Baixas, Nível Radioproteção, NPL (16 a 38 keV) e ISO (33 e 48 keV), à Distância de 2,0 m do Alvo do Tubo

Tensão (kV)	Filtração Adicional		Energia Efetiva (keV)	1ª CSR		\dot{X} (mC/kg.h)
	(mmAl)	(mmCu)		(mmAl)	(mmCu)	
20	0,92		16	0,35		0,116
25	1,70		20	0,66		0,115
30	2,70		24	1,02		0,074
40	4,92		31	1,95		0,117
50	1,12	0,23	38	3,27		0,115
40		0,21	33		0,086	0,021
60		0,57	48		0,232	0,034

1ª CSR = Primeira Camada Semi-Redutora

\dot{X} = Taxa de Exposição no Ar

CONCLUSÕES

Os testes realizados neste trabalho apresentaram resultados satisfatórios, provando a confiabilidade nas medidas obtidas. Os parâmetros determinados para as qualidades de campos padrões de raios-X de energias baixas implantados mostraram-se dentro dos limites de variação recomendados internacionalmente.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem ao Sr. Marcos Xavier, pela assistência técnica, ao MSc. Manoel Ramos, do Instituto de Radioproteção e Dosimetria, pela colaboração na calibração do sistema padrão, nível Radioproteção, do IPEN e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro parcial no desenvolvimento deste projeto.

REFERÊNCIAS

- [1] OLIVEIRA, E. C., Estabelecimento de Campos Padrões de Raios-X de Energias Baixas, Nível Radioproteção, para Calibração de Instrumentos, Dissertação de Mestrado - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, 1995.
- [2] AUSTERLITZ, C.; SIBATA, C. H. E ALMEIDA, C. E., A Graphite Transmission Ionization Chamber, Med. Phys., vol. 14 (6), p. 1056-1059, 1987.
- [3] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Calibration on Radiation Protection Monitoring Instruments, Safety Series Draft Purposal, 1988.
- [4] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION - IEC STANDARD, Medical Electrical Equipment Dosimeters with Ionization Chambers as used in Radiotherapy, IEC 731 © CEI, 1982.
- [5] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, X and γ Reference Radiations for Calibrating Dosimeters and Dosimeter Meters and for Determining their Response as a Function of Photon Energy, ISO 4037, 1979.
- [6] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, X and γ Reference Radiations for Calibrating Dosimeters and Dosimeter Meters and for Determining their Response as a Function of Photon Energy. Part 1: Characteristics of the Radiations and their Methods of Production [Revision of First Edition ISO 4037:1979], Draft International Standard ISO/DIS 4037-1, 1994.

ABSTRACT

The establishment of standard low energy X-rays fields, Radioprotection level, has the main objectives of the calibration and the realization of energy dependence tests of instruments utilized for this purpose. Seven standard low energy X-rays fields, Radioprotection level, were established at the Calibration Laboratory of IPEN. These radiation fields reproduce five X-rays qualities of the National Physical Laboratory, England, with energies between 16 and 38 keV, and two qualities recommended by the International Organization for Standardization, with energies of 33 and 48 keV.