



PRODUÇÃO TÉCNICO CIENTÍFICA
DO IPEN
DEVOLVER NO BALCÃO DE
EMPRESTIMO

CARACTERIZAÇÃO DE CAMPOS PADRÕES PARA CALIBRAÇÃO DE INSTRUMENTOS, NÍVEL MAMOGRAFIA

Aline Barlem Guerra (abguerra@net.ipen.br)
Linda V. E. Caldas (lcaldas@net.ipen.br)
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
Comissão Nacional de Energia Nuclear
Caixa Postal 11049
05422-970- São Paulo/Brasil
Fone: (011) 3816-9211 Fax: (011) 3816-9209

Resumo: A dosimetria e o diagnóstico em mamografia requerem a utilização de câmaras de ionização específicas a fim de reduzir as incertezas das medidas para controle de qualidade e proteção radiológica. Assim, é importante que estas câmaras sejam calibradas em feixes de raios X padronizados contendo as características do espectro mamográfico. Neste trabalho foi realizado um estudo do uso de filtros de molibdênio, com 99,99% de pureza, na saída do feixe de raios X proveniente da interação dos elétrons com um alvo de tungstênio para o estabelecimento de campos padrões, nível mamografia, no Laboratório de Calibração de Instrumentos do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. Como instrumento de referência foi escolhida uma câmara de ionização recentemente calibrada no Laboratório de Calibração do Center for Devices and Radiological Health, Food and Drug Administration, EUA. Foram determinadas as camadas semi-redutoras para as energias entre 14 e 23 keV, incluindo medidas de feixe de saída. Os resultados quanto ao controle de qualidade do sistema de raios X e da câmara de ionização estão em conformidade com os padrões de desempenho estabelecidos na legislação nacional e internacional. As características das qualidades de radiação estabelecidas mostram uma concordância das energias equivalentes entre os dois laboratórios.

Palavras-chave: campos padrões de raios X, calibração de instrumentos, mamografia

1. INTRODUÇÃO

A mamografia é a técnica mais utilizada e mais eficaz para detecção do câncer de mama em estágios iniciais (Dowsett et al, 1998). Trata-se de um diagnóstico baseado na utilização de raios X, com espectro de energias baixas (NCRP, 1980), destacando-se na radiologia diagnóstica por apresentar peculiaridades distintas do radiodiagnóstico convencional (Nadruz, 1999) quanto

aos feixes de raios X, ao próprio equipamento de raios X, à faixa de energia, à tensão e às correntes operacionais e aos tipos de filtros utilizados.

Deste modo, a dosimetria e o diagnóstico em mamografia exigem a utilização de câmaras de ionização específicas, que possuem dependência energética restrita à faixa de tensão operacional deste tipo de diagnóstico e, portanto, devem ser calibradas em feixes de raios X padronizados contendo as características específicas para faixa mamográfica (Pernika et al, 1999). Se a calibração for inapropriada por causa de diferenças no espectro, as incertezas resultantes das medidas em mamografia, como por exemplo as medidas de dose glandular média, irão se propagar para todos os pacientes (DeWerd, 1999).

Considerando-se os diagnósticos, a grande maioria das decisões médicas depende do radiodiagnóstico. Este por sua vez contribui com 85% da fração da dose na população comparada com as diferentes fontes artificiais de exposição e, justamente por se tratar de radiação ionizante, seu uso é controlado por meio de programas de garantia da qualidade e proteção radiológica, para que as pessoas não sejam expostas, nem demasiadamente, nem desnecessariamente (Bushong, 1997).

2. MATERIAIS

Os equipamentos relacionados a seguir foram utilizados no presente trabalho:

2.1. Eletrômetros

1. Eletrômetro: marca *Radcal Corporation*, modelo 9015, série 91-0280 acompanhado de um pré amplificador, marca *Radcal Corporation*, modelo 9060, série 99-0390;
2. Eletrômetro: marca *Nuclear Enterprises (NE)*, modelo 2560, série 139.

2.2. Câmaras de ionização

- C1. Câmara de ionização específica para mamografia: marca *Radcal Corporation*, modelo 10x5-6M, série 8220, volume de 6 cm³, acoplada ao eletrômetro *Radcal Corporation*, próprios para uso em feixes de mamografia, com rastreabilidade ao Laboratório de Calibração do *Center for Devices and Radiological Health, CDRH, Food and Drug Administration, FDA, EUA* (Certificado de Calibração CDRH nº R00-0060);
- C2. Câmara de ionização tipo superficial: marca *NE*, modelo 2536/3B, série 171358, volume de 0,3 cm³, acoplada ao eletrômetro *NE*. Esta câmara e o eletrômetro constituem o sistema padrão secundário do IPEN com rastreabilidade ao *National Physical Laboratory, NPL, Inglaterra* (Certificado de Calibração NPL nº D833).

2.3. Fonte de controle

- F1. Fonte Sr-90: marca *PTW*, modelo 8921, série 906, com atividade inicial de 33 MBq na data de fabricação (1988).

2.4. Sistema de raios X (60 kV)

Este sistema é constituído por:

1. Gerador *Rigaku Denki Co. Ltda*, tipo *Geigerflex* (potencial constante), acoplado a um tubo *Philips*, modelo PW2184/00, com janela de 1 mm de berílio e alvo de tungstênio (W). A variação da corrente é de 2 mA a 80 mA (com incremento de 5 mA, exceto no primeiro incremento, que é de 3 mA) e a variação da tensão é de 20 kV a 60 kV (com incremento de 2,5 kV);
2. Suporte para os filtros de molibdênio (Mo), onde são acoplados os filtros de molibdênio com 99,99 % de pureza, para se simular campos padrões de radiação X, nível mamografia;
3. "Shutter" ou obturador de feixe de radiação, marca *PTW*, modelo 6801, série 2736, com transmissão menor que 0,1 %;
4. Sistema de colimação fixo e suporte para colimadores de diferentes diâmetros;
5. Suporte para os filtros de alumínio, da filtração adicional ao sistema;
6. Tubo laser tipo hélio-neônio, marca *Opto*, modelo SNB 16, série 0410688, alinhado com o ponto focal estando no centro do campo de radiação para auxiliar no posicionamento dos instrumentos.

2.5. Sistema de monitoração não-invasivo de equipamentos de raios X

1. Equipamento NERO, marca Victoreen, modelo 6000M - é um medidor não-invasivo que permite verificar se a tensão nominal está dentro dos padrões legais estabelecidos para os feixes de radiação, isto é, quando seu detector é exposto a um feixe de radiação contínuo, fornece dados de tensão de pico e de taxa de exposição. Se exposto a um feixe pulsado, fornece também valores de tensão efetiva e tensão média.

3. RESULTADOS

3.1. Estudo da estabilidade e teste de fuga de corrente das câmaras de ionização

Para o teste de repetibilidade foram realizadas medidas consecutivas, mantendo-se a câmara de ionização e a fonte de controle em posições reprodutíveis. Foram obtidos valores médios e a variação percentual de cada medida. Repetindo-se a medição realizada para o teste de repetibilidade ao longo do tempo (mensalmente) tem-se o teste de reprodutibilidade. A medida de fuga de corrente é realizada considerando a variação da leitura do sistema de medição após a remoção da fonte de controle.

A Tabela 1 apresenta as variações percentuais das médias relativas aos testes de repetibilidade, reprodutibilidade e fuga de corrente realizados nas câmaras de ionização descritas no item 2.2.

Tabela 1: Controle de estabilidade das câmaras de ionização.

Câmara de Ionização	Varição da Exposição (%) para o Teste de Repetibilidade	Varição da Exposição (%) para o Teste de Reprodutibilidade	Fuga de Corrente (%)
C1	0,18	0,9	0,06
C2	0,13	0,6	0,02

Os testes de repetibilidade apresentaram variações máximas de 0,2 % e portanto inferiores aos 0,3 % estabelecidos na norma ISO 4037-1, indicando resultados satisfatórios das medidas com as câmaras de ionização.

Quanto à reprodutibilidade, a norma ISO 4037-2 estabelece uma variação de 2%, entretanto, neste trabalho foram seguidas as recomendações da IAEA (Järvinen et al, 2000), que é de 1% para este teste. As variações obtidas estão inferiores a ambas recomendações, mostrando que estas câmaras apresentam boa reprodutibilidade.

Os dados quanto à fuga de corrente indicam que seus valores são desprezíveis, dispensando correções para as medidas realizadas com as câmaras. A norma ISO 4037-2 estabelece uma variação percentual máxima de 2 % para este teste.

3.2. Caracterização dos campos padrões

Inicialmente foram realizados alguns dos testes relativos ao programa de controle da qualidade do Laboratório de Calibração de Instrumentos do IPEN, considerando as qualidades mamográficas, para assegurar o funcionamento adequado do equipamento nesta faixa de energia.

Exatidão da Tensão: Foram realizadas aproximadamente 50 medidas no sistema de raios X utilizando-se a filtração de molibdênio. A Tabela 2 indica, para cada valor de tensão nominal (selecionada no painel de controle), a média com seus respectivos desvio padrão e desvio padrão percentual, bem como a variação entre a tensão nominal e o valor de tensão obtido no instrumento de medida não invasivo.

Tabela 2: Medidas de exatidão da tensão utilizando a filtração de molibdênio do equipamento de raios X e com uso do instrumento não invasivo NERO.

Nominal (kV)	Tensão		Diferença entre a Tensão Nominal e a Tensão Medida (kV)
	Medida (kV)	Desvio Padrão %	
25,0	24,4 ± 0,3	1,3	0,6
27,5	27,2 ± 0,1	0,5	0,3
30,0	31,6 ± 0,4	1,4	-1,6
35,0	36,4 ± 0,3	0,8	-1,4

As medidas de tensão apresentam um desvio padrão máximo de 1,4%, representando uma repetibilidade satisfatória. A diferença máxima entre a tensão nominal e a medida foi de - 1,6 kV, estando dentro dos limites estabelecidos na legislação nacional (Portaria 453, 1998), que determina que a variação máxima aceitável é de 2 kV.

Linearidade da corrente: Foram realizadas 175 medidas com a câmara de ionização C1, para as diferentes qualidades mamográficas a serem implantadas no Laboratório de Calibração de Instrumentos, variando-se a corrente entre 10 e 30 mA, conforme a Figura 1. Conforme a legislação (Portaria 453, 1998), para uma dada tensão do tubo, a taxa de exposição deve ser linear em função da corrente, sendo que o desvio (diferença entre duas taxas de exposição expressas em mR/mAs) não deve ultrapassar 20% do valor médio destas medidas.

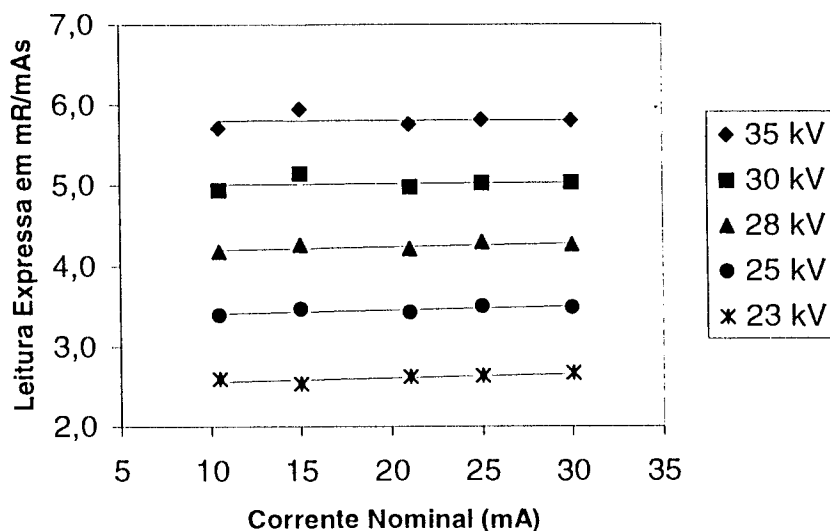


Figura 1: Linearidade da corrente do sistema de raios X, utilizando a filtração de molibdênio na saída do feixe.

A maior variação da taxa de exposição para um mesmo valor de tensão foi de 1,9 %, que é bem inferior aos 20% estabelecidos na legislação (Portaria 453, 1998 e Resolução SS-625). Deste modo, qualquer um dos valores de corrente testados pode ser utilizado para o sistema em questão.

Medidas de camada semi-redutora e energia efetiva: Foram determinadas as camadas semi-redutoras e as energias equivalentes para as qualidades que serão implantadas no sistema de raios X.

O coeficiente de atenuação linear, para um dado material, permite determinar o coeficiente de atenuação de massa, apenas multiplicando-se seu valor pela densidade do material. Com o uso de tabelas específicas, o valor obtido para este coeficiente é relacionado com a energia média da radiação, ou seja, com a energia equivalente do feixe (Johns & Cunningham, 1983 e Khan, 1994). Entretanto, existem diferenças entre as tabelas fornecidas por diferentes autores, tornando relevante o uso de valores de CSR ao invés do uso de suas energias equivalentes (ou energias efetivas).

Foram realizadas medidas de camadas semi-redutoras com as qualidades que se pretende implantar no sistema de calibração, nível mamografia. As camadas semi-redutoras foram obtidas medindo-se a taxa de exposição sem e com o uso de filtração adicional. A primeira medida foi realizada sem a filtração adicional e foi-se adicionando absorvedores com 0,1 mm Al nas demais medidas. Cada medida corresponde a uma média de dez leituras da taxa de exposição.

A camada semi-redutora (CSR) varia para cada qualidade de radiação X utilizada. Para um determinado valor de CSR, associa-se uma energia equivalente, que pode ser calculada com base em valores fornecidos por tabelas (Johns & Cunningham, 1983 e Khan, 1994) que relacionam a energia com os coeficientes de absorção de massa dos materiais absorvedores.

A Figura 2 mostra os valores mínimos e máximos de camadas semi-redutoras estabelecidos na legislação para feixes de mamografia, segundo a Portaria 453 e os valores de camadas semi-redutoras determinados para o sistema de radiação X com diversas combinações de

filtração. Este procedimento permitiu verificar quais qualidades ideais para a montagem do sistema de calibração, nível mamografia.

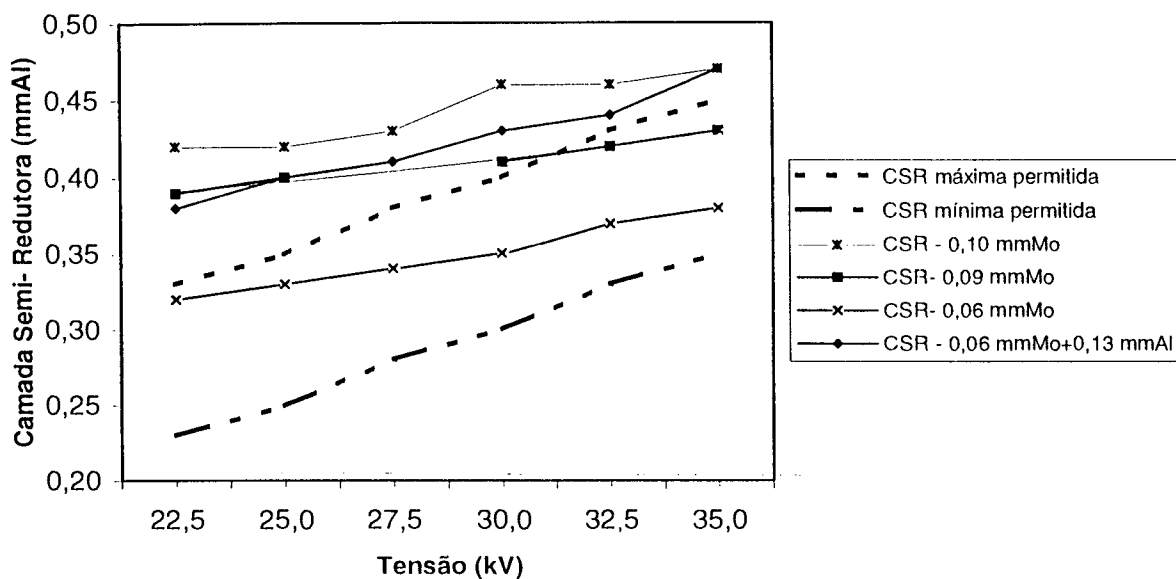


Figura 2: Valores de camadas semi-redutoras (CSR). As curvas de CSR máximas e mínimas foram estabelecidas com base na legislação. As demais curvas de CSR foram determinadas com filtração de molibdênio colocada na saída do feixe.

Comparando-se as curvas obtidas e as curvas estabelecidas pela legislação (Portaria 453, 1998), conclui-se que o uso de 0,06 mmMo na saída do feixe de radiação é a espessura de molibdênio cujos valores de camadas semi-redutoras estão em conformidade com a legislação e também com os valores estabelecidos no Laboratório de Calibração do CDRH. Foram assim obtidas as energias equivalentes semelhantes ao Laboratório do CDRH, para a implantação do sistema de calibração com rastreabilidade a este Laboratório de Calibração (Cerra, 1999).

A Tabela 3 mostra a comparação entre os valores de camadas semi-redutoras e energias equivalentes do Laboratório do FDA e os obtidos neste trabalho.

Agradecimentos

As autoras agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado de São Paulo (FAPESP) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo suporte financeiro parcial, e ao Dr. Frank Cerra, do *Center for Devices and Radiological Health, CDRH, Food and Drug Administration (FDA)*, EUA, pelo incentivo e auxílio técnico.

REFERÊNCIAS

- Bushong, S.C., 1997, *Radiologic Science for Technologists - Physics, Biology, and Radiation Protection*, 6th edition, Mosby Company, Missouri.
- Carmichael, J. H. E., Maccia, C., Moores, B. M., Oestmann, J. W., Schibilla, H., Teunen, D., Van Tiggelen, R., Wall, B., 1996, *European Guidelines on Quality Criteria for Diagnostic Radiographic Images*, European Commission - EUR 16260 EN, Luxemburg.
- Cerra, F. Application of Mammography Beams at the FDA, 1999, *CIRMS Measurements for Diagnostic Radiology Applications*, Nashville.
- DeWerd, L. A., Wagner, L. K., 1999, Characteristics of Radiation Detectors for Diagnostic Radiology, *Appl. Radiat. Isot.* v. 50, n. 1, p. 125-136.
- Dowsett, D. J., Kenny, P. A., Johnston, R. E., 1998, *The Physics of Diagnostic Imaging*, Chapman & Hall Medical, Londres.
- International Standard Organization - ISO 4037-1, 1996, *X and Gamma Reference Radiation for Calibrating Dosimeters and Doseratemeters and for Determining their Response as a Function of Photon Energy, Part 1: Radiation Characteristics and Production Methods*, Genève, Switzerland.
- International Standard Organization - ISO 4037-2, 1997, *X and Gamma Reference Radiation for Calibrating Dosimeters and Doseratemeters and for Determining their Response as a Function of Photon Energy, Part 2: Dosimetry for Radiation Protection over the Energy Ranges 8 keV to 1,4 keV and 4 MeV to 9MeV*, Genève, Switzerland.
- Järvinen, H., Morales, J., Diaz, J., Limin, Z., 2000, Development of a Quality Assurance Programme for SSDLs, *SSDL Newsletter*, n. 42, p.12- 23.
- Johns, H. E., Cunningham, J. R., 1983, *The Physics of Radiology*, 4th edition, Illinois: Charles C. Thomas Publisher.
- Khan, F. M., 1994, *The Physics of Radiation Therapy*, Williams & Wilkins, Baltimore.
- Ministério Da Saúde, Portaria da Secretaria de Vigilância Sanitária nº 453. Diretrizes de Proteção Radiológica em Radiodiagnóstico Médico e Odontológico. *Diário Oficial da União*, Brasília, 02 de junho de 1998.
- Nadruz Filho, E., 1999, Mamografia: ilusão ou alta resolução?, *Boletim do Colégio Brasileiro de Radiologia*, São Paulo, n. 136 p. 5.
- National Council On Radiation Protection And Measurements, NCRP, 1980, *Mammography*, Report No. 66, Washington, DC.

Pernicka, F., Andreo, P., Meghzifene, A., Czap, L., Girzikowsky, R., 1999, Standards for Radiation Protection and Diagnostic Radiology at the IAEA Dosimetry Laboratory, SSDL Newsletter, n. 41, p.12- 23.

Secretaria da Saúde do Estado de São Paulo. Resolução SS - 625. Diário Oficial do Estado, São Paulo, 14 de dezembro de 1994)

CHARACTERIZATION OF STANDARD FIELDS FOR CALIBRATION OF INSTRUMENTS, MAMMOGRAPHY LEVEL

Abstract: The dosimetry and the diagnosis in mammography demand the use of specific ionization chambers in order to reduce the uncertainties of the measurements for quality control and radiation protection. Thus, it is important that these chambers are calibrated in X-ray standardized beams containing the characteristics of the mammography spectrum. In this work a study of the use of molybdenum filters, with 99,99% of purity, was performed at the exit of the X-ray beams originating from the interaction of the electron with a tungsten target, to establish standard fields, mammography level, in the Laboratory of Calibration of Instruments of the IPEN. As a reference instrument, an ionization chamber, recently calibrated at the Laboratory of Calibration of the Center for Devices and Radiological Health, Food and Drug Administration, USA, was chosen. The half-value layers were determined for the energies between 14 and 23 keV, including measurements of exit beams. The results of the quality assurance program of the X-ray system and of the ionization chamber are in conformity with the national and international legislation. The characteristics of the established radiation qualities show an agreement between the equivalent energies of the two laboratories.

Key-words: standard X ray fields, calibration of instruments, mammography