

Dependência energética do TLD 100 (LiF;Mg,Ti) para a faixa de energia utilizada em mamografia

Energy dependence of TLD 100 (LiF; Mg, Ti) for energy range used in mammography

Pedro H. G. Durão¹, Claudio D. Almeida², João E. Peixoto^{1,2}¹Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD), Rio de Janeiro, Brasil²Instituto Nacional de Câncer, Rio de Janeiro, Brasil

Resumo

Em mamografia, as doses na mama são medidas em serviços de todo o país como parte do Programa Nacional de Qualidade em Mamografia. Este controle é feito por meio de cartões dosimétricos contendo medidores termoluminescentes TLD 100. O sinal TL destes dosímetros são convertidos em *kerma no ar* incidente, K_i , por meio de fatores de calibração (Fc) que dependem da energia dos fótons do espectro de raios X utilizado. Os objetivos deste estudo foram determinar a relação entre Fc para o TLD 100 e camada semirredutora dos espectros usados em mamografia, e estabelecer a relação entre o Fc obtido para o espectro de raios X gerado com 28 kV/Mo/Mo e os Fc obtidos para as demais qualidades de feixe estudadas. Adicionalmente, procurou-se determinar a influência dos materiais do alvo dos tubos de raios X (molibdênio e tungstênio) na calibração do TLD 100. Para toda a faixa de energia estudada, o Fc variou de 0,250 a 0,180 mGy/nC, para as camadas semirredutoras de 0,310 a 0,654 mmAl, respectivamente. A comparação entre o valor do Fc de 28 kV/Mo/Mo e as outras qualidades de feixe estudadas, mostrou que a dose glandular média pode ser subestimada em até 10,8% para as qualidades com menores e superestimada em até 20,3% para as maiores. Em relação à influência do material alvo, foi observado um erro máximo de 6,1% para Fc quando utilizado somente alvo de Mo e 3,3% com alvo de W em comparação com o ajuste dos resultados utilizando os dois alvos. A partir da relação entre os Fc do TLD 100 e a qualidade do feixe, foi possível observar a dependência energética destes dosímetros na faixa de energia usada em mamografia e, com isso, garantir o seu uso correto para estimativa da dose glandular média em mulheres submetidas à mamografia.

Palavras-chave: física médica; proteção radiológica; mamografia; TLD 100; dependência energética.

Abstract

In mammography, breast doses are measured at mammography services in the country as part of the National Mammography Quality Program, using dosimetric cards containing TLD 100 thermoluminescent meters. The TL signal of these dosimeters are converted to incident air kerma, K_i , by means of calibration coefficients, Fc, which depend on the photon energy of the X-ray spectra used. The objective of this study was to determine the relationship between Fc for TLD 100 and the quality of the spectra used in mammography, the relation between Fc for X-ray spectrum generated with 28 kV and Mo/Mo target/filter combination and those obtained for other beam qualities. In addition, it was determined the influence of the X-ray tubes target materials (molybdenum and tungsten) on the TLD 100 calibration. For the entire range of energy studied, Fc varied from 0.250 to 0.180 mGy/nC for the qualities of 0.310 to 0.654 mmAl, respectively. The comparison between Fc for the other beam qualities with 28 kV Mo/Mo showed that mean glandular dose can be underestimated by up to 10.8% for the minor qualities and overestimated by up to 20.3% for the greater ones. Regarding the influence of the target material, a maximum error of 6.1% was observed for Fc when only Mo was used and 3.3% for W, in comparison with the adjustment of the results using the two targets. From the relationship between the Fc of TLD 100 and the beam quality it was possible to observe the energy dependence of these dosimeters in the range of beam qualities used in mammography. It assures the correct use of TLD 100 in estimating mean glandular dose in women undergoing mammography.

Keywords: medical physics; radiation protection; mammography; TLD-100; energy dependence.

1. Introdução

O câncer de mama é o segundo câncer mais incidente entre as mulheres, segundo o INCA. A mamografia é o exame com melhor capacidade de discriminar estruturas da mama com coeficientes de atenuação próximos, ou seja, torna possível a distinção visual de tecidos saudáveis, tecidos tumorais ou até estruturas que indicam um possível surgimento de doenças como as microcalcificações, que necessitam de resolução e alto contraste para serem observadas(1).

A dose glandular média (DGM) é a grandeza que melhor estima o risco de carcinoma radioinduzido no tecido glandular da mama (1).

Existem diferentes métodos de estimativa da DGM e um deles é a partir do *kerma* no ar incidente com a

aplicação de coeficientes de conversão (2,3). A determinação do *kerma* no ar pode ser feita diretamente com câmara de ionização ou utilizando dosímetros termoluminescentes (TLD) (3).

O TLD 100 é amplamente utilizado para dosimetria de pacientes devido ao seu tamanho e praticidade de uso. O Programa Nacional de Qualidade em Mamografia, realizado pelo Instituto Nacional de Câncer (INCA) e pelo Colégio Brasileiro de Radiologia (CBR), utiliza cartões dosimétricos contendo TLD. Estes cartões são enviados via postal, junto com as instruções de exposição, para estimar a DGM nos serviços participantes do programa por todo o Brasil (4,5).

O Relatório Técnico número 457 da Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), aponta que os Laboratórios de dosimetria de padrão secundário

(SSDL) rotineiramente utilizam a qualidade do feixe de 28 kV e combinação alvo/filtro de molibdênio (Mo/Mo) na calibração do TLD 100 para uso em mamografia (6). Entretanto, é destacada por trabalhos como o de Nunn *et al* e Facenda *et al*, a dependência energética do TLD 100 para a faixa de energia utilizada em mamografia (7,8).

No estudo realizado por Pinheiro *et al.* (5), foi observado aumento no uso de novas tecnologias em mamografia com qualidades de feixe de raios X com energias distintas de 28 kV e combinações alvo/filtro distintas de molibdênio (Mo/Mo). É sabido que equipamentos digitais DR utilizam feixes com camadas semirredutoras (CSR) mais altas devido à utilização do tungstênio (W) como alvo. Com isso, a faixa de energia usada neste exame aumentou razoavelmente e, conseqüentemente, aumentou a possibilidade de cometer erros no cálculo da DGM quando os TLD não são calibrados para toda a faixa de energia utilizada.

Os objetivos deste estudo foram determinar a relação entre os fatores de calibração (F_c) para o TLD 100 e a camada semirredutora CSR dos espectros usados em mamografia, e determinar a discrepância entre o F_c obtido para o espectro de raios X gerado com 28 kV/Mo/Mo e os F_c obtidos para as demais qualidades de feixe utilizadas em mamografia. Adicionalmente, procurou-se determinar a influência dos materiais do alvo dos tubos de raios X (molibdênio e tungstênio) na calibração do TLD 100.

2. Materiais e Métodos

Foram determinadas as camadas semirredutoras e os fatores de calibração para 19 qualidades de feixe. Foram utilizados dois mamógrafos clínicos: o Siemens Mammomat 1000 localizado no laboratório de raios X na Divisão de Física Médica do Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD) e o mamógrafo digital (DR) Hologic Selenia Dimensions, localizado no Instituto Nacional de Câncer (INCA-III). A fim de aferir a acurácia e precisão das medidas realizadas nos mamógrafos clínicos, também foram obtidos dados no equipamento de raios X industrial Comet, modelo 160/22, do laboratório de dosimetria instalado no Laboratório de Ciências Radiológicas na Universidade Estadual do Rio de Janeiro (LCR/UERJ) (Figura 1).

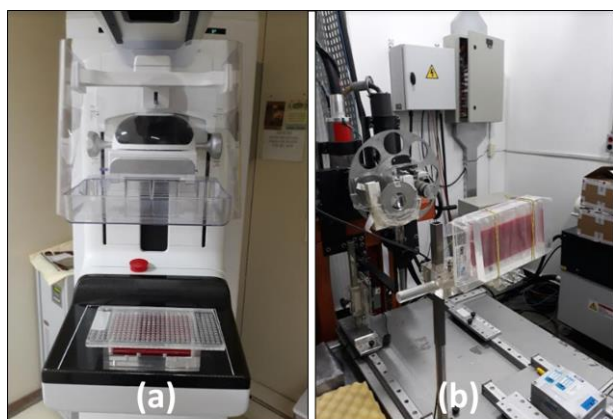


Figura 1 - Arranjo experimental do irradiador para calibração dos TLDs no: (a) mamógrafo e (b) Raio X Industrial do LCR.

Foram utilizados 200 TLDs 100 da marca Harshaw. Os tratamentos térmicos foram realizados em um forno da marca PTW seguindo os procedimentos recomendados pelo fabricante. Os TLD foram lidos em uma leitora Harshaw 5500.

Para determinar os fatores de sensibilidade individuais (F_s) de cada TLD, estes foram expostos cinco vezes utilizando uma fonte de Césio 137 (^{137}Cs) na Divisão de Dosimetria do IRD. Os TLD foram posicionados em uma placa de acrílico, centralizados com o campo de radiação a uma distância de 50 cm da fonte e expostos à uma dose 10 mGy.

As camadas semirredutoras foram obtidas utilizando seis lâminas de alumínio (0,1 mm de espessura cada lâmina) e um dosímetro clínico Radcal 9015 com câmara de ionização de 6 cm³.

Para a obtenção dos fatores de calibração, foram selecionados grupos de 6 TLD e empregado o método da substituição para calibrá-los (6). Os TLD foram posicionados sobre uma placa de PMMA de 5 cm de espessura para a exposição e, em seguida, foi realizada a medida do *kerma* no ar, posicionando a câmara de ionização na mesma posição dos TLD. Cada grupo de TLD posicionado sobre o PMMA foi exposto a uma dose aproximada de 10 mGy utilizando diferentes combinações kV/alvo/filtro/CSR. Foi escolhida a dose de 10 mGy para a calibração dos TLD, porque no Reporte Técnico 457 da AIEA é recomendada para a calibração do TLD 100, para serem utilizados em mamografia, uma dose de 5 a 10 mGy(6). Tanto os TLD quanto a câmara de ionização foram posicionados em um arranjo geométrico centrados lateralmente, a 6 cm da borda da parede torácica e a 5 cm sobre a bandeja que apoia a mama (bucky).

No mamógrafo do IRD, foram utilizadas as combinações Mo/Mo e Mo/Rh com tensões de 23, 27, 28, 32, 33 e 34 kV. No mamógrafo do INCA-III, foram utilizadas combinações W/Rh e W/Ag e tensões de 28, 31 e 34 kV e no equipamento do LCR/UERJ foram utilizadas combinações W/Mo e W/Ag e tensões de 23, 24, 28, 30, 33, 35 e 39 kV.

Inicialmente foi determinado o fator de sensibilidade individual (F_s) de cada TLD a partir da equação (1):

$$F_s = \frac{M_g}{(M_i - BG)} \quad (1)$$

Onde M_i é a média das 5 leituras do TLD, BG é a radiação de fundo e M_g é a média das médias de leitura de todos os TLD.

As camadas semirredutoras foram obtidas pela equação (2), a partir do ajuste do gráfico monolog do *kerma* no ar por espessura de filtro de alumínio adicionado:

$$CSR = \frac{\ln\left(\frac{K_i}{2}\right) - b}{m} \quad [mmAl] \quad (2)$$

Onde K_i é o *kerma* no ar medido para a exposição sem filtros de alumínio e b e m são os coeficientes linear e angular da reta, respectivamente.

Para calcular os fatores de calibração dos TLD expostos nos equipamentos de raios X, foi usada a equação (3):

$$F_c = \frac{\bar{K}_l}{(\bar{L} - \bar{BG})} \left[\frac{mGy}{nC} \right] \quad (3)$$

Onde \bar{K}_l é a média das cinco medidas feitas com a câmara de ionização, \bar{L} é a média da leitura dos 6 TLDs expostos e \bar{BG} é a média da radiação de fundo obtida com 6 TLDs. Cada leitura individual de TLD foi multiplicada pelo seu respectivo fator de sensibilidade antes do cálculo dos valores médios.

3. Resultados

No mamógrafo clínico do IRD, que possui alvo de molibdênio, os F_c variaram de 0,250 a 0,207 mGy/nC e as CSR variaram de 0,310 a 0,468 mmAl respectivamente. Uma vez que estes valores não cobrem toda a faixa de energia utilizada em mamografia, foram realizadas medidas no mamógrafo clínico do INCA-III, que possui alvo de tungstênio. Os valores de F_c variaram de 0,197 a 0,182 mGy/nC enquanto os de CSR variaram de 0,547 a 0,654 mmAl respectivamente.

As exposições dos TLD realizadas no LCR resultaram em F_c que variaram de 0,238 a 0,180 mGy/nC, com CSR entre 0,330 a 0,627 mmAl. Desta forma, para toda faixa de energia estudada e os aparelhos de raios X utilizados, os valores de F_c variaram de 0,250 a 0,180 mGy/nC, enquanto os valores de camada semirredutora variaram de 0,310 a 0,654 mmAl.

A Figura 2 mostra a relação entre os F_c em função da CSR e o F_c para 28 kV e combinação alvo/filtro de Mo/Mo.

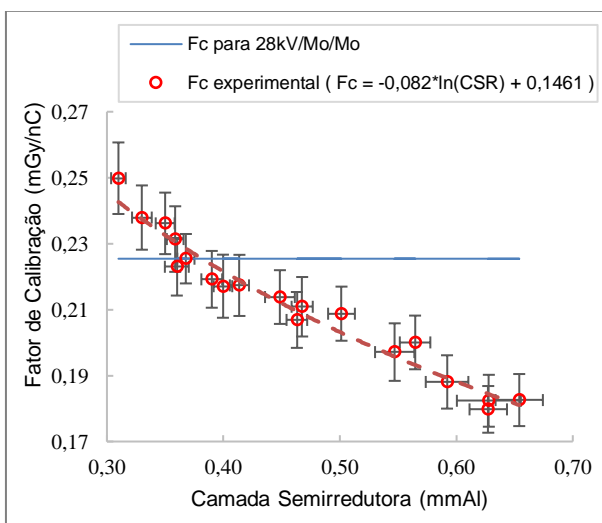


Figura 2 – Fator de Calibração em função da camada semirredutora medidos em toda a faixa de energia utilizada em mamografia e o fator de calibração para 28kV/Mo/Mo.

Os F_c determinados para cada CSR medida nos mamógrafos clínicos e no equipamento de raios X do LCR são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 – Fator de Calibração obtidos para camada semirredutora medidas nos mamógrafos clínicos e no equipamento de Raio X Industrial do LCR.

CSR (mmAl)	Fator de calibração (mGy/nC)	
	Mamógrafos clínico	LCR
0,310	0,250	-
0,330	-	0,238
0,350	-	0,236
0,359	0,231	-
0,360	-	0,223
0,368	0,225	-
0,390	-	0,219
0,400	0,217	-
0,414	0,217	-
0,449	-	0,214
0,463	0,207	-
0,468	0,211	-
0,501	-	0,209
0,547	0,197	-
0,565	-	0,200
0,592	0,188	-
0,627	-	0,180
0,628	0,182	-
0,654	0,183	-

A diferença observada no gráfico da Figura 2 entre os F_c medidos em toda faixa de energia e o F_c para 28 kV/Mo/Mo mostra que o cálculo da dose glandular média pode ser subestimado em até 10,8% e superestimado em até 20,3% se for utilizado apenas o F_c obtido para 28 kV/Mo/Mo.

Pode ser observado na Tabela 2 que os F_c obtidos, quando usados os mamógrafos clínicos, são compatíveis com os obtidos no LCR, garantindo dessa forma, a qualidade das medidas efetuadas nos mamógrafos clínicos.

A Figura 3 mostra o comportamento do F_c em função da CSR para os alvos de Mo e W. As equações das curvas apresentadas foram obtidas mediante ajustes dos resultados das Figuras 2 e 3 e da Tabela 1.

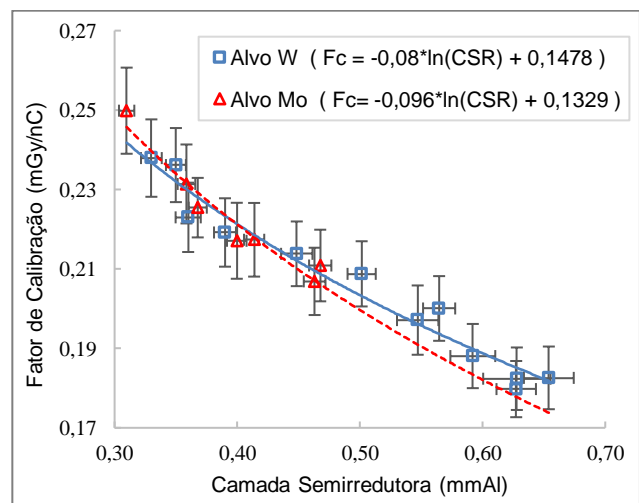


Figura 3- Fator de Calibração em função da camada semirredutora para os alvos de Mo e W em toda a faixa de energia utilizada em mamografia

Ao não fazer a correção da dependência energética dos F_c , a discrepância máxima obtida no cálculo da

DGM chegaria a 20,3%. Aplicando a equação da Figura 1, que considera as medidas com as 19 qualidades de feixe, a discrepância no cálculo da DGM é reduzida para 3,5%. Aplicando a equação obtida apenas com os mamógrafos clínicos, a discrepância máxima seria reduzida para 3,8% e considerando apenas as medidas realizadas com o equipamento de raios X industrial, esta seria 3,9% (Tabela 1). Esta redução seria de 6,1% quando a equação usada é somente com medidas para alvo de Mo, e 3,3% quando a equação usada é somente com medidas para alvo de W (Figura 3).

4. Discussão

Há uma discrepância considerável quando é aplicado somente o fator de calibração para a combinação de 28kV e Mo/Mo na obtenção de DGM, para toda faixa de energia de mamografia.

Observando a incerteza das medidas e a proximidade das curvas obtidas, ficou evidente a possibilidade de usar mamógrafos clínicos para calibração dos TLD 100 para toda faixa de energia usada em mamografia.

A partir da relação entre o Fc e a CSR, é possível determinar um Fc mais próximo do experimental e assim diminuir a influência da dependência energética do TLD no cálculo da DGM.

5. Conclusões

A partir da relação entre os Fc do TLD 100 e a qualidade do feixe, foi possível observar a dependência energética destes dosímetros na faixa de energia usada em mamografia e, com isso, garantir o seu uso correto para estimativa da dose glandular média em mulheres submetidas à mamografia.

Agradecimentos

Ao IRD/CNEN, ao INCA e ao LCR/UERJ pela utilização dos equipamentos e ao CNPQ pelo apoio financeiro.

Referências

1. Chevalier, M. Lá Física de la Mamografía. Física Médica. Departamento de Radiología. Universidad Complutense de Madrid; 2012.
2. Dance., DR; Thilander., AK; Sandborg., M; Skinner., CL; Castellano., IA; Carlsson., GA. Influence of anode/filter material and tube potential on contrast, signal-to-noise ratio and average absorbed dose in mammography: a Monte Carlo study. Br J Radiol.; 73(874):1056-67; 2000.
3. Coutinho, C. M. Avaliação da Dose Glandular em Sistemas de Mamografia Convencional e Digital Utilizando um Fantoma Dosimétrico. Tese de Doutorado. COPPE-UFRJ; 2009.
4. Araújo, A. M.; Peixoto., J. E.; da Silva., S. M.; Travassos., L. V.; de Souza., R. J.; Marin., A. V.; Canella., E. O. O Controle de Qualidade em Mamografia e o INCA: Aspectos Históricos e Resultados. Revista Brasileira de Cancerologia; 2017.
5. Pinheiro, M. A; Almeida, C. D.; Peixoto, J. E.; Valverde, M. de A. S.; Marin, A. V. Análise das tecnologias e doses glandulares médias em mamografia no Brasil no período de 2011 a 2016. *Brazilian Journal of Radiation Sciences*; 2018.
6. International Atomic Energy Agency (IAEA). Dosimetry in Diagnostic Radiology: An International Code of Practice. Technical Reports Series N° 457; 2007.
7. Nunn, A. A.; Davis, S. D.; Micka, J. A.; DeWerd, L. A.; LiF:Mg,Ti TLD response as a function of photon energy for moderately

- filtered x-ray spectra in the range of 20-250 kVp relative to ⁶⁰Co. *American Association of Physicists in Medicine*; 2008.
8. Gomez-Facenda, A.; Munoz, I.D.; Lopez-Pineda, E.; Reynoso-Mejía, C.A.; Dies-Suarez, P.; Brandan, M.E; Dual TLD-100/TLD-300 method to evaluate beam quality and absorbed dose in radiological imaging procedures. Elsevier; 2017.

Contato:

Pedro Henrique Gonçalves Durão
Instituto de Radioproteção e Dosimetria Av. Salvador
Allende, 3773 - Barra da Tijuca, Rio de Janeiro - RJ,
CEP. 22783-127
duraoph@gmail.com