



P

ROTEÇÃO CONTRA RADIAÇÕES
NA COMUNIDADE DOS PAÍSES
DE LÍNGUA PORTUGUESA

Luis Neves (coord.)

IMPRESA DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA
2018

**APLICAÇÃO DA TÉCNICA DE LUMINESCÊNCIA
OPTICAMENTE ESTIMULADA (OSL) NA MONITORAÇÃO DE
ÁREA DE UMA SALA DE EXAME DE MAMOGRAFIA**

**APPLICATION OF OPTICALLY STIMULATED
LUMINESCENCE (OSL) ON AREA MONITORING OF A
MAMMOGRAPHY EXAMINATION ROOM**

D. VILLANI – dvillani@ipen.br (Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Gerência de Metrologia das Radiações. SAPRA Landauer)

L. L. CAMPOS – lcrodri@ipen.br (Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Gerência de Metrologia das Radiações)

PALAVRAS-CHAVE: dosimetria OSL, $\text{Al}_2\text{O}_3\text{:C}$, monitoração de área, mamografia

RESUMO: O objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho dos dosímetros OSL nanoDot™ para a monitoração de área de uma sala de mamografia. Os testes foram realizados primeiramente em laboratório, para caracterização dosimétrica, avaliação da repetibilidade e estabilidade do sistema utilizado e, posteriormente, na sala de mamografia para avaliar as doses dispersas no ambiente, bem como a dose de entrada na pele. Os resultados mostraram que os nanoDots™ apresentam boa repetibilidade e estabilidade tanto nos testes laboratoriais como nos de campo, o que permite sua aplicação na dosimetria de área.

KEYWORDS: OSL dosimetry, $\text{Al}_2\text{O}_3\text{:C}$, area monitoring, mammography

ABSTRACT: The aim of this study is to evaluate the performance of nanoDot™ OSL dosimeters for area monitoring of a mammography examination room. The tests were first performed in laboratory, for dosimetric characterization, evaluation of repeatability and stability of the reading system, and later in the mammography room to assess doses dispersed in the environment, as well as the entrance skin dose. The results showed that the nanoDots™ have good repeatability and stability for both laboratory and in field tests, which allows its application on area dosimetry.

1. INTRODUÇÃO

A Luminescência Opticamente Estimulada (Optically Stimulated Luminescence – OSL) é um dos muitos fenômenos que podem ser induzidos em sólidos por radiações ionizantes. Os cristais $\text{Al}_2\text{O}_3\text{:C}$ têm proporcionado bons resultados como detectores luminescentes (Akselrod et al., 2007). Os processos eletrônicos e características são relativamente semelhantes aos da dosimetria termoluminescente (TL), havendo considerável diferença no método de leitura: a avaliação de detectores OSL é realizada por laser ou diodo emissor de luz em um comprimento de onda específico, em vez de calor. O método de leitura óptica é rápido, relativamente simples, e permite repetidas leituras da mesma amostra.

A utilização dessa técnica já se consolidou como uma ferramenta bem sucedida para muitas aplicações na área de dosimetria das radiações, tais como: dosimetria clínica, in vivo, retrospectiva, datações arqueológicas e monitoração individual para fins de proteção radiológica (McKeever, 2001; Perks et al., 2007). Contudo, há

poucos relatos na literatura sobre sua aplicabilidade em monitoração de área. Os dosímetros OSL do tipo nanoDot™, fabricados e comercializados pela Landauer Inc. são referidos como tendo um elevado grau de estabilidade ambiental e sensibilidade, bem como fornecer amplo intervalo de linearidade de medição de doses (de 5 µGy a 10 Gy).

O objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho dos dosímetros OSL do tipo nanoDot™, fabricados e comercializados pela Landauer Inc., para a monitoração de área de raios x de energia diagnóstica, em diferentes pontos, em uma sala de exame de mamografia, bem como estimar o perfil do espalhamento do feixe.

2. MÉTODO

2.1 Materiais

Dosímetros do modelo nanoDot™ (disco de Al₂O₃:C de 5 mm de diâmetro e 0,2 mm de espessura envoltos em uma capa plástica a prova de luz de 10 x 10 x 2 mm³), disponibilizados pela SAPRA Landauer.

2.2 Equipamentos

Leitora OSL microStar™ reader, pertencente ao InLight™ System do Laboratório de Materiais Dosimétricos – LMD/IPEN.

Notebook associado a leitora OSL microStar™ reader, com o microStar™ Software para as caracterizações sistêmicas da leitora.

2.3 Sistemas de Irradiação

Fonte de radiação gama de geometria 4 π de ¹³⁷Cs de atividade de 38,11 GBq em 17 de Abril de 2014 do LMD/IPEN.

Mamógrafo da marca VMI, modelo Graph Mammo AF, pertencente ao Laboratório de Calibração de Instrumentos – LCI/IPEN.

Sistema Raios X Pantak/Seifert ISOVOLT 160 HS, pertencente ao LCI/IPEN, com as qualidades de feixe utilizadas nesse trabalho descritas na Tabela 1.

Tabela 1. Especificações das qualidades de feixe de raios X utilizadas

| Qualidade | Voltagem (kVp) | HVL (mm) | Filtração (mm) | Energia Efetiva (keV) |
|-----------------------|----------------|----------------------|----------------|-----------------------|
| RQR-2M ^{a,b} | 28 | 0,37 (Al) | 0,07 (Mo) | 15,7 |
| RQR-4M ^{a,b} | 35 | 0,41 (Al) | 0,07 (Mo) | 16,25 |
| RQR7 ^b | 90 | 2,95 (Al) | 2,5 (Al) | 33,05 |
| N-60 ^b | 60 | 0,25 (Cu) | 0,6 (Cu) | 48 |
| N-80 ^b | 80 | 2,0 (Cu) | 0,58 (Cu) | 65 |
| N-150 ^b | 150 | 0,733 (Pb) +3,0 (Sn) | 2,36 (Cu) | 118 |

^aQualidades utilizadas para caracterização; ^bQualidades utilizadas para obtenção da curva Tandem

2.4 Método

O InLight™ System foi avaliado para utilização em monitoração de área de uma sala de exames de mamografia no Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN). Aos nanoDots™ são atrelados fatores de sensibilidade e separados em lotes. Para avaliação da sensibilidade, repetibilidade e estabilidade do sistema, todos os nanoDots™ foram irradiados com 2.0 mGy em uma fonte gama de geometria 4π de ¹³⁷Cs livre no ar e em equilíbrio eletrônico. Todos foram lidos 5 vezes e, entre uma irradiação e outra, tratados com LED azul por 20 minutos.

Três curvas de resposta em função da dose foram obtidas: uma curva-padrão para 662 keV de ¹³⁷Cs livre no ar e em equilíbrio eletrônico (H_x); e duas qualidades de mamografia disponíveis no Sistema Pantak. Por meio do ajuste linear na curva de resposta em função da dose, cuja inclinação é igual a 1, os fatores de calibração, F_{cal} , foram obtidos e, portanto, o limite inferior de detecção, LID, foi calculado pela Eq. 1

$$LID = (\overline{OSL}_0 + 3 \cdot \overline{\sigma_{OSL}_0}) \cdot F_{cal} \quad (1)$$

onde \overline{OSL}_0 é o valor médio de leituras OSL dos dosímetros não irradiados, corrigidas pela sensibilidade individual, e σ_{OSL0} o valor do desvio padrão da média correspondente.

A estabilidade do sistema de leitura e a sua eficiência intrínseca foi avaliada pelo cálculo do coeficiente de variância, $CV(\%)$, que considera a repetibilidade dos dosímetros e da mecânica da leitora, dado pela Eq. 2.

$$CV(\%) = \sigma_{\overline{OSL}_d} / \overline{OSL}_d \cdot 100 \quad (2)$$

onde σ_{OSL_d} é o desvio padrão de 10 leituras consecutivas do mesmo dosímetro, e \overline{OSL}_d a média das respostas das 10 leituras.

Foi avaliada a dependência angular dos nanoDots™, e um sistema Tandem foi criado com perfil de dependência energética das respostas OSL com e sem filtro de cobre (Precision Brand™, espessura nominal de 0,127 mm) relativas a ^{137}Cs , para auxiliar na estimativa de energias efetivas. As especificações das irradiações estão descritas na Tabela 1.

As medições foram realizadas em um mamógrafo VMI Graph Mammo AF. Para obtenção do perfil de campo de entrada, os dosímetros foram posicionados de forma matricial sobre placas de PMMA simuladoras de mama. Para medir espalhamento, os nanoDots™ foram posicionados a 53 cm de distância na altura da bandeja de exames ao redor do equipamento, na parte traseira, e na posição do operador. Placas de PMMA simuladoras de mama foram utilizadas como espalhadores. Os valores de dose foram obtidos após 25 disparos no equipamento utilizando a técnica manual de 28 kVp de tensão, 80 mA de corrente e 110 mAs, sem o uso do colimador de campo.

3. RESULTADOS

Para os testes de repetibilidade, todos os nanoDots™ utilizados apresentaram valores melhores que $\pm 3\%$. A estabilidade e eficiência intrínseca média do sistema de leitura, para 5 dosímetros irradiados com 10 mGy foi de $\sim 1,5\%$. As curvas de resposta em função da dose, com as qualidades de mamografia e a qualidade de referência H_x , com respectivos ajustes lineares, são apresentadas na Figura 1.

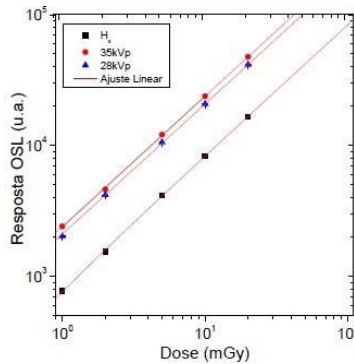


Figura 1. Curvas de resposta em função da dose para as qualidades RQR-2M (28 kVp); RQR-4M (35 kVp) e referência H_x .

Como esperado, fica evidenciado o comportamento linear da resposta OSL para o intervalo estudado de 1 a 20 mGy, e, as três qualidades plotadas juntas no gráfico, respeitando as unidades, mostram existência de dependência energética. Para a qualidade de radiação de referência (H_x), os dosímetros apresentaram limites inferiores de detecção de $0,045 \pm 0,002$ mGy.

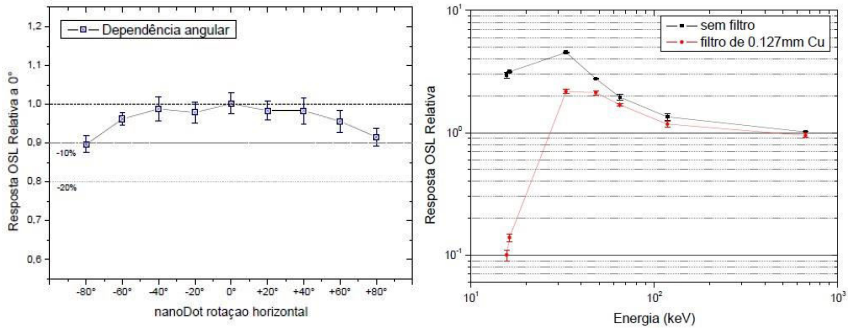


Figura 2. (a) Dependência angular da resposta OSL dos nanoDots™ para a qualidade N-80. (b) Resposta OSL do sistema Tandem em função da energia – relativa à ¹³⁷Cs.

As variações de resposta OSL dos dosímetros, para diferentes inclinações, relativas a 0°, estão demonstradas na Figura 2a. Pode ser observado que a dependência angular da resposta não superara $11,9 \pm 2,3$ % para feixe diagnóstico. Na Figura 2b pode ser observado o perfil Tandem de dependência energética da resposta OSL dos nanoDots™ relativa a ¹³⁷Cs, que apresenta comportamento de acordo com o fabricante (Perks et al., 2007). A Figura 3 demonstra os resultados obtidos com os nanoDots para o perfil de distribuição de dose no campo do mamógrafo.

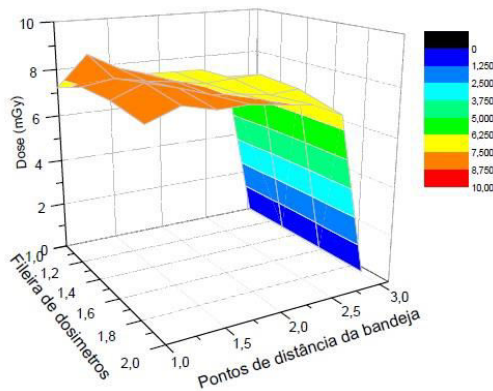


Figura 3. Perfil de distribuição da dose de entrada.

Analisando a Figura 3, o perfil de distribuição do campo de radiação do mamógrafo está dentro do esperado, podendo ser observado o Efeito Heel causado pela posição catodo-anodo do arranjo do mamógrafo. Esse mesmo comportamento foi obtido experimentalmente por Corrêa et al. (2013), utilizando dosímetros de $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$.

Os valores de dose de entrada na pele e de espalhamento obtidos são apresentados na Tabela 2. Pode ser observado que na frente do mamógrafo foi avaliado um valor de dose maior que nas laterais, justificáveis pelo Efeito Heel do arranjo, e pela não utilização do cone colimador durante os disparos.

Tabela 2. Dose de entrada na pele (DEP) e radiação espalhada para os pontos de medida

| | Dose de entrada (mGy) | Direita (mGy) | Esquerda (mGy) | Frente (mGy) | Trazeira (mGy) | Posição do Operador (mGy) |
|------------------------|-----------------------|---------------|----------------|--------------|----------------|---------------------------|
| Média de 4 leituras | 8,283 | 1,558 | 1,538 | 1,956 | 0,119 | 0,077 |
| σ de 4 leituras | 0,006 | 0,020 | 0,020 | 0,018 | 0,004 | 0,002 |

No cálculo das energias efetivas por meio da curva Tandem, as incertezas totais foram de $\pm 26\%$, que denota a sua eficácia no auxílio da estimativa da energia efetiva do feixe pelo qual os dosímetros foram expostos.

4. CONCLUSÕES

Considerando os resultados podemos concluir que os nanoDots, junto com o sistema comercial OSL Inlight System apresentam comportamento linear no intervalo de dose estudado, com dependência energética na região de Efeito Fotoelétrico. A dependência angular da resposta não superara $11,9 \pm 2,1\%$. A curva tandem obtida concorda com a do fabricante, e auxilia na avaliação da energia efetiva do fei-

xe. O perfil de distribuição do campo de radiação do mamógrafo está dentro do esperado, podendo ser observado o Efeito Heel causado pela posição catodo-anodo.

A dose de entrada na pele, na técnica escolhida, foi de $8,283 \pm 0,006$ mGy. As doses médias obtidas foram: laterais, $1,545 \pm 0,02$ mGy, na frente $1,956 \pm 0,018$ mGy, valores justificáveis pelo Efeito Heel e a não utilização do cone colimador para os disparos, na parte trazeira, $0,119 \pm 0,04$ mGy e na posição do operador, valores de medidas de fundo ambiental. Por fim, pode-se concluir também que o sistema apresenta valores de estabilidade e repetibilidade que atendem as exigências nacionais (CASMIE/IRD) para serem aplicados para monitoração de área de feixe de radiodiagnóstico.

Agradecimentos

Os autores agradecem à CNEN, CNPq e FAPESP Projeto no. 2010/16437-0 pelo apoio financeiro; à SAPRA Landauer pelas amostras OSL e suporte técnico científico; e ao LCI /IPEN pelas irradiações.

Referências

- Akselrod, M.S. et al. (2007) – Optically stimulated luminescence and its use in medical dosimetry. *Radiation Measurements*. v. 41, pp. 78-99.
- CASMIE/IRD (1995) – Desempenho de sistemas de monitoração individual – Critérios e Condições. Instituto de radioproteção e dosimetria. Comissão Nacional de Energia Nuclear. 01/10/95 IRD-RT N°002.01/95. 38 p.
- Corrêa, E.L. et al. (2013) – Intensity variation study of the radiation field in a mammographic system using thermoluminescent dosimeters TLD-900 (CaSO₄:Dy). *Radiat. Phys. Chem.* 95. pp. 116-118.
- McKeever S.W.S. (2011) – Optically stimulated luminescence: A brief overview. *Radiation Measurements*. v. 46, pp. 1336-1342.
- Perks, C. A., Le Roy, G. and Prugnaud, B. (2007) – Introduction of the InLight monitoring service. *Radiat. Prot. Dosimetry* 125(1-4), pp. 220-223.