

## Caracterização de dosímetros de $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$ para dosimetria de fótons utilizando a técnica OSL

Villani, D. <sup>1</sup>, Almeida, S.B. <sup>1</sup>, Campos, L.L. <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Gerência de Metrologia das Radiações. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN/CNEN;

E-mail: dvillani@ipen.br

**Resumo:** A dosimetria opticamente estimulada (OSL) tem ganhado destaque em aplicações clínicas e acadêmicas no Brasil. Nesse trabalho, são apresentados resultados da caracterização OSL dos dosímetros de  $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$  (TLD-500) fabricados pela Rexion™ Components and TLD Systems em uma leitora RISØ, modelo TL/OSL-DA-20 para dosimetria de feixes de fótons de energias altas. Todos os parâmetros da leitora, e suas variações foram avaliados.

**Palavras-chave:** Dosimetria de fótons, OSL,  $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$ .

**Abstract:** The optically stimulated dosimetry (OSL) has gained prominence in clinical and academic applications in Brazil. In this paper, we present results of the characterization OSL dosimeters  $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$  (TLD-500) manufactured by Rexion™ Components and TLD Systems in a RISØ reader, model TL/OSL-DA-20 for dosimetry of high-energy photon beams. All reader parameters, and its variations were evaluated.

**Keywords:** Foton dosimetry, OSL,  $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$ .

### 1. INTRODUÇÃO

A Luminescência Opticamente Estimulada (*Optically Stimulated Luminescence – OSL*) é um dos muitos fenômenos conhecidos na matéria que podem ser induzidos por radiações ionizantes e se tornou uma ferramenta prática e bem sucedida na dosimetria de radiações. Trata-se da emissão de sinal luminescente de um determinado cristal previamente irradiado quando exposto à luz. Embora pouco disseminado, foi sugerido pela primeira vez como uma ferramenta de dosimetria individual por volta da década de 1950 por Antonov-Romanovskii et al (AKSELROD *et al.*, 2007).

Apesar da alta sensibilidade, o principal obstáculo encontrado naquela época foi a alta perda de sinal (*fading*) a temperaturas ambientes nos materiais de sulfeto utilizados, MgS, CaS e SrS dopados com os íons de terras raras Sm e Eu. Esse fato fez com que o foco das pesquisas se orientasse para as técnicas de dosimetria termoluminescente TLD (McKEEVER, 2001; BØTTER-JENSEN; McKEEVER; WINTLE, 2003).

A OSL tornou-se popular na década de 1980 com seu uso em arqueologia e datação geológica pela técnica de dosimetria retrospectiva. Existem também aplicações da teoria OSL na área de diagnóstico por imagem: a leitura dos *Imaging Plates* (IPs) da radiologia computadorizada se dá

por varredura de feixes de laser, com posterior emissão de luz pelas placas de fósforo utilizadas (AKSELROD *et al.*, 2007).

Alguns cristais, tais como o óxido de alumínio dopado com carbono ( $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$ ) que, devido à sua fotosensibilidade não havia tido sucesso como detector termoluminescente, passou a ter ampla utilização como um detector OSL (BØTTER-JENSEN; McKEEVER; WINTLE, 2003).

Para a realização da avaliação dos dosímetros por meio dessa técnica, leitoras específicas são utilizadas. Atualmente no mercado, o sistema comercial OSL mais amplamente conhecido é o *InLight System*<sup>TM</sup> (Landauer, Inc., Glenwood, IL). Esse sistema conta com arranjo completo de detectores OSL e sistema de leitura específicos. A empresa REXON<sup>TM</sup> Components and TLD Systems, menos conhecida, também fabrica dosímetros de  $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$  e os comercializa como TLD-500. Esses dosímetros, entretanto, podem ser analisados em outros tipos de leitora, seja pela técnica TL, quanto OSL.

Este trabalho tem como objetivo a caracterização de uma leitora da marca RISØ, modelo TL/OSL-DA-20 para dosimetria de feixes de fótons pela técnica OSL, utilizando os dosímetros de  $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$  TLD-500 da marca REXON. Diferentes parâmetros e ajustes da leitora foram avaliados.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Seleção dos dosímetros e testes de desempenho

Aproximadamente 45 dosímetros de  $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$  TLD-500 da REXON<sup>TM</sup> foram selecionados de acordo com sua repetibilidade e sensibilidade dentro de  $\pm 5\%$ . As pastilhas foram posicionadas entre placas de PMMA de  $90 \times 50 \times 3 \text{ mm}^3$  e foram irradiadas com 10 mGy utilizando uma fonte padrão de geometria  $4\pi$  de  $^{137}\text{Cs}$  (38,11 GBq em 17 de Abril de 2014) do Laboratório de Dosimetria Termoluminescente LDT/IPEN livre no ar e em condições de

equilíbrio eletrônico, lidas e tratadas; repetindo o processo por três vezes. Com os resultados obtidos e analisados, as pastilhas foram selecionadas com valores de sensibilidade e repetibilidade melhores que  $\pm 5\%$  em relação à média. Para os testes seguintes, as pastilhas foram separadas em grupos de 5 dosímetros.

### 2.2. Caracterização do sistema dosimétrico

Para caracterização dosimétrica, uma curva de resposta em função da dose foi obtida utilizando um irradiador de  $^{60}\text{Co}$  do Laboratório de Calibração de Instrumentos LCI/IPEN (0,339 TBq em Setembro de 1999) no intervalo de doses de 30 mGy a 10 Gy, livre no ar e em condições de equilíbrio eletrônico.

### 2.3. Sistema de leitura

As leituras OSL dos TLD-500 foram realizadas na leitora RISØ modelo TL/OSL-DA-20 equipada com tubo fotomultiplicador (PMT) bialkali EMI 9235QB. Foi utilizado o modo de intensidade de iluminação constante (CW) por LED azul NICHIA tipo NSPB-500AS, com pico de emissão  $\sim 470 \text{ nm}$  e filtro Hoya U-340, 7.5 mm de espessura, 45 mm de diâmetro (Guide to RISØ, 2010). Os detalhes das especificações de emissão dos LEDs e transmissão do filtro estão demonstrados na figura 1.

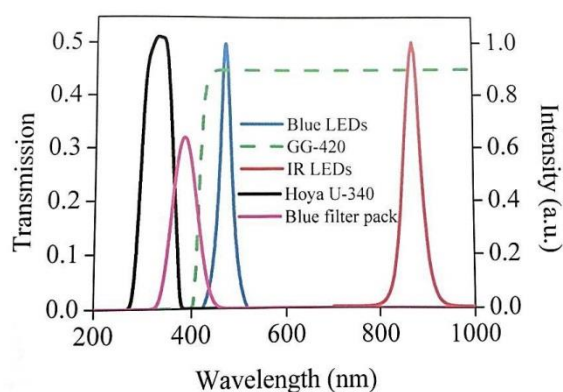


Figura 1. Especificações de emissão dos LEDs azuis e a faixa de transmissão do filtro Hoya U-340 (Guide to RISØ, 2010).

Para caracterização das melhores condições de leitura, tais parâmetros tais como tempo de estimulação, potência do arranjo de LEDs e tamanho da abertura de colimação foram variados. As especificações dos colimadores utilizados estão descritas na figura 2.



Figura 2. Colimadores para leitura OSL dos dosímetros  $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$  TLD-500. Eles apresentam 45 mm de diâmetro e suas aberturas centrais são de aproximadamente 10 mm, 5 mm, 2 mm e 1 mm respectivamente.

#### 2.4. Sistema de tratamento óptico

O tratamento óptico para reutilização das amostras foi determinado usando uma lâmpada Ourolux® de 1,3 watts de potência, composta por 30 LEDs azuis.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1. Seleção dos dosímetros e testes de desempenho

As amostras foram selecionadas com sensibilidades, na variação de  $5,38(\pm 0,18) \times 10^6$  contagens para dose absorvida de 10 mGy. Os valores de repetibilidade foram melhores que  $\pm 4\%$  para todas as pastilhas selecionadas. A incerteza ponderada da média do lote selecionado foi de  $\pm 0,2\%$ .

#### 3.2. Caracterização dos colimadores da leitora

Devido à alta sensibilidade OSL conhecida do  $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$ , é necessária a utilização de colimadores de sinal, a fim de proteger o tubo fotomultiplicador de atingir a saturação e possibilitar um intervalo de dosimetria mais amplo. As curvas de decaimento OSL obtidas para os quatro colimadores estudados estão expressas na figura 3.

Na tabela 1 estão apresentados os fatores de correção obtidos para os mesmos colimadores. Os fatores foram calculados de acordo com (1)

$$f_c = \frac{\bar{R}_0}{\bar{R}_{col}} \quad (1)$$

onde  $\bar{R}_0$  é a resposta média dos dosímetros sem colimador, e  $\bar{R}_{col}$  é a resposta média dos dosímetros com colimador. As irradiações foram realizadas para uma dose de 10 mGy e os resultados demonstrados são a média de três espectros.

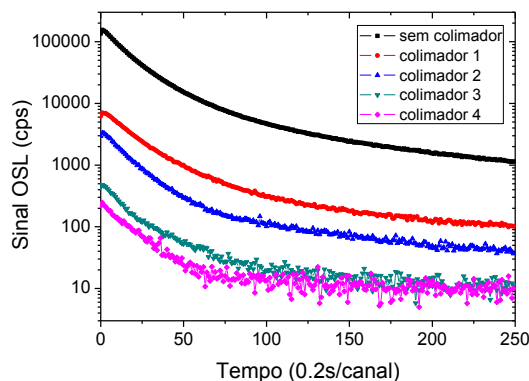


Figura 3. Curvas de decaimento OSL obtidas para obtenção dos fatores de correção de cada um dos colimadores utilizados.

**Tabela 1.** Fatores de correção obtidos para cada um dos colimadores de sinal.

Colimador	Leitura (contagens)	Fatores ( $f_c$ )
Sem colimador	$3,66 \times 10^6$	
Colimador 1	$2,08 \times 10^5$	17,60
Colimador 2	$8,02 \times 10^4$	45,62
Colimador 3	$1,27 \times 10^4$	287,19
Colimador 4	$8,24 \times 10^3$	444,11

Com a utilização do colimador 1, pode-se observar a diminuição de uma ordem de grandeza na curva de decaimento OSL quando comparado com a curva sem colimação. Para os colimadores

3 e 4, o resultado foi a diminuição de três ordens de grandeza.

### 3.3. Caracterização da potência do arranjo de LEDs azuis

Um parâmetro que pode ser ajustado na leitora é a potência do estímulo óptico. Nas figuras 4 e 5 estão demonstrados os resultados obtidos para a variação de 90 a 1 % da potência do arranjo de LEDs azuis. As irradiações foram realizadas para uma dose de 10 mGy, sem os colimadores e os resultados demonstrados são a média de três espectros.

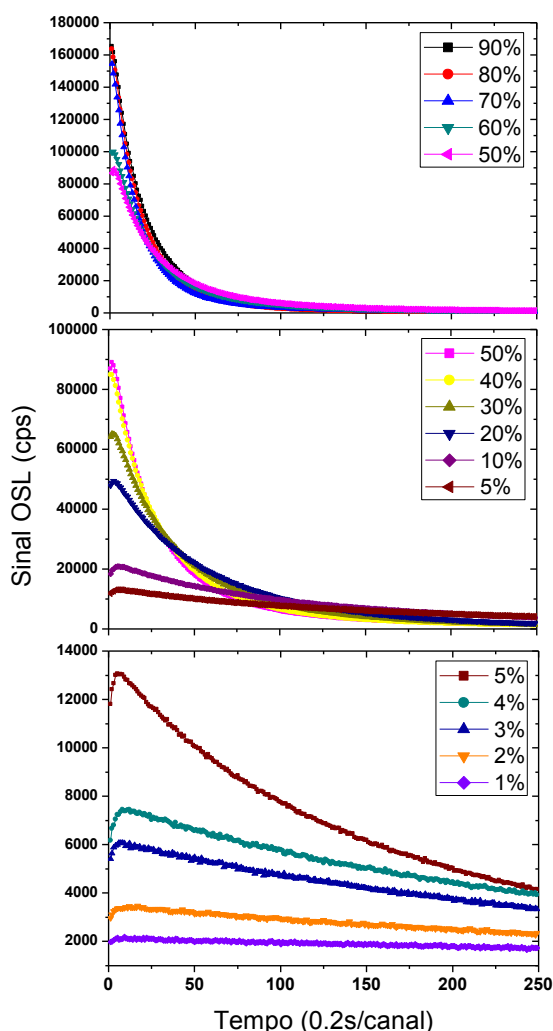


Figura 4. Curvas de decaimento OSL obtidas para pela variação da potência do arranjo de LEDs azuis.

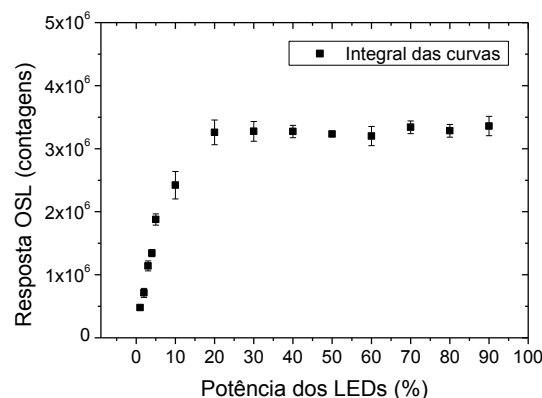


Figura 5. Comportamento das integrais das curvas de decaimento OSL variando a potência do arranjo de LEDs azuis.

Por meio da análise da figura 5 fica evidenciado que, entre 90 e 20 %, independente da potência utilizada, os valores das integrais das curvas de decaimento OSL permanecem na mesma variação estatística e, verifica-se, portanto, o desarmadilhamento do mesmo número de cargas. O perfil decrescente de valor de contagem integrada de 15 a 1 % mostra que, nessa faixa, quanto menor a potência do estímulo, menor a recombinação das cargas nos dosímetros.

### 3.4. Caracterização do tempo de estímulo óptico

Outro parâmetro que pode ser ajustado na leitora é o tempo do estímulo óptico. Nas figuras 6 e 7 estão demonstrados os resultados obtidos para a variação de 50 a 5 segundos do tempo de estímulo óptico. As irradiações foram realizadas para uma dose de 10 mGy, sem os colimadores e os resultados demonstrados são a média de três espectros.

Analisando a figura 7 pode-se evidenciar o comportamento polinomial dos valores das integrais e, que, quanto menor o tempo de estímulo, menor o desarmadilhamento das cargas no dosímetro. As irradiações foram realizadas para uma dose de 10 mGy, sem os colimadores e os resultados demonstrados são a média da integral de três espectros.

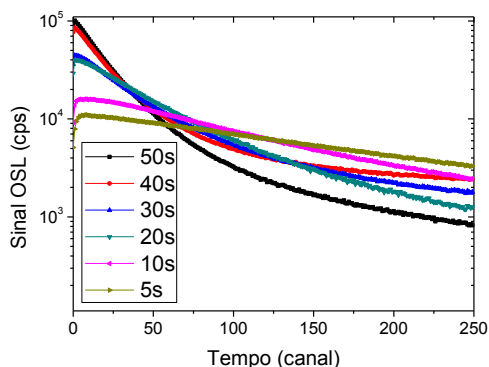


Figura 6. Curvas de decaimento OSL obtidas para pela variação do tempo de estímulo óptico.

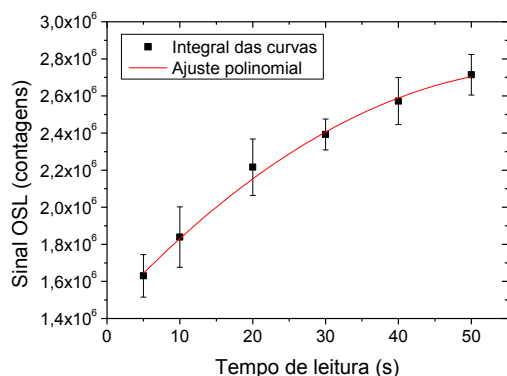


Figura 7. Comportamento das integrais das curvas de decaimento OSL pela variação do tempo de estímulo óptico.

### 3.5. Caracterização dosimétrica para fótons gama de $^{60}\text{Co}$

Analisando os resultados anteriormente descritos, foi utilizado 1 % de potência do arranjo de LEDs azuis, e 5 segundos de estímulo de leitura para caracterização dosimétrica do sistema no intervalo de doses de 30 mGy a 10 Gy.

A curva de resposta em função da dose para essas condições está demonstrada na figura 8.

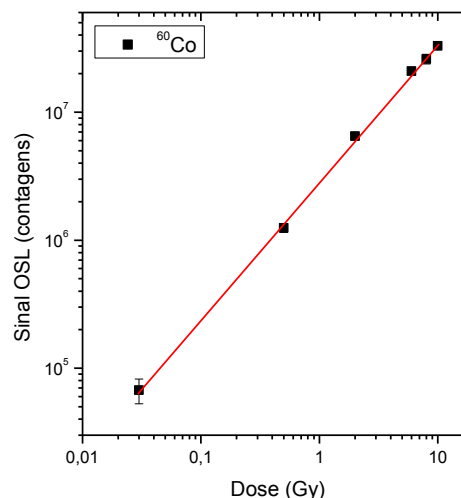


Figura 8. Curvas de decaimento OSL obtidas para pela variação do tempo de estímulo óptico.

Em seguida, por meio do ajuste linear na curva de resposta em função da dose, cuja inclinação é igual a 1, o fator de calibração,  $f_{cal}$ , foi obtido e, portanto, o limite inferior de detecção,  $LID$ , foi calculado por (2)

$$LID = (R_0 + 3 \cdot \sigma_0) \cdot f_{cal} \quad (2)$$

onde  $R_0$  é o valor médio de leituras OSL de dosímetros não irradiados, e  $\sigma_0$  o valor do desvio padrão da média correspondente. O resultado do  $LID$  obtido foi de  $0,053 \pm 0,003$  mGy, esperado pela literatura (BØTTER-JENSEN; McKEEVER, WINTLE, 2003).

### 3.6. Caracterização do tempo de tratamento óptico de reutilização dos dosímetros

O tratamento óptico para reutilização das amostras foi determinado variando de 1 a 390 minutos o tempo de exposição dos dosímetros à uma lâmpada de 1,3 watts de potência, composta por 30 LEDs azuis Ourlux®. As doses avaliadas foram as mesmas utilizadas para obtenção da curva dose-resposta, e as leituras foram realizadas utilizando os mesmos parâmetros (1 % de potência do arranjo de LEDs, e 5 segundos de leitura). Os resultados estão demonstrados na figura 9.



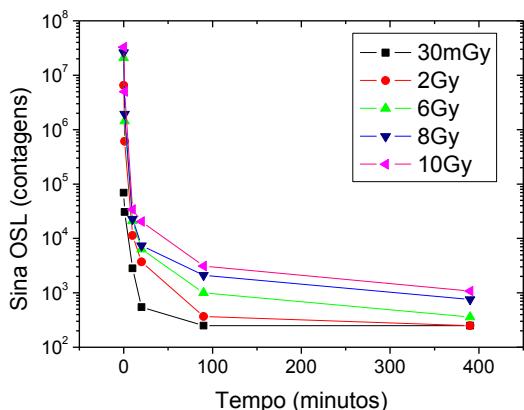


Figura 9. Comportamento das integrais das curvas OSL de acordo com o tempo de tratamento óptico.

Pode ser verificado que, para a dose de 30 mGy, 1 h e 30 minutos foram suficientes para limpar por completo as amostras irradiadas. Para doses nível terapia (2 Gy), são necessárias 5 h.

#### 4. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou os resultados da caracterização OSL dos dosímetros de  $Al_2O_3:C$  (TLD-500) fabricados pela Rexion™ Components and TLD Systems em uma leitora RISØ, modelo TL/OSL-DA-20 para dosimetria de feixes de fótons de energias altas. Todos os parâmetros da leitora, e suas variações foram avaliados. Pode ser concluído que, para garantir o aproveitamento do amplo intervalo de linearidade da resposta em função da dose que o material possui, 1 % de

potência do arranjo de LEDs de estimulação são suficientes para a realização das leituras sem que haja saturação da fotomultiplicadora.

Como tempo de estimulação, 5 segundos foram considerados suficientes para obtenção de sinal, mantendo uma boa razão sinal-ruído e não prejudicando o limite inferior de detecção. Estudos futuros serão realizados para adicionar repetibilidade em releituras das amostras irradiadas.

#### 5. REFERÊNCIAS

- AKSELROD, M. S. *et al.* Optically stimulated luminescence and its use in medical dosimetry. *Radiation Measurements*. v. 41, p. 78-99, 2007.
- BØTTER-JENSEN, L.; McKEEVER, S. W. S.; WINTLE, A. G. *Optically Stimulated Luminescence Dosimetry*. Elsevier, 2003.
- *Guide to "The RISØ TL/OSL Reader"*. RISØ DTU. Denmark. Agosto 2010.
- McKEEVER S. W. S. Optically stimulated luminescence dosimetry. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*. v. 184, p. 29-54, 2001.
- Rexion: Components & TLD Systems Inc. Disponível em: <<http://www.rexon.com/>>. Acessado em: 03 Junho 2016

#### Agradecimentos

Os autores agradecem à CNEN, CNPq e FAPESP Projeto no. 2010/16437-0 pelo apoio financeiro e ao LCI/IPEN pelas irradiações.