



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

D. Villani<sup>a</sup>; S. B. Almeida<sup>a</sup>; L. L. Campos<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Centro de Metrologia das Radiações, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, CEP 05508-000, São Paulo-SP, Brasil

*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<sup>TM</sup> 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<sup>TM</sup> 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: Photon 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 que ocorrem na matéria que podem ser induzidos por radiações ionizantes e se tornou uma ferramenta prática e bem-sucedida na dosimetria das radiações. Trata-se da emissão de sinal luminescente de um determinado cristal previamente irradiado quando exposto à luz. Embora até recentemente pouco disseminada, foi sugerida pela primeira vez como uma ferramenta de dosimetria individual por volta da década de 1950 por Antonov-Romanovskii et al. (AKSELROD et al., 2007; YUKIHARA, McKEEVER, 2011).

Apesar da alta sensibilidade, o principal obstáculo encontrado naquela época foi a elevada 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; YUKIHARA, McKEEVER, 2011).

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 (McKEEVER 2001; 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 (REXON, 2016). 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 Rexion. 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 Rexion™ 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

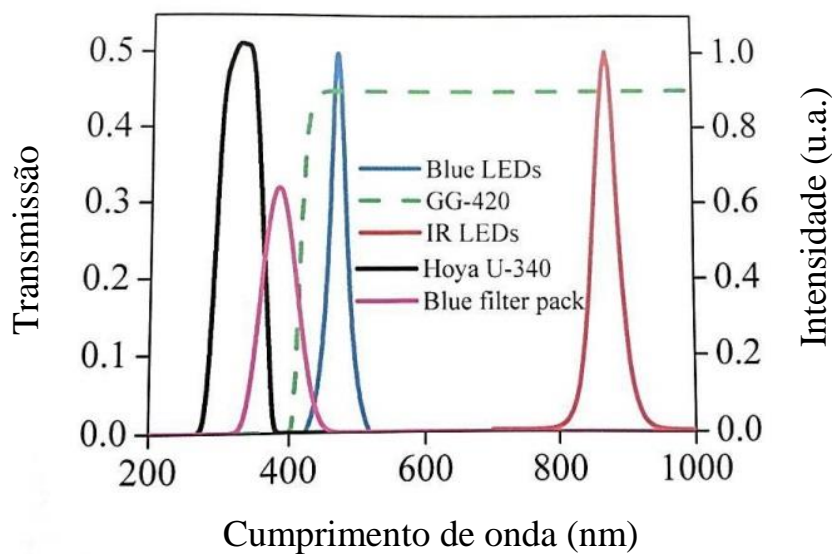
Para caracterização dosimétrica, uma curva de resposta em função da dose foi obtida utilizando um irradiador de  $^{60}\text{Co}$  do Laboratório de Calibração de Instrumentos LCI/IPEN (0,339 TBq em Setembro de 1999) no intervalo de doses de 30 mGy a 10 Gy, livre no ar e em condições de equilíbrio eletrônico.

### 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 ~470 nm e filtro Hoya U-340, 7.5 mm de espessura, 45 mm de diâmetro (Guide to RISØ). 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

(Fonte: RISØ TL/OSL User Manual)



Para a caracterização das melhores condições de leitura, 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  $Al_2O_3:C$  TLD-500. Eles apresentam 45 mm de diâmetro e as aberturas centrais dos colimadores identificados como 1, 2, 3 e 4 são de aproximadamente 10, 5, 2 e 1 mm respectivamente.



#### 2.4. Sistema de tratamento óptico

O tratamento óptico para reutilização das amostras foi realizado com o emprego de 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  $\pm 4,0 \%$  ( $2\sigma$ , com intervalo de confiança de 95 %) 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

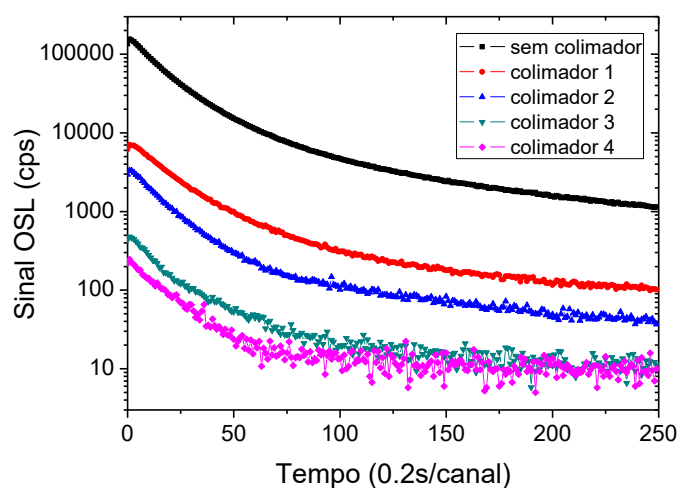
Devido à alta sensibilidade OSL conhecida do  $Al_2O_3:C$ , é necessária a utilização de colimadores de sinal, a fim de proteger o tubo fotomultiplicador de atingir a saturação e possibilitar um intervalo de dosimetria mais amplo. As curvas de decaimento OSL obtidas para os quatro colimadores estudados 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)

$$f_{col} = R_0/R_{col} \quad (1)$$

onde  $R_0$  a resposta média dos dosímetros sem colimador, e  $R_{col}$  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 determinadas para obtenção dos fatores de correção dos colimadores utilizados



**Tabela 1:** Fatores de correção obtidos para os colimadores de sinal.

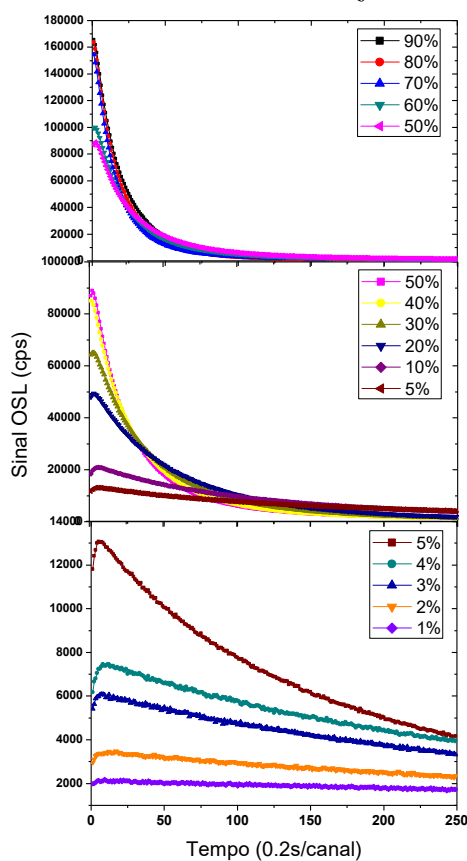
Colimador	Leitura (contagens)	Fatores ( $f_{col}$ )
Sem colimador	$3,66 \times 10^6$	
Colimador 1	$2,08 \times 10^5$	17,60
Colimador 2	$8,02 \times 10^4$	45,62
Colimador 3	$1,27 \times 10^4$	287,19
Colimador 4	$8,24 \times 10^3$	444,11

Com a utilização do colimador 1, é possível observar a diminuição de uma ordem de grandeza no sinal de decaimento OSL quando comparado com o sinal obtido sem colimação. Para os colimadores 3 e 4, a diminuição do sinal foi de três ordens de grandeza.

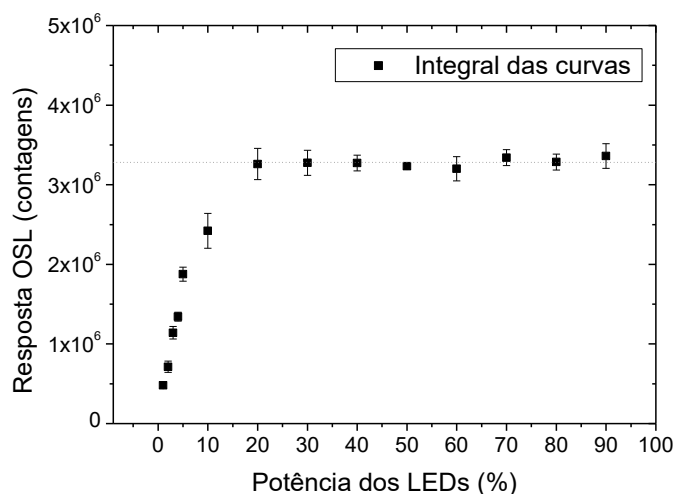
### 3.3. Caracterização da potência do arranjo de LEDs azuis

Um parâmetro que pode ser ajustado na leitora é a potência do estímulo óptico. Nas Figuras 4 e 5 são apresentados 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. As curvas de decaimento foram obtidas sem os colimadores e os resultados apresentados 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



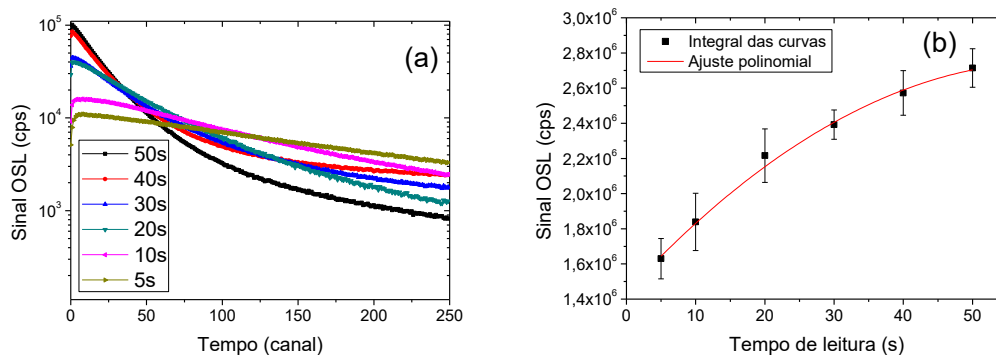
Por meio da análise da Figura 5 fica evidenciado que, entre 90 e 20 %, independentemente da potência utilizada, os valores das integrais das curvas de decaimento OSL permanecem na mesma variação estatística e, verifica-se, portanto, o desarmadilhamento do mesmo número de cargas. O perfil decrescente 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. Na Figuras 6 a e b 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. Não foram utilizados colimadores e os resultados apresentados são a média de três espectros.



**Figura 6:** (a) Curvas de decaimento OSL obtidas para pela variação do tempo de estímulo óptico  
(b) Comportamento das integrais das curvas de decaimento OSL pela variação do tempo de estímulo óptico

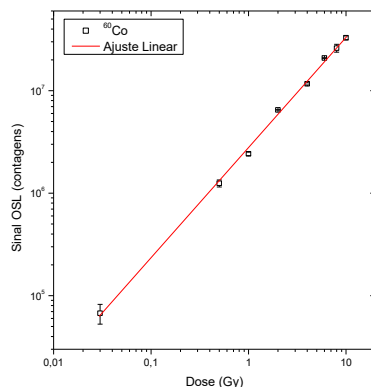


Analisando a Figura 6 b, evidencia-se o comportamento polinomial dos valores das integrais e, que, quanto menor o tempo de estímulo, menor o desarmadilhamento das cargas no dosímetro.

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

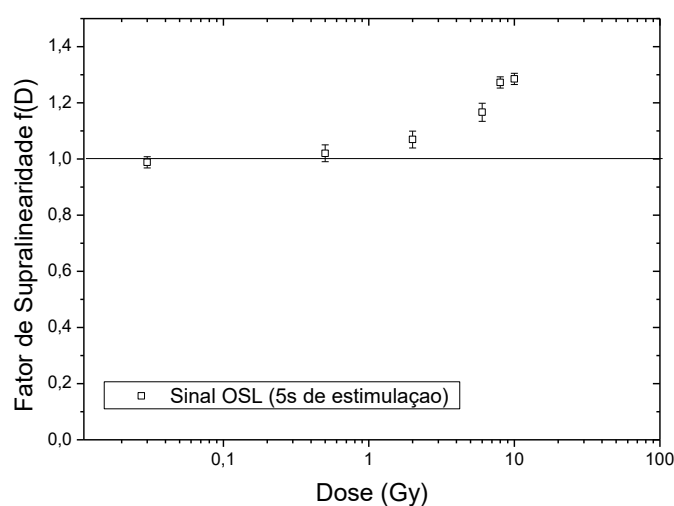
Considerando os resultados anteriormente descritos, foi utilizado 1 % de potência do arranjo de LEDs azuis e 5 segundos de estímulo de leitura para caracterização dosimétrica do sistema no intervalo de doses de 30 mGy a 10 Gy. A curva de resposta em função da dose para essas condições é apresentada na Figura 7.

**Figura 6:** Curva de resposta OSL em função da dose obtida para  $^{60}\text{Co}$ .



Como reportado por Yukihiro e McKeever (2011), para doses elevadas a resposta do  $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$  se desvia da linearidade, tornando-se supralinear e, em seguida, sublinear. O grau de supralinearidade é observado como dependente da escolha do sinal (intensidade OSL inicial ou área total OSL) e da banda de emissão considerada (apenas emissão dos centros-F, apenas a emissão de UV ou uma combinação de ambas as bandas). Sendo assim, o fator de supralinearidade  $f(D)$  da curva obtida foi determinado e é apresentado na Figura 7.

**Figura 7:** Supralinearidade  $f(D)$  da resposta OSL do  $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$  em função da dose para a radiação gama do  $^{60}\text{Co}$ .



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

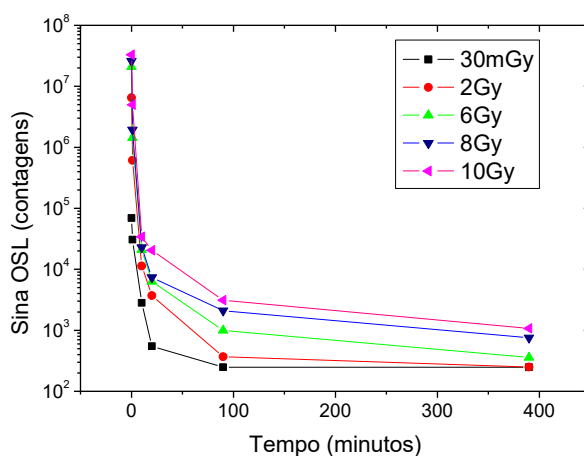
$$LID = (R_0 + 3 \cdot \sigma_0) \cdot f_{cal} \quad (2)$$

onde  $f_{cal}$  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, que concorda com a literatura (BØTTER-JENSEN, McKEEVER, WINTLE, 2003; YUKIHARA, McKEEVER, 2011).

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

O tratamento óptico para a reutilização das amostras foi determinado variando de 1 a 390 minutos o tempo de exposição dos dosímetros a uma lâmpada de 1,3 watts de potência, composta por 30 LEDs azuis Ourolux®. Os detectores foram expostos aos mesmos valores de dose utilizados 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 são apresentados na Figura 8.

**Figura 8:** 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 típicas de radioterapia (2 Gy), são necessárias 5 h.

## 4. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou os 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.

Conclui-se que, para garantir o aproveitamento do amplo intervalo de linearidade da resposta em função da dose que o material possui até 1 Gy, 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. Entretanto, para doses mais altas, uma caracterização mais minuciosa é necessária levando em consideração os fatores de supralinearidade que se tornam mais evidentes quanto menor for o tempo de estímulo de leitura do dosímetro (YUKIHARA, McKEEVER, 2011).

Segundo Unisedo et al. (2010), a utilização do comprimento de onda do azul para ‘bleaching’ e estímulo de leitura das amostras de  $Al_2O_3:C$  pode resultar em alto sinal residual a depender do tempo de exposição de limpeza. Sendo assim, um controle minucioso da efetividade do ‘bleaching’ deve ser realizado, analisando o sinal de fundo residual de cada amostra anteriormente ao seu próximo uso.

## 5. AGRADECIMENTO

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

## REFERÊNCIAS

- AKSELROD, M. S. et al. Optically stimulated luminescence and its use in medical dosimetry. **Rad Meas.** v. 41, p. 78-99, 2007. doi:10.1016/j.radmeas.2007.01.004.
- BØTTER-JENSEN, L.; McKEEVER, S. W. S.; WINTLE, A. G. **Optically Stimulated Luminescence Dosimetry**. Elsevier, 2003.

McKEEVER S. W. S. Optically stimulated luminescence dosimetry. **Nucl Inst and Methods in Phys Research B**. v. 184, p. 29-54, 2001. doi.org/10.1016/S0168-583X(01)00588-2.

Rexon. **Rexon: Components & TLD Systems Inc.** Disponível em: <<http://www.rexon.com/>>. Acessado em: 03 Junho 2016.

UMISEDÓ, N. K. et al. Comparison between blue and green stimulated luminescence of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:C. **Rad Meas**. v. 45, n. 2, p. 151-156, 2010. doi.org/10.1016/j.radmeas.2010.02.001.

RISØ TL/OSL User Manual. **Guide to “The RISØ TL/OSL Reader”**. RISØ DTU. Denmark. Agosto 2010.

YUKIHARA, E. G.; McKEEVER, S. W. S. **Optically stimulated luminescence: fundamentals and applications**. John Wiley & Sons, 2011.