

# Comparação das respostas de termoluminescência e de luminescência opticamente estimulada de amostras de BeO em feixes padrões de radiodiagnóstico convencional

## Comparison of luminescence and optically stimulated luminescence response of BeO samples in standard conventional diagnostic radiology beams

Daniela P. Groppo e Linda V. E. Caldas

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Comissão Nacional de Energia Nuclear, IPEN-CNEN/SP – São Paulo (SP), Brasil.

### Resumo

Neste trabalho foi estudada a possibilidade de aplicação de amostras de BeO na dosimetria de feixes de radiação X, comparando-se as respostas de termoluminescência (TL) e de luminescência opticamente estimulada (OSL), para se determinar a melhor técnica para dosimetria de feixes de radiodiagnóstico convencional. Os testes realizados são de extrema importância para caracterização de materiais a serem empregados como dosímetros. O óxido de berílio apresentou resultados satisfatórios para ambas as técnicas, porém os obtidos com as medições em OSL apresentaram menor dependência energética, demonstrando-se, portanto, a técnica mais adequada para esta finalidade.

**Palavras-chave:** radiologia, luminescência, dosimetria por luminescência estimulada opticamente, dosagem de radiação.

### Abstract

In this work, the possibility of application of BeO samples in the dosimetry of X radiation beams was studied, comparing the luminescence (TL) and optically stimulated luminescence (OSL) responses, to determine the most suitable technique for dosimetry of conventional diagnostic radiology beams. The tests are extremely important for the characterization of materials to be employed as dosimeters. Beryllium oxide samples showed satisfactory results for both techniques, but the OSL measurements presented lower energy dependence, demonstrating, therefore, that this technique is the most appropriate.

**Keywords:** radiology, luminescence, optically stimulated luminescence dosimetry, radiation dosage.

### Introdução

O emprego de materiais com características luminescentes se faz-se cada vez mais presente no cenário da dosimetria individual e ambiental, da dosimetria retrospectiva utilizada para datação e da dosimetria de feixes clínicos, tanto para fins terapêuticos como para fins diagnósticos. Estes materiais são, em geral, cristais iônicos que devido aos seus defeitos e impurezas, permitem o surgimento de armadilhas que correspondem a estados de energia metaestáveis, na faixa de energia proibida aos elétrons<sup>1</sup>. Após algum estímulo, estes elétrons são desarmadilhados e retornam ao seu estado fundamental, liberando energia na forma de luz. A luz emitida, quando mensurada, pode permitir a determinação da dose absorvida, quando as características dosimétricas

do material em questão são conhecidas. A utilização de um material que apresente características próximas aos do tecido biológico, permite estimar a dose absorvida pelo tecido; neste contexto, o óxido de berílio (BeO) apresenta vantagens em relação aos outros materiais também utilizados, com número atômico efetivo baixo (7,13), muito próximo ao do tecido biológico (7,42)<sup>2</sup>.

Hoje, no Brasil, a preocupação com os níveis de doses que os pacientes submetidos a exames de radiodiagnóstico recebem é cada vez maior. Portanto, o objetivo deste trabalho foi estudar a resposta de termoluminescência (TL) e de luminescência opticamente estimulada (OSL) de amostras de BeO em feixes de radiodiagnóstico convencional e comparar os resultados das duas técnicas para dosimetria da radiação X no intervalo de energia de radiodiagnóstico convencional.

**Autor correspondente:** Daniela Piai Groppo – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Comissão Nacional de Energia Nuclear, IPEN-CNEN/SP – Gerência de Metrologia das Radiações – Avenida Professor Lineu Prestes, 2.242, Cidade Universitária – CEP: 05508-000 – São Paulo (SP), Brasil – E-mail: daniela.piai.groppo@gmail.com

## Material e Métodos

Foram estudadas amostras de óxido de berílio com 4,0 mm de diâmetro, 0,8 mm de espessura e massa de 27,9 mg. Para a irradiação das amostras, foi utilizado o sistema de radiação X Pantak/Seifert, modelo ISOVOLT HS 160, com feixes de energias médias de 48 keV a 118 keV, com filtração inerente de 0,138 mmAl e janela de berílio de 0,8 mm, do Laboratório de Calibração de Instrumentos (LCI). Este sistema apresenta feixes padronizados e com qualidades de radiação de diagnóstico convencional, além de outras qualidades. No arranjo experimental do sistema de radiação X, há uma roda de filtros PTW, modelo T90010/90011, com 24 posições disponíveis, com filtrações necessárias para as diversas qualidades de radiação. Foram utilizados os feixes de referência recomendados pela norma IEC 61267<sup>3</sup>. Para todas as irradiações, as amostras foram posicionadas no centro do feixe de radiação a uma distância de 100 cm do foco do tubo de raios X. As características das qualidades de radiodiagnóstico convencional estudadas são apresentadas na Tabela 1. Para a maioria dos testes foi utilizada a qualidade RQR5, pois se trata da qualidade padrão estabelecida no LCI. Todas as qualidades foram utilizadas no estudo da dependência energética.

A avaliação das amostras foi realizada na leitora Risø TL/OSL-DA-20 (Risø National Laboratory, Denmark). O equipamento conta com um carrossel com capacidade de 48 amostras; o sistema leitor permite realizar medições tanto de TL como de OSL. Os parâmetros utilizados para obtenção da curva TL foram: taxa de aquecimento linear de 10°C/s, temperatura final de 450°C e fluxo constante de nitrogênio gasoso de 1L/min. A curva de emissão foi integrada no intervalo de temperatura entre 100 e 300°C, onde o pico dosimétrico principal se fez presente.

Para medições com a técnica OSL, as amostras foram excitadas com LEDs na faixa de luz azul (470 nm e 80 mW/cm<sup>2</sup>), no modo OSL contínuo (CW-OSL). Para estimulações com LEDs azuis foi necessário o uso do filtro Hoya U-340 (Hoya Corporation) com transmissão entre 270 e 380 nm, diâmetro de 45 mm e 7,5 mm de espessura.

Para reutilização das amostras, no caso das medições TL, as amostras foram tratadas termicamente durante 15 min

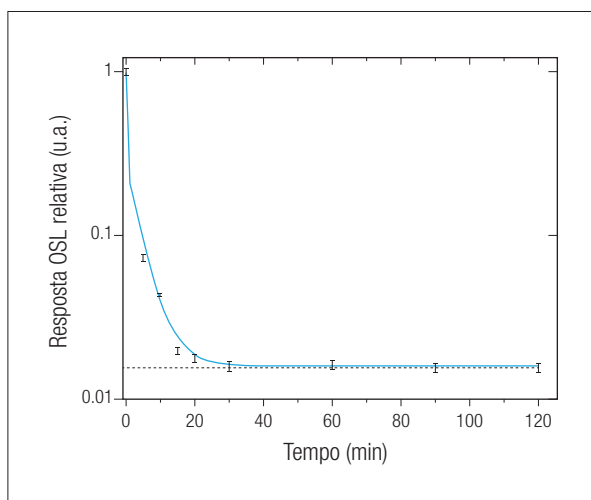
no forno tipo mufla, com aquecimento por micro-ondas, modelo MFLO1000, Provetco Analítica. Para o caso das medições OSL, foi realizado um estudo para se determinar o tratamento óptico adequado, sendo utilizados LEDs azuis (420–500 nm; 2,5 W; 55 lm a 65 lm) com diferentes intervalos de tempo de iluminação.

Foram realizados testes de repetibilidade das amostras, determinação das curvas de emissão TL e de decaimento OSL, limite inferior de detecção, curva de dose resposta e dependência energética.

## Resultados

### Tratamento óptico das amostras

Para se determinar o tratamento óptico para a reutilização das pastilhas após as medições com OSL, as amostras foram irradiadas com uma dose absorvida de 2 Gy de radiação X (RQR5). As amostras foram tratadas durante diferentes intervalos de tempo entre 5 min e 2 h. A resposta OSL foi normalizada para a leitura obtida sem tratamento óptico e os resultados obtidos estão apresentados na Figura 1.



**Figura 1.** Resposta de luminescência opticamente estimulada para amostras tratadas opticamente por 10 a 120 min.

**Tabela 1.** Características dos feixes padronizados de radiação X (radiodiagnóstico convencional), estabelecidos no equipamento Pantak/Seifert, de acordo com a norma IEC 61267<sup>3</sup>.

Qualidade da Radiação	Tensão do Tubo (kV)	Camada Semirredutora (mmAl)	Filtração Adicional (mmAl)	Taxa de Kerma no Ar (mGy.min <sup>-1</sup> )
RQR 3	50	1,78	2,4	22,20±0,02
RQR 5	70	2,58	2,8	38,76±0,02
RQR 8	100	3,97	3,2	68,47±0,02
RQR 10	150	6,57	4,2	119,46±0,06

Pela Figura 1, observa-se que, com tratamentos a partir de 30 min, a resposta OSL se manteve constante, ou seja, as armadilhas envolvidas no fenômeno OSL foram esvaziadas; então o tratamento com LEDs azuis durante 30 min foi adotado.

**Repetibilidade da resposta luminescente**

Para se determinar a repetibilidade (Tabela 2) da resposta luminescente para as técnicas TL e OSL, foram realizadas dez medições de cada amostra. Dos valores obtidos, foram subtraídos os valores das respostas de amostras não irradiadas.

As amostras foram irradiadas (RQR5) com uma dose de 1 Gy, avaliadas, e tratadas para uma nova medição. A repetibilidade de resposta, neste caso, é dada pelo coeficiente de variação percentual (CV%), que é o quociente entre o desvio padrão das respostas luminescentes e a média das medições de cada amostra. Além dos resultados de repetibilidade, para cada amostra determinou-se um fator de correção (FC), que é o quociente da média das 10 leituras das amostras em relação à resposta TL e OSL da amostra. É possível notar que as amostras apresentaram coeficientes de variação satisfatórios, sendo o CV<sub>máximo</sub> de 2,8% para a técnica TL e 2,7 % para a técnica OSL. Para os dois casos os valores obtidos foram inferiores a 5%.

**Tabela 2.** Repetibilidade de resposta das amostras de BeO para radiação X, radiodiagnóstico convencional, e seus respectivos fatores de correção.

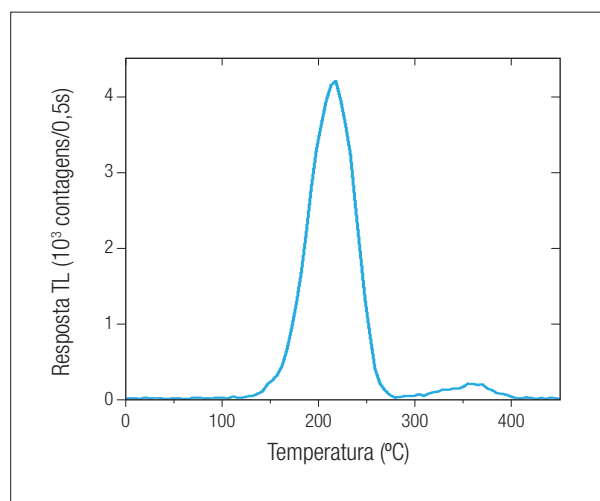
Técnica luminescente	Amostra	Radiação X (RQR5)	
		CV (%)	
TL	1	2,3	0,981
	2	1,6	0,945
	3	2,2	1,049
	4	2,8	0,960
	5	1,2	1,031
	6	1,2	0,955
	7	1,7	0,980
	8	2,3	1,123
OSL	1	2,7	0,868
	2	0,9	0,730
	3	1,2	1,084
	4	1,4	1,042
	5	0,3	1,542
	6	1,2	0,937
	7	2,6	0,948
	8	1,4	1,211

TL: termoluminescência; OSL: luminescência opticamente estimulada.

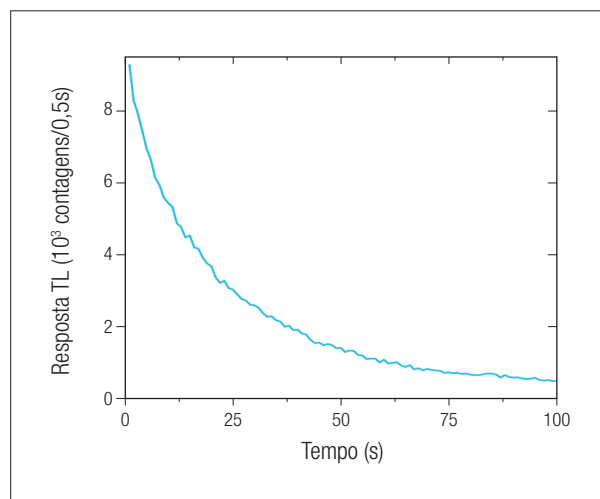
**Curva de emissão de termoluminescência e curva de decaimento de luminescência opticamente estimulada**

A curva de emissão TL representa a variação da resposta TL em função da temperatura de aquecimento ou do tempo de aquecimento, e a curva de decaimento OSL é representada pela intensidade da resposta OSL (no caso do sistema leitor RISØ TL/OSL, em contagens por segundo), em função do tempo de estimulação óptica da amostra.

As curvas de emissão TL e de decaimento OSL, para uma amostra de BeO irradiada com uma dose absorvida de 1 Gy de radiação X (RQR5), estão representadas nas Figuras 2 e 3, respectivamente. A curva de emissão TL do BeO apresentou pico dosimétrico na região de 220°C, e um segundo pico na região de 360°C.



**Figura 2.** Curva de emissão de termoluminescência de uma amostra de BeO exposta a uma dose absorvida de 1Gy de radiação X (RQR5).



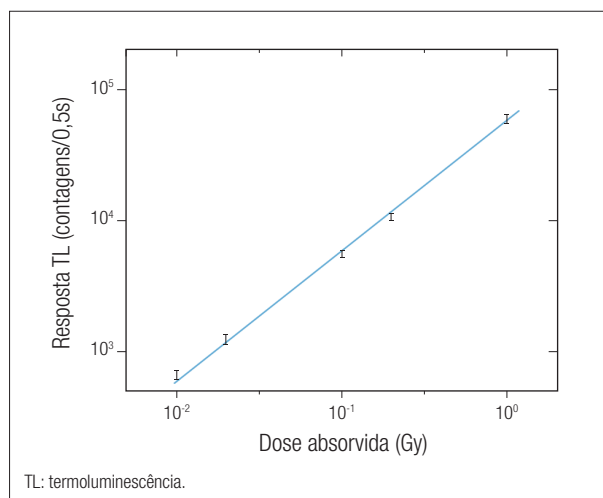
**Figura 3.** Curva de decaimento de luminescência opticamente estimulada de uma amostra de BeO exposta a uma dose absorvida de 1Gy de radiação X (RQR5).

### Curvas de dose-resposta

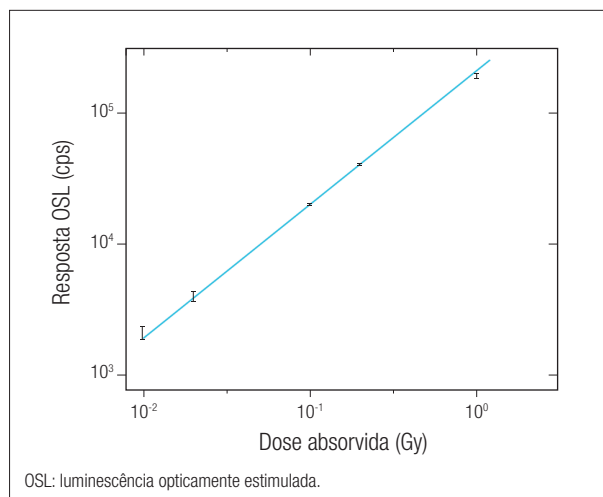
A curva de dose-resposta do detector é representada pela resposta em função da dose absorvida. As amostras foram irradiadas com doses absorvidas de 10 mGy até 1 Gy, para se verificar o comportamento da curva de dose-resposta. Foi realizado um ajuste linear para se verificar a faixa de linearidade da resposta. Os ajustes realizados apresentaram coeficientes de correlação linear superiores a 0,995. As curvas de dose-resposta TL e OSL estão apresentadas nas Figuras 4 e 5, respectivamente.

### Limite inferior de detecção

Por meio da medição da resposta de amostras não irradiadas foi possível determinar o valor do limite inferior de detecção (LID) das amostras de BeO, pelas técnicas de TL e OSL, que é representado como três vezes o desvio padrão destas leituras, dado em unidade de dose absorvida.



**Figura 4.** Curva de dose-resposta de termoluminescência para amostras de BeO, expostas à radiação X (RQR5).



**Figura 5.** Curva de dose-resposta de luminescência opticamente estimulada para amostras de BeO, expostas à radiação X (RQR5).

As amostras de BeO foram medidas 10 vezes para cada técnica luminescente, e a resposta obtida para o LID foi de 2 mGy para ambas as técnicas.

### Calibração e dependência energética

Quatro qualidades de radiação X padronizadas (RQR3, RQR5, RQR8 e RQR10), estabelecidas no sistema Pantak/Seifert, foram utilizadas neste estudo. As amostras de BeO foram expostas aos feixes de radiação X das qualidades de radiodiagnóstico convencional e posteriormente suas respostas TL e OSL foram obtidas. Para todas as qualidades, os coeficientes de calibração foram obtidos (Tabelas 3 e 4).

A dependência energética máxima para a técnica TL foi de 28%; entretanto, ao se desconsiderar a qualidade RQR3, para as outras três qualidades, as amostras apresentaram uma dependência energética de 12%. Por outro lado, a dependência energética do BeO para a técnica OSL foi de apenas 7%. Estudos realizados para feixes de radiação X mostraram uma dependência energética da resposta OSL do BeO de aproximadamente 12%<sup>4</sup>.

Embora o material ideal para dosimetria deva apresentar baixa dependência energética, o conhecimento das propriedades energéticas do material, assim como dos coeficientes de calibração, pode permitir sua aplicação em dosimetria deste tipo de radiação<sup>5</sup>.

### Discussão e Conclusões

Para ambas as técnicas, observa-se um comportamento linear em todo o intervalo de dose estudado. O LID também

**Tabela 3.** Coeficientes de calibração de termoluminescência de amostras de BeO irradiadas em feixes de qualidades de radiodiagnóstico convencional.

Qualidade da Radiação	Camada Semirredutora (mmAl)	Coefficiente de Calibração ( $\mu\text{Gy}/\text{cps}$ )
RQR3	1,78	10,80 $\pm$ 0,29
RQR5	2,58	15,04 $\pm$ 0,41
RQR8	3,97	14,37 $\pm$ 0,59
RQR10	6,57	13,25 $\pm$ 0,23

**Tabela 4.** Coeficientes de calibração de luminescência opticamente estimulada de amostras de BeO irradiadas em feixes de qualidades de radiodiagnóstico convencional.

Qualidade da Radiação	Camada Semirredutora (mmAl)	Coefficiente de Calibração ( $\mu\text{Gy}/\text{cps}$ )
RQR3	1,78	2,68 $\pm$ 0,09
RQR5	2,58	2,66 $\pm$ 0,06
RQR8	3,97	2,65 $\pm$ 0,07
RQR10	6,57	2,51 $\pm$ 0,07

foi o mesmo para as técnicas TL e OSL. Porém, as amostras apresentaram uma menor dependência energética para a técnica de OSL. Apesar de não ser possível realizar medições com doses absorvidas inferiores às estudadas no sistema Pantak/Seifert, pela determinação do LID é possível concluir que as amostras de BeO podem ser empregadas em dosimetria de feixe em radiodiagnóstico convencional, tendo em vista que estudos mostram que a dose de entrada na superfície pode alcançar até 16 mGy, considerando os parâmetros adotados na técnica do exame<sup>6</sup>.

## Agradecimentos

As autoras são gratas pelo apoio financeiro parcial da CAPES, FAPESP, CNPq e MCT (Projeto INCT de Metrologia das Radiações na Medicina), Brasil.

## Referências

1. IAEA – International Atomic Energy Agency. Radiation oncology physics: A handbook for teachers and students. Vienna; 2005.
2. McKeever SWS, Moscovitch M, Townsend PD. Thermoluminescence dosimetry materials: Properties and uses. Ashford: Nuclear Technology Publishing; 1995.
3. IEC- International Electrotechnical Commission. Medical diagnostic X-ray equipment – Radiation conditions for uses in determination of characteristics. 2<sup>nd</sup> ed. IEC 61267. Genève; 2005.
4. Jahn A, Sommer M, Ullrich W, Wickert M, Henniger J. The BeOmax system – Dosimetry using OSL of BeO for several applications. Radiation Measurements. 2013;56:324-327. doi: 10.1016/j.radmeas.2013.01.069.
5. Yuhikara EG, McKeever SWS. Optically Stimulated Luminescence: Fundamentals and applications. Chichester: John Wiley & Sons; 2011.
6. Osei EK, Darko J. A Survey of Organ Equivalent and Effective Doses from Diagnostic Radiology Procedures. ISRN Radiology. 2013;1-9.