

# Avaliação de Amostras Termoluminescentes de BeO em Feixes Padrões de Radioterapia

## Evaluation of Thermoluminescent BeO Samples in Standard Radiotherapy Beams

Daniela P. Groppo, Jonas O. Silva e Linda V. E. Caldas

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

### Resumo

Amostras termoluminescentes de BeO foram avaliadas em feixes padrões de radiação X aplicados em radioterapia de energias baixas. Foram realizados os testes de reprodutibilidade, curva dose-resposta e dependência energética, além de ser determinado o limite inferior de detecção. As pastilhas de BeO apresentaram boa resposta para utilização em dosimetria de feixe.

**Palavras-chave:** dosimetria, raios X, dosímetro termoluminescente, berílio.

### Abstract

Beryllium oxide thermoluminescent samples were evaluated in standard radiotherapy beams of low energy. Results for response reproducibility, dose-response curve and energy dependence were obtained. The lower detection limit was determined. The pellets of BeO showed their usefulness for beam dosimetry.

**Keywords:** dosimetry, X-rays, thermoluminescent dosimeter, beryllium.

### Introdução

Certos cristais retêm parte da energia absorvida durante a irradiação em estados metaestáveis de energia; quando essa energia é perdida posteriormente na forma de luz ultravioleta (UV), infravermelha ou visível, ocorre o fenômeno da luminescência<sup>1</sup>. A luminescência se divide em fluorescência, se a emissão de luz se dá entre  $10^{-10}$  e  $10^{-8}$  s após a irradiação, e fosforescência, que pode ser estimulada pelo calor ou pela luz, quando recebe o nome de termoluminescência (TL) e luminescência opticamente estimulada (OSL), respectivamente.

A partir de 1960, o uso da dosimetria TL aumentou rapidamente devido às inúmeras vantagens da técnica e da disponibilidade de fósforos comerciais e a facilidade da instrumentação<sup>2</sup>.

O óxido de berílio (BeO) tem sido extensivamente estudado usando a técnica da TL, tendo em vista a aplicação do material para dosimetria das radiações ionizantes. Em particular, o BeO é um grande atrativo para dosimetria pessoal por apresentar número atômico efetivo baixo ( $Z_{\text{efetivo}}=7,13$ ), que é muito próximo ao do tecido biológico ( $Z_{\text{efetivo}}=7,42$ ).

As amostras de BeO apresentam três picos TL de 75, 220 e 340°C para curvas de emissão até 400°C de aquecimento; o pico de 220°C é considerado como o principal pico dosimétrico<sup>3</sup>.

A radioterapia é uma das modalidades de tratamento mais empregadas para doenças malignas como o câncer. A garantia de que o paciente esteja recebendo a dose real prescrita e de que os indivíduos ocupacionalmente expostos durante o tratamento não estejam recebendo doses efetivas superiores aos limites de dose anuais, requer o emprego de uma técnica dosimétrica eficiente. Neste contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar o desempenho de amostras TL de BeO para dosimetria de feixes de radiação X (energias baixas) aplicados à radioterapia<sup>4</sup>.

### Materiais e Métodos

Neste trabalho foram selecionadas 20 pastilhas de óxido de berílio, com dimensões de 0,8 mm de espessura e 4,0 mm de diâmetro.

**Tabela 1.** Características dos feixes padronizados de radiação X para radioterapia implantados no equipamento Pantak/Seifert, de acordo com o BIPM<sup>4</sup>.

Qualidade da Radiação	Tensão do Tubo (kV)	Camada Semirredutora (mmAl)	Filtração Adicional (mmAl)	Taxa de Kerma no Ar (mGy.min <sup>-1</sup> )
T-10	10	0,043	–	3,229±0,003
T-25	25	0,279	0,372	2,753±0,002
T-30	30	0,185	0,208	9,492±0,005
T-50(a)	50	2,411	3,989	0,834±0,002
T-50(b)	50	1,079	1,008	3,878±0,002

As pastilhas foram irradiadas nos feixes de radiação X no equipamento de marca Pantak/Seifert, modelo ISOVOLT 160HS, que opera até 160 kV, do Laboratório de Calibração de Instrumentos do IPEN (LCI). Nesse equipamento estão implantadas as qualidades de feixes de radiação específica para radiologia convencional, radioterapia, mamografia e radioproteção, de acordo com as recomendações internacionais. Para este estudo foram utilizadas as qualidades de radioterapia recomendadas pelo Bureau International des Poids et Mesures (BIPM)<sup>5</sup>. Cinco qualidades de feixe de radiação X de energias baixas, radioterapia, estão implantadas no LCI, suas principais características encontram-se na Tabela 1.

As medições foram realizadas na leitora RISØ TL/OSL, modelo TL/OSL-DA-20 (Figura 1) com a técnica TL, imediatamente após as irradiações. 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 de 1 l/min. A curva de emissão foi integrada no intervalo de temperatura entre 100 e 300°C, em que o pico dosimétrico se fez presente.

Após as avaliações TL, as pastilhas foram tratadas termicamente a 750°C durante 15 minutos, para reutilização.

Os testes de caracterização realizados consistem em: curva de emissão TL, limite inferior de detecção (LID), reprodutibilidade da resposta TL, curva dose-resposta e dependência energética. Esses testes são determinantes para utilização do material como dosímetro.

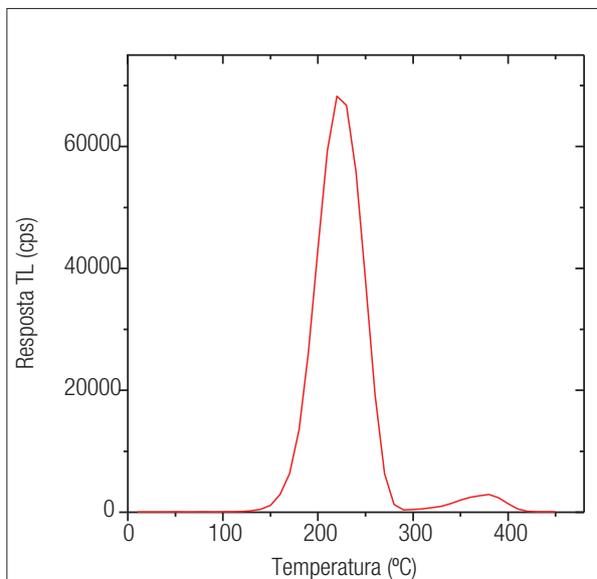
## Resultados

Neste trabalho, as amostras de BeO foram testadas usando feixes de radiação X de qualidades de radioterapia.

Para todos os testes, as pastilhas foram posicionadas a uma distância de 50 cm, como para a padronização no feixe de radioterapia. As condições foram mantidas ao longo de todo o arranjo experimental. Convém ressaltar que foi descontada a leitura de amostras não irradiadas para os valores médios das respostas TL.

### Curva de Emissão termoluminescência

A curva de emissão TL representa a variação da resposta TL em função da temperatura de aquecimento. Uma curva de emissão obtida para as amostras de óxido de berílio está representada na Figura 2.

**Figura 1.** Leitora RISØ TL/OSL, modelo TL/OSL-DA-20.**Figura 2.** Curva de emissão TL de uma pastilha de BeO exposta à qualidade de radiação X (T-30), radioterapia, para uma dose absorvida de 1 Gy.

### Limite Inferior de Detecção

Por meio da medição da resposta TL de dosímetros não irradiados foi possível determinar o valor do limite inferior de detecção. O valor obtido foi de 2,2 mGy.

### Reprodutibilidade

Para o teste de reprodutibilidade, as 20 amostras foram submetidas 10 vezes ao mesmo procedimento de

irradiação para qualidade padrão T-30, com dose de 1 Gy, medição da resposta TL e tratamento térmico. O desvio padrão relativo máximo foi de 4,9%.

### Curva dose-resposta

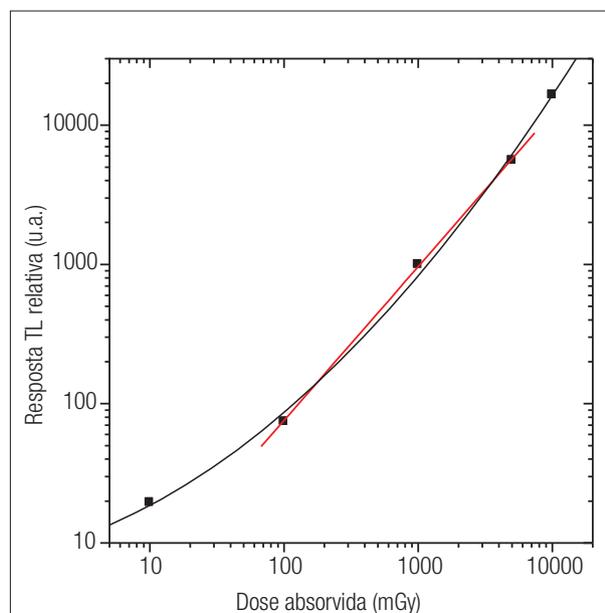
A curva dose-resposta do detector de radiação é representada pela resposta TL em função da dose absorvida (Figura 3).

As amostras foram irradiadas com várias doses no intervalo de 10 mGy a 10 Gy, no feixe de qualidade de radiação T-30.

No intervalo de 0,1 a 5 Gy a curva apresenta linearidade. Esses dados foram plotados em escala linear e realizou-se uma regressão linear; os parâmetros obtidos foram: coeficiente linear de  $-0,080 \pm 0,053$  e coeficiente angular de  $1,131 \pm 0,018$ . O coeficiente de correlação linear  $R^2$  é de 0,99974.

### Dependência Energética

A fim de se determinar a dependência energética de resposta dos dosímetros de BeO, as pastilhas foram posicionadas à distância de 50 cm do tubo e irradiadas nos feixes das qualidades de radioterapia implantadas no LCI. Esse procedimento foi utilizado



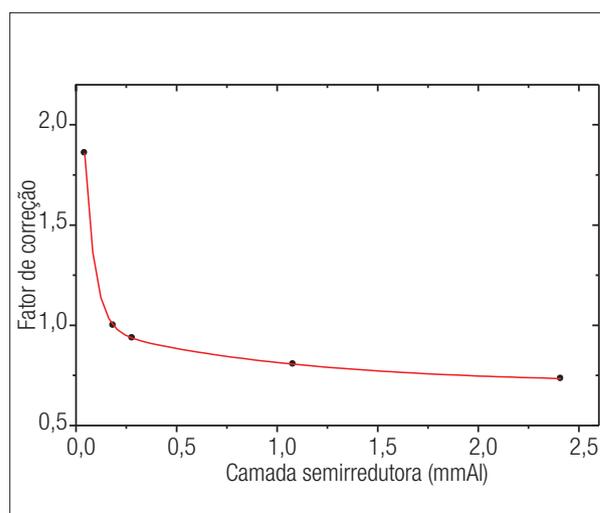
**Figura 3.** Curva dose-resposta das pastilhas de BeO para qualidade de radiação X (T-30), radioterapia, para doses de 0,01; 0,1; 1; 5 e 10 Gy.

para determinar o coeficiente de calibração para cada energia, sendo normalizado para o feixe de qualidade de T-30, determinando-se então o fator de correção. O coeficiente de calibração e o fator de correção para cada qualidade de radiação estão representados na Tabela 2.

A dependência energética das pastilhas está ilustrada na Figura 4.

### Discussão e Conclusões

Os primeiros resultados apresentados são referentes à curva de emissão das amostras de BeO. Pode-se notar que o pico dosimétrico está na região de 150 a 300°C. Foi possível observar também que o terceiro pico desse material está localizado em cerca de 375°C. O primeiro pico característico para o BeO, aproximadamente a 75°C, não pôde ser observado, pois sua intensidade pode ser considerada desprezível em relação às outras. Não foi constatada variação significativa na curva de emissão das 20 amostras TL estudadas, o desvio padrão máximo obtido de 4,9, portanto dentro do recomendado pela TRS 398<sup>6</sup>.



**Figura 4.** Dependência energética da resposta dos detectores de BeO, em feixes de qualidade de radioterapia.

**Tabela 2.** Coeficientes de calibração e fatores de correção das pastilhas de BeO utilizando feixes padrões de qualidade radioterápica.

Qualidade da Radiação	Camada Semirredutora (mmAl)	Coefficiente de Calibração (mGy/cps)	Fator de Correção	Desvio Padrão Relativo (%)
T-10	0,043	4,817	1,860	9,8
T-25	0,279	2,424	0,936	8,4
T-30	0,185	2,590	1,000	8,9
T-50(a)	2,411	1,902	0,734	7,7
T-50(b)	1,079	2,089	0,806	8,2

Foi determinado também o limite inferior da curva de detecção para as amostras de BeO, aproximadamente 2,2 mGy.

A curva de dose-resposta do BeO à radiação X de energias baixas (Figura 3) apresentou linearidade entre as doses de 100 mGy e 5 Gy, sendo a linearidade comprovada pelo valor de  $R^2$  obtido na regressão linear.

Ao analisar a Figura 4, os dosímetros apresentaram alta dependência energética considerando a qualidade de radioterapia T-10. Entretanto, ao se desconsiderar a qualidade cuja camada semirredutora é 0,043 mmAl, a dependência energética obtida para as demais qualidades de radioterapia, T-25, T-30, T-50(a) e T-50(b), é de apenas 13,9%. Este fato é pouco importante para dosimetria de feixe, uma vez que o conhecimento da sua dependência permite o uso de fatores de correção para adequação da dosimetria termoluminescente para as diferentes qualidades.

As amostras TL de BeO para dosimetria de radiação X de radioterapia de energias baixas apresentaram respostas satisfatórias para o emprego da técnica em dosimetria de feixe.

## Agradecimentos

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

## Referências

1. 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. Bulur E, Göksu HY. OSL from BeO ceramics: new observations from an old material. Radiat Meas 1998; 29(6):639-50.
4. Metcalfe P, Kron T, Hoban P. Physics of radiotherapy X-rays from linear accelerators. Madison: Medical Physics Publishing; 2007.
5. Bureau International des Poids et Mesures. Measuring condition used for the calibration of ionization chambers at the BIPM. Sèvres; 2004.
6. International Atomic Energy Agency. Absorbed dose determination in external beam radiotherapy TRS 398. Vienna; 2000.