

## Estudo comparativo da resposta termoluminescente dos dosímetros de $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ na dosimetria de feixes clínicos de fótons e elétrons utilizando simulador de água sólida

Luciana C. Matsushima<sup>1</sup>, Amanda Bravim<sup>1</sup>, Roberto K. Sakuraba<sup>2</sup>, José Carlos da Cruz<sup>2</sup>,  
Letícia L. Campos<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN-CNEN), Avenida Professor Lineu Prestes 2242, São Paulo, SP, Brasil.

<sup>2</sup>Sociedade Beneficente Israelita Brasileira - Hospital Albert Einstein, Setor de Radioterapia, São Paulo, SP, Brasil.

**Resumo.** Na área de dosimetria clínica, uma calibração eficiente e precisa do feixe de radiação garante o conhecimento da dose de radiação fornecida ao paciente, assegurando, portanto, o sucesso do tratamento radioterápico. Este trabalho tem por objetivo o estudo comparativo da resposta termoluminescente dos dosímetros de sulfato de cálcio dopado com disprósio ( $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ ) produzidos pelo IPEN na dosimetria de feixes clínicos de fótons (6 e 15 MV) e elétrons (6 e 16 MeV) utilizando objeto simulador de água sólida (RMI-457). Foram obtidas as curvas de dose-resposta para radiação gama do cobalto-60 no ar e em condições de equilíbrio eletrônico (placa de PMMA), e para elétrons e fótons clínicos dos aceleradores Clinac modelo 2100C. Foi também avaliada a sensibilidade dos dosímetros de  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$  e determinada a reprodutibilidade da resposta para os diferentes tipos de radiação.

**Palavras-chave:** dosimetria termoluminescente, radioterapia, proteção radiológica.

### **Comparative study of the thermoluminescent response of $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ dosimeters using solid water phantom for dosimetry in clinical photon and electrons beams.**

**Abstract.** In the area of clinical dosimetry, an efficient and accurate calibration of the radiation beam ensures knowledge of the radiation dose delivered to the patient, allowing thus the success of radiotherapy. This study aims to compare the thermoluminescent response of calcium sulphate doped with dysprosium ( $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ ) dosimeters produced by IPEN in dosimetry of clinical photon (6 and 15 MV) and electrons beams (6 and 16 MeV) using solid water phantom (RMI-457). Initially, the dose-response curves were obtained for irradiation in the gamma radiation source from cobalt-60 in air (PMMA plates) and under conditions of electronic equilibrium and for electron and photons clinical beams of the accelerators Clinac model 2100C. The sensitivities of the  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$  dosimeters were also evaluated and the values of their reproducibilities were determined for the response to different types of radiation.

**Keywords:** thermoluminescent dosimetry, radiotherapy, radiation protection.

### **1. Introdução**

O histórico da dosimetria termoluminescente (TL) teve início no mesmo ano da descoberta dos raios-X por C. W. Roentgen em 1895. E. Wiedemann e G. Schmidt descreveram o uso da termoluminescência para a detecção de raios catódicos, termo usado na época em referência aos feixes de elétrons. Entretanto, os avanços que constituíram a base do uso atual da dosimetria TL em medicina estão centrados nos estudos de F. Daniels da Universidade de Wisconsin [1].

A técnica da dosimetria TL foi aperfeiçoada e se destaca como um dos principais métodos em dosimetrias clínicas de rotina [2]. Estudos recentes realizados nos Estados Unidos investigaram os planejamentos de tratamentos com a utilização da radiação ionizante e constataram que cerca de

90% das instituições acadêmicas e 50% dos hospitais utilizavam o método da termoluminescência para dosimetria *in vivo*.

Em medicina, a radiação ionizante é utilizada para finalidades terapêuticas e diagnósticas. Essa definição engloba um amplo intervalo de diferentes doses de radiação e a maioria de suas aplicações faz uso de fótons, ou na forma de raios-X (radiologia diagnóstica, radioterapia), ou radiação gama (medicina nuclear). Isso é seguido por radiação beta ou elétrons produzidos por aceleradores lineares ou betatrons [1].

Os dois objetivos principais da dosimetria em um ambiente clínico são: promover a proteção radiológica dos indivíduos (pacientes e trabalhadores) e o controle de qualidade do feixe de radiação. É essencial assegurar o princípio da

otimização para as doses de radiação aplicadas a pacientes em tratamentos, de modo a controlar os riscos associados à exposição [1].

Este trabalho tem como objetivo o estudo comparativo da resposta TL dos dosímetros de  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$  na dosimetria de feixes clínicos de fótons e elétrons utilizando objeto simulador de água sólida.

## 2. Materiais e Métodos

### 2.1. Material dosimétrico:

- ✓ 200 DTLs de  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$  produzidos pelo IPEN.

### 2.2. Objeto simulador:

- ✓ Placas de água sólida (RMI-457) de dimensões 30 x 30  $\text{cm}^2$ .

### 2.3. Sistemas de irradiação:

- ✓ Fonte de  $^{60}\text{Co}$  do LCI-IPEN, com atividade nominal de 0,953 GBq em 11/11/2009;
- ✓ Aceleradores lineares *Varian* modelo Clinac 2100C do HC-FMUSP – fótons e do Hospital Albert Einstein – elétrons;

### 2.4. Equipamentos:

- ✓ Forno tipo mufla com aquecimento por microondas *Vulcan* modelo 3-550 PD;
- ✓ Leitora TL *Harshaw* modelo 3500.

### 2.5. Irradiação dos DTLs

Inicialmente os DTLs foram submetidos ao tratamento térmico pré irradiação de 300°C/3h e irradiados na fonte de radiação gama do  $^{60}\text{Co}$  no ar, em condições de equilíbrio eletrônico (placas de PMMA). Após a avaliação das respostas TL os DTLs foram separados em grupos de acordo com as suas sensibilidades ( $\pm 5\%$ ) e foi obtida a curva de dose-resposta para a radiação gama do  $^{60}\text{Co}$ . Para as irradiações nos feixes clínicos os DTLs selecionados foram posicionados nas profundidades de máxima dose nas placas de água sólida e irradiados nos feixes de fótons (6 e 15 MV do HC-FMUSP) e elétrons (6 e 16 MeV do Hospital Albert Einstein). As especificações seguidas para as irradiações foram as recomendadas pelo *Technical Reports Series* N°. 398 (TRS 398) [3] da IAEA (Agência Internacional de Energia Atômica): tamanho do campo de radiação - 10 x 10  $\text{cm}^2$ , distância fonte-DTLs - 100 cm). As profundidades de dose máxima para a irradiação dos DTLs são apresentadas na Tabela 1.

### 2.6. Curvas de dose-resposta

Para a obtenção da curva de resposta em função da dose para radiação gama do  $^{60}\text{Co}$  os DTLs foram irradiados com as seguintes doses: 0,5; 1; 10; 50; 100 e 500 mGy e 1; 5 e 10 Gy. Para as irradiações com fótons e elétrons nos hospitais foram aplicadas as seguintes doses: 0,1; 0,5; 1; 5 e 10 Gy. Cada ponto representa a média das 10

leituras e as barras de erros são os seus respectivos desvios-padrões da média ( $1\sigma$ ) com nível de confiança de 95%.

Tabela 1. Profundidades de dose máxima (cm) utilizadas para as irradiações dos DTLs de  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$

Hospital			Profundidade (cm)
HC-FMUSP	Fótons	6 MV	1,5
		15 MV	2,9
Hospital Albert Einstein	Elétrons	6 MeV	1,26
		16 MeV	1,73

## 3. Resultados

A figura 1 apresenta a curva de dose-resposta do  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$  à radiação gama do  $^{60}\text{Co}$  para irradiação no ar em condições de equilíbrio eletrônico. As figuras 2 a 5 apresentam as curvas de dose-resposta para fótons (6 e 15 MV) e para elétrons (6 e 16 MeV).

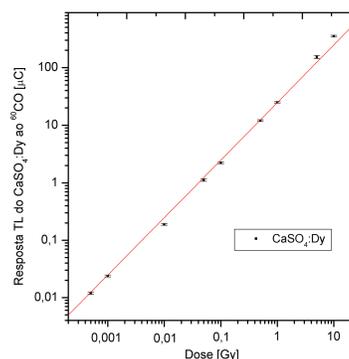


Figura 1. Curva de dose-resposta do  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$  à radiação gama do  $^{60}\text{Co}$  para irradiação no ar (equilíbrio eletrônico).

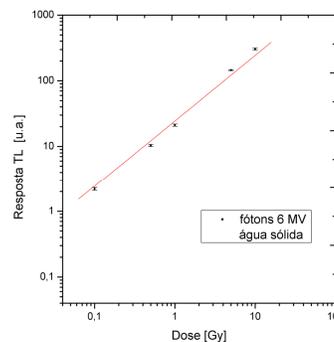


Figura 2. Curva de dose-resposta do  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$  a fótons (6 MV) em objeto simulador de água sólida.

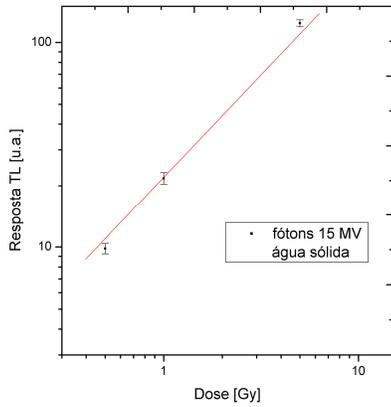


Figura 3. Curva de dose-resposta do CaSO<sub>4</sub>:Dy a fótons (15 MV) em objeto simulador de água sólida.

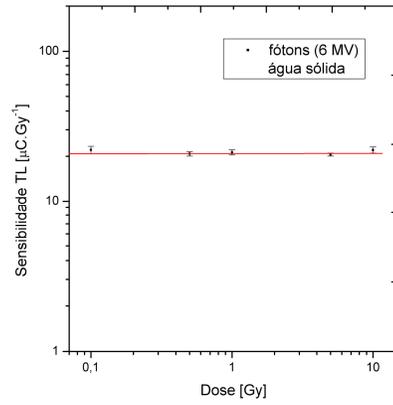


Figura 6. Sensibilidade TL média do CaSO<sub>4</sub>:Dy a fótons (6 MV) utilizando objeto simulador de água sólida.

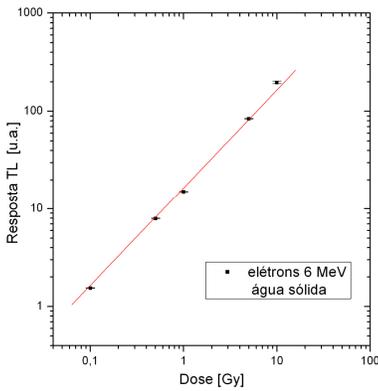


Figura 4. Curva de dose-resposta a elétrons (6 MeV) em objeto simulador de água sólida.

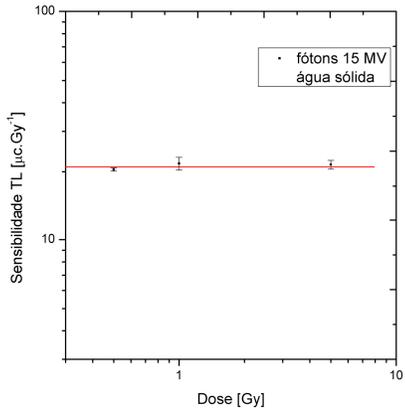


Figura 7. Sensibilidade TL média do CaSO<sub>4</sub>:Dy a fótons (15 MV) utilizando objeto simulador de água sólida.

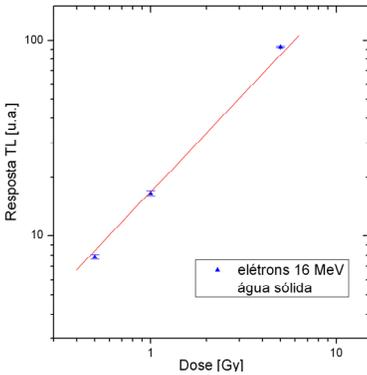


Figura 5. Curva de dose-resposta a elétrons (16 MeV) em objeto simulador de água sólida.

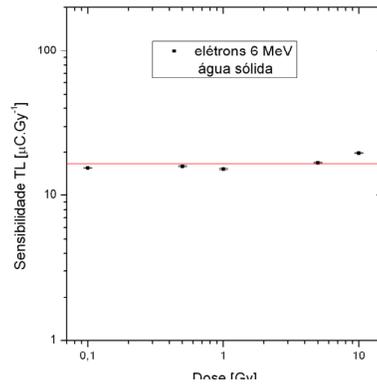


Figura 8. Sensibilidade TL média do CaSO<sub>4</sub>:Dy a elétrons (6 MeV) utilizando objeto simulador de água sólida.

Os resultados obtidos indicam um comportamento linear da resposta TL para todos os tipos de radiação no intervalo de doses estudado.

As figuras 6 a 9 apresentam as sensibilidades médias dos DTLs de CaSO<sub>4</sub>:Dy em função da dose de radiação.

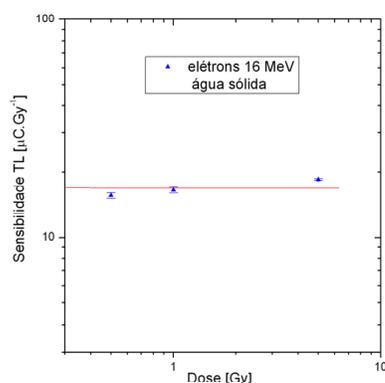


Figura 9. Sensibilidade TL média do  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$  a elétrons (16 MeV) utilizando objeto simulador de água sólida.

Os valores das sensibilidades médias obtidos para os diferentes tipos de radiação e energias dos feixes são apresentados na Tabela 2. Pode ser observado que os valores das sensibilidades médias são melhores que 4% para fótons e 2% para elétrons. A sensibilidade média para feixe de fótons é 1,46 vezes maior do que para feixe de elétrons e a sensibilidade média do  $^{60}\text{Co}$  foi utilizada apenas como base de referência.

Tabela 2. Sensibilidade média dos DTLs de  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$  em função da energia do feixe para objeto simulador de água sólida

Hospital	Feixe	Fótons (MV) / Elétrons (MeV)	Sensibilidade média ( $\mu\text{C}/\text{Gy}$ )
	$^{60}\text{Co}$	1,25 MeV	22,46
HC-FMUSP	Fótons	6 MV	24,73
		15 MV	23,86
Hospital Albert Einstein	Elétrons	6 MeV	16,60
		16 MeV	16,88

Na tabela 3 são apresentados os valores da reprodutibilidade da resposta TL calculada de acordo com o tipo de feixe de radiação.

Tabela 3. Reprodutibilidade da resposta TL dos DTLs de  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$

Hospital	Feixe	Fótons (MV) / Elétrons (MeV)	Reprodutibilidade (%)
	$^{60}\text{Co}$	1,25 MeV	2,01
HC-FMUSP	Fótons	6 MV	1,51
		15 MV	1,95
Hospital Albert Einstein	Elétrons	6 MeV	0,66
		16 MeV	1,45

A reprodutibilidade da resposta TL obtida é melhor que 2,01% para a radiação gama do  $^{60}\text{Co}$ ,

1,95% para fótons de 15 MV e 1,45% para elétrons de 16 MeV.

#### 4. Discussão e Conclusões

As curvas de dose-resposta obtidas para a irradiação dos DTLs na fonte de  $^{60}\text{Co}$  e para os feixes de fótons (6 e 15 MV) e elétrons (6 e 16 MeV) apresentaram comportamento linear no intervalo de dose estudado (0,1 a 10 Gy).

A sensibilidade média calculada para cada dose permanece praticamente invariável. Desse modo, pela análise dos gráficos das sensibilidades pode-se concluir que os DTLs de  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$  praticamente não apresentam dependência energética no intervalo de energias estudadas.

A reprodutibilidade da resposta TL para os dois tipos de feixes de radiação (fótons e elétrons) são melhores que 1,95% e todos os valores calculados encontram-se de acordo com as referências na literatura (até 2,5%) [4].

Os resultados obtidos indicam que os DTLs de  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$  podem ser utilizados na dosimetria de fótons e elétrons aplicada à radioterapia representando, portanto, um método alternativo aos TLD-100 importados devido à facilidade de aquisição junto ao IPEN e ao baixo custo.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem a CNPq, FAPESP e CNEN pelo apoio financeiro, ao HC-FMUSP e ao Hospital Albert Einstein.

#### Referências

- Kron, T. Applications of thermoluminescence dosimetry in medicine. *Radiat. Prot. Dosimetry*, v. 85, n. 1-4, p. 333-340, 1999.
- Smith, A. Gerber, R., Hughes, B. Kline, R., Kutcher, G., Ling, C., Owen, J., Hanlon, A., Wallace, M., Hank, G. Treatment Planning Structure and Process in the United States: A "Patterns of Care" Study. *J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* v. 32, p. 225-265, 1995.
- International Atomic Energy Agency. *Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy*. An International Code of Practice for Dosimetry Based on Standards of Absorbed Dose to Water, Vienna, Abr. 2000 (TRS-398).
- Nunes, M. G., Campos, L. L. *Avaliação do desempenho dos detectores termoluminescentes de  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$  e  $\text{LiF:Mg,Ti}$  na dosimetria de feixes clínicos de elétrons*. 2008. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo.

#### Contato:

Luciana C. Matsushima  
lmatsushima@ipen.br