

# AVALIAÇÃO DOS DOSÍMETROS DE $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ , $\text{LiF:Mg,Ti}$ E MICROLiF:Mg,Ti UTILIZANDO SIMULADOR DE ÁGUA SÓLIDA PARA APLICAÇÃO NA DOSIMETRIA DE FEIXES CLÍNICOS DE ELÉTRONS (6 MEV)

Luciana Matsushima<sup>1</sup>, Glauco Veneziani<sup>1</sup>, Roberto K. Sakuraba<sup>2</sup>, José Carlos da Cruz<sup>2</sup> e Leticia L. Campos<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN-CNEN/SP)

Av. Prof. Lineu Prestes, 2242, Cidade Universitária, CEP: 05508-000, São Paulo, SP, Brasil.

<sup>2</sup>Sociedade Beneficente Israelita Brasileira - Hospital Albert Einstein (HAE)

Avenida Albert Einstein, 665, Morumbi, CEP: 05652-000, São Paulo, SP, Brasil.

E-mail:lmatsushima@usp.br

## RESUMO

Com o advento e os avanços do uso da tecnologia nuclear para fins diagnósticos e terapêuticos surgiu uma grande preocupação relacionada com a detecção da radiação e a avaliação da dose para o controle dos níveis de dose ambiental e pessoal. A obtenção desses parâmetros é essencial para garantir a segurança radiológica da população, tanto de trabalhadores (indivíduos ocupacionalmente expostos), como de pacientes e indivíduos do público [1]. O principal objetivo da dosimetria em radioterapia, desde o surgimento desta modalidade de tratamento, foi o de determinar, com a maior precisão e exatidão possíveis, a dose absorvida pelo volume alvo, por meio da calibração do feixe de radiação e da dosimetria de rotina para o controle de qualidade, tanto da máquina de terapia quanto dos tratamentos propostos [2]. Este trabalho teve como objetivo o estudo comparativo da resposta termoluminescente (TL) dos dosímetros de sulfato de cálcio dopado com disprósio ( $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ ) produzidos pelo IPEN com a resposta dos dosímetros de fluoreto de lítio dopado com magnésio e titânio ( $\text{LiF:Mg,Ti}$ ) na dosimetria de feixes clínicos de elétrons (6 MeV) utilizando objeto simulador de água sólida (RMI-457).

**Descritores:** Dosimetria termoluminescente, Radioterapia, Proteção radiológica.

## INTRODUÇÃO

A radioterapia é uma das três principais modalidades de tratamento utilizadas no tratamento de doenças malignas, como o câncer; as duas outras são a quimioterapia e a

## ABSTRACT

With the advent and advances in the use of nuclear technology for diagnostic and therapeutic purposes has emerged a major concern related to the detection and assessment of radiation dose for control of dose levels and environmental staff. Obtaining these parameters is essential to ensure the radiation safety of the population, both workers (occupationally exposed individuals), as patients and individuals from the public [1]. The main objective of dosimetry in radiotherapy since the appearance of this treatment modality, was to determine, with the greatest possible precision and accuracy, the absorbed dose to the target volume through the calibration of the radiation beam and dosimetry for routine quality control of both the machine as therapy treatments proposed [2]. This work aimed to study the comparative response of thermoluminescent dosimeters of calcium sulphate doped with dysprosium ( $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ ) produced by IPEN with the response of dosimeters of lithium fluoride doped with magnesium and titanium ( $\text{LiF:Mg,Ti}$ ) in dosimetry of clinical electron beams (6 MeV) using solid water phantom (RMI-457).

**Key words:** Thermoluminescent dosimetry, Radiotherapy, Radiological protection.

radiocirurgia. Em contraste com outras especialidades médicas que necessitam principalmente de conhecimento clínico e da experiência de especialistas, a radioterapia, com o uso da radiação ionizante no tratamento do câncer, necessita de grandes investimentos em tecnologias modernas e do esforço

colaborativo de diversos profissionais que contribuem para o sucesso do tratamento [3].

Na área de dosimetria clínica, uma calibração eficiente e precisa do feixe de radiação garante o conhecimento da dose fornecida ao paciente, assegurando, portanto, o sucesso do tratamento radioterápico [3].

A técnica da dosimetria TL foi aperfeiçoada e se destaca como um dos principais métodos em dosimetria clínica de rotina. 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* [4].

A alta sensibilidade dos dosímetros termoluminescentes (DTLs) aliada a uma grande variedade de materiais, diferentes formatos físicos e tamanhos permitem a determinação de medidas em regiões de gradientes agudos de dose em simuladores antropomórficos, assim como em dosimetria *in vivo* [5]. Os diferentes materiais que compõem os objetos simuladores também alteram a resposta dos DTLs à radiação de fótons e elétrons, por isso, eles devem ser considerados nos estudos das dosimetrias [6].

Este trabalho tem como objetivo o estudo comparativo da resposta TL dos dosímetros de  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ ,  $\text{LiF}:\text{Mg,Ti}$  e  $\text{microLiF}:\text{Mg,Ti}$  na dosimetria de feixes clínicos de elétrons (6 MeV) utilizando objeto simulador de água sólida. Foram avaliadas as sensibilidades médias de cada tipo de detector e as suas reprodutibilidades para diferentes doses de radiação.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Material dosimétrico:

- 200 DTLs de  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$  produzidos pelo IPEN;
- 200 DTLs de  $\text{LiF}:\text{Mg,Ti}$  produzidos pela *Harshaw Chemical Company*;
- 105 microDTLs de  $\text{LiF}:\text{Mg,Ti}$  produzidos pela *Harshaw Chemical Company*.

### Objeto simulador:

- Placas de água sólida (RMI-457) de dimensões  $30 \times 30 \text{ cm}^2$  (figura 1).



Figura 1: Placas de água sólida (RMI-457) e DTLs posicionados na profundidade de dose máxima.

### Sistemas de irradiação:

- Fonte de  $^{60}\text{Co}$  do Laboratório de Calibração de Instrumentos (LCI-IPEN), com atividade nominal de 0,953 GBq em 11/11/2009;
- Aceleradores lineares *Varian* modelo Clinac 2100 C do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (HC-FMUSP) e do Hospital Albert Einstein (HAE) (figura 2).



Figura 2: Arranjo experimental da irradiação dos DTLs no HAE.

### Equipamentos:

- Forno tipo mufla *Vulcan* modelo 3-550 PD;
- Estufa cirúrgica FANEN, modelo 315-IEA 11200;
- Leitora TL *Harshaw* modelo 3500.

### Irradiação dos DTLs:

Inicialmente os DTLs foram submetidos ao tratamento térmico pré-irradiação:

- $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ :  $300^\circ\text{C}/3\text{h}$ ,
- $\text{LiF}:\text{Mg,Ti}$  e  $\text{microLiF}:\text{Mg,Ti}$ :  $400^\circ\text{C}/1\text{h} + 100^\circ\text{C}/2\text{h}$ .

Os DTLs foram irradiados na fonte de radiação gama do  $^{60}\text{Co}$  no ar, em condições de equilíbrio eletrônico (placas de água sólida). Após a avaliação da resposta 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 dose máxima nas placas de água sólida e irradiados nos feixes de elétrons (6 MeV) do HC e do HAE. As especificações seguidas para as irradiações foram as recomendadas pelo *Technical Reports Series* N°. 398 (TRS 398) [7] da IAEA (Agência Internacional de Energia Atômica): tamanho do campo de radiação -  $10 \times 10 \text{ cm}^2$ , distância fonte-DTLs - 100 cm). As profundidades de dose máxima para a irradiação dos DTLs são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Profundidades de dose máxima (cm) utilizadas para as irradiações dos DTLs.

Hospital	Profundidade de dose máxima (cm)
HC-FMUSP	1,2
HAE	1,26

#### 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 elétrons em ambos os 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%.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As figuras 3 e 4 apresentam as curvas de dose-resposta dos DTLs para elétrons de 6 MeV e simulador de água sólida para irradiações no HC-FMUSP e no HAE.

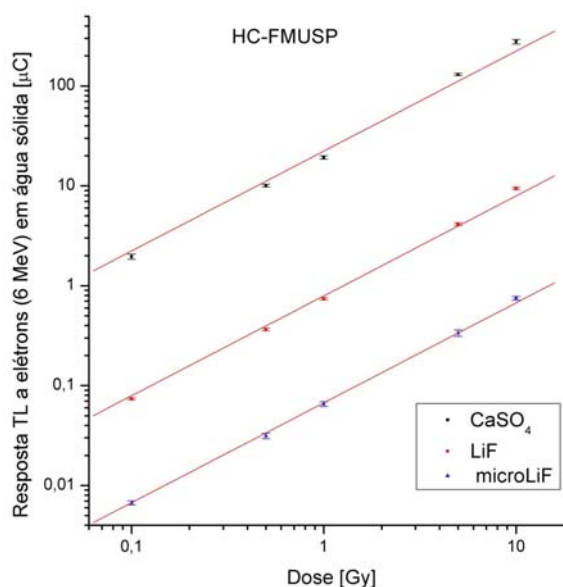


Figura 3: Curva de dose-resposta do  $\text{CaSO}_4\text{:Dy}$ ,  $\text{LiF:Mg,Ti}$  e  $\text{microLiF:Mg,Ti}$  a elétrons de 6 MeV em objeto simulador de água sólida para irradiação no HC-FMUSP.

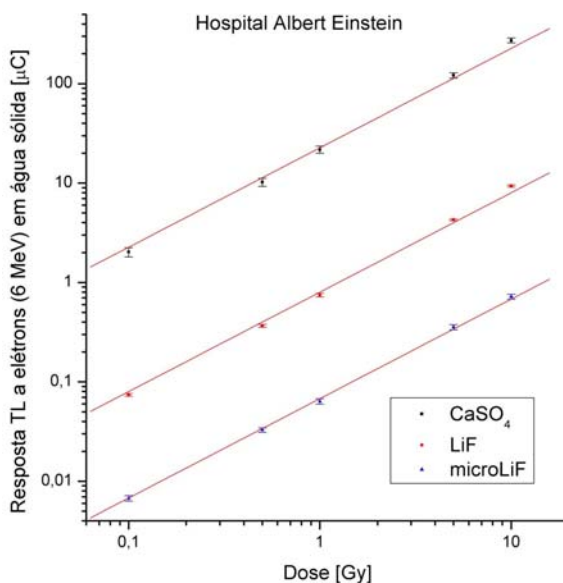


Figura 4: Curva de dose-resposta do  $\text{CaSO}_4\text{:Dy}$ ,  $\text{LiF:Mg,Ti}$  e  $\text{microLiF:Mg,Ti}$  a elétrons de 6 MeV em objeto simulador de água sólida para irradiação no HAE.

Os resultados obtidos apresentaram um comportamento linear da resposta TL para o feixe de elétrons clínicos no intervalo de dose estudado.

As figuras 5 e 6 apresentam os valores das sensibilidades médias dos DTLs em função da dose, de acordo com o local de irradiação.

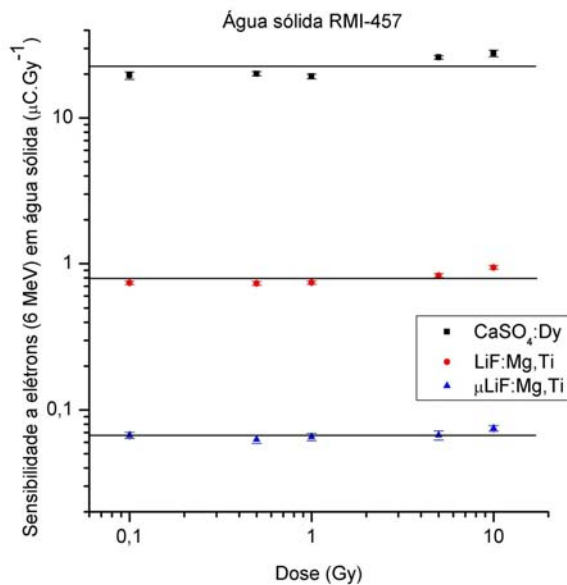


Figura 5: Sensibilidade média TL do  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ ,  $\text{LiF}:\text{Mg,Ti}$  e  $\mu\text{LiF}:\text{Mg,Ti}$  a elétrons de (6 MeV) utilizando objeto simulador de água sólida (HC-FMUSP).

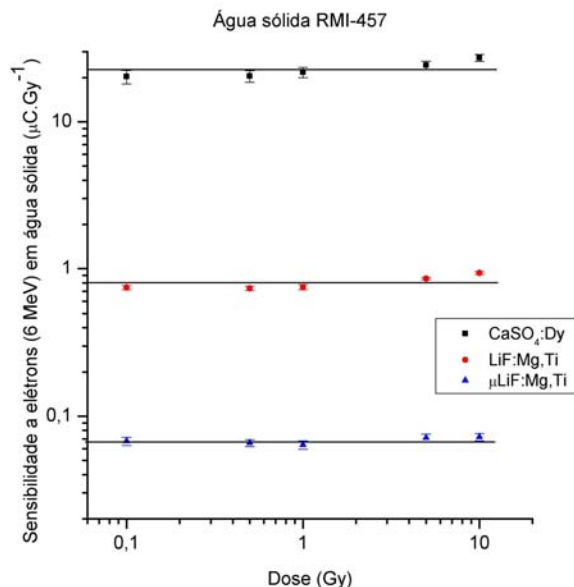


Figura 6: Sensibilidade TL do  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ ,  $\text{LiF}:\text{Mg,Ti}$  e  $\mu\text{LiF}:\text{Mg,Ti}$  a elétrons de (6 MeV) utilizando objeto simulador de água sólida (HAE).

Os valores das sensibilidades médias obtidos para os três tipos de detectores variaram de acordo com o equipamento em que foram irradiados e são apresentados na Tabela 2. Pode ser observado que a resposta apresenta comportamento linear para doses até 5 Gy.

Tabela 2: Sensibilidade média dos DTLs irradiados para feixe de elétrons (6 MeV) e objeto simulador de água sólida em função do equipamento de irradiação.

Tipo de detector	Dose de radiação (Gy)	Sensibilidade média ( $\mu\text{C.Gy}^{-1}$ )	
		HC-FMUSP	HAE
$\text{CaSO}_4:\text{Dy}$	0,1	19,57	20,27
	0,5	20,13	20,44
	1,0	19,30	21,74
	5,0	26,12	24,29
	10	27,77	27,26
$\text{LiF}:\text{Mg,Ti}$	0,1	0,7383	0,7426
	0,5	0,7311	0,7353
	1,0	0,7407	0,7483
	5,0	0,8282	0,8542
	10	0,9428	0,9351
$\mu\text{LiF}:\text{Mg,Ti}$	0,1	0,0671	0,0674
	0,5	0,0627	0,0656
	1,0	0,0653	0,0637
	5,0	0,0671	0,0711
	10	0,0749	0,0719

Pode ser observado que a sensibilidade do  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$  é cerca de 28 e 334 vezes maior do que a sensibilidade média dos detectores de  $\text{LiF}:\text{Mg,Ti}$  e  $\mu\text{LiF}:\text{Mg,Ti}$ , respectivamente.

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

Tabela 3: Reprodutibilidade da resposta dos DTLs.

Feixe	Hospital	Reprodutibilidade (%)		
		$\text{CaSO}_4:\text{Dy}$	$\text{LiF}:\text{Mg,Ti}$	$\mu\text{LiF}:\text{Mg,Ti}$
Elétrons (6 MeV)	HC	1,22	0,723	1,85
	HAE	2,91	1,25	2,31

A reprodutibilidade da resposta TL varia de 0,723 a 2,91% para feixe de elétrons de 6 MeV e objeto simulador de água sólida.

## CONCLUSÕES

As curvas de dose-resposta obtidas para a irradiação dos DTLs na fonte de  $^{60}\text{Co}$  e para os feixes de elétrons (6 MeV) apresentaram comportamento linear no intervalo de dose estudado (0,1 a 5 Gy), e

comportamento supralinear para a dose de 10 Gy.

A sensibilidade média calculada para cada dose apresenta pouca variação, principalmente para as duas variedades de LiF:Mg,Ti. O DTL de CaSO<sub>4</sub>:Dy apresenta uma maior variação na sensibilidade média, resultado que já era esperado pois a termoluminescência é um efeito dependente da massa e da área do dosímetro e também por apresentar uma maior sensibilidade do que os outros dosímetros. Pela análise das sensibilidades pode-se também concluir que os três tipos de DTLs praticamente não apresentam dependência energética no intervalo de energias estudadas.

A reprodutibilidade da resposta TL é melhor que  $\pm 2,91\%$  e a maioria dos valores encontram-se de acordo com as referências encontradas na literatura.

Os resultados obtidos indicam que os DTLs de CaSO<sub>4</sub>:Dy podem ser utilizados na dosimetria de 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 à CNEN e ao CNPq pelo apoio financeiro, ao Hospital das Clínicas da FMUSP e ao Hospital Albert Einstein pelas irradiações.

## REFERÊNCIAS

[1] OBERHOFER, M.; SCHARMANN, A. **Applied Thermoluminescence dosimetry**. Ispra, Itália: Adam Hilger Ltd (Commission of the European Communities), 1979.

[2] METCALFE, P.; KRON, T.; HOBAN, P. **The Physics of Radiotherapy X-rays from Linear Accelerators**. Madison, WI: Medical Physics, 2007.

[3] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Radiation Oncology Physics: A Handbook for teachers and students**, Vienna, 2005.

[4] 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.

[5] MAHESH, K.; WENG, P. S.; FURETTA, C. **Thermoluminescence in Solids and its applications**. Ashford: Nuclear Technology Publishing, 1989.

[6] CAMPOS, L.L.; NUNES, M.G. **Avaliação do desempenho dos detectores termoluminescentes de CaSO<sub>4</sub>:Dy e LiF:Mg,Ti na dosimetria de feixes clínicos de elétrons**. 2008. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo.

[7] 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).