

# DEPENDÊNCIA ENERGÉTICA E ANGULAR DE MATERIAIS TERMOLUMINESCENTES PARA MONITORAÇÃO BETA\*

Sonia Garcia Pereira Cecatti<sup>1</sup>, Linda V.E. Caldas<sup>2</sup>

**Resumo** As dependências energética e angular de diferentes materiais termoluminescentes foram estudadas com o objetivo de verificar que tipo de detector seria o mais adequado para a monitoração de trabalhadores envolvidos com a radiação beta. Três tipos de pastilhas de  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$  + teflon foram estudados. A dependência energética foi verificada usando-se fontes padrões de radiação beta ( $^{147}\text{Pm}$ ,  $^{204}\text{Tl}$  e  $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ ). A dependência angular foi verificada irradiando-se as amostras com feixes de radiação beta, variando-se o ângulo de incidência entre  $0^\circ$  e  $90^\circ$ . Os dosímetros de  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$  + teflon + 10% C mostram-se os mais adequados para uso na monitoração de trabalhadores expostos à radiação beta, em relação às características estudadas. *Unitermos:* Dosimetria termoluminescente; Radiação beta; Dependência angular; Dependência energética.

**Abstract** *Energy and angular dependence of thermoluminescent materials to beta monitoring.*

Energy and angular dependences of different thermoluminescent materials were studied with the objective to verify which type of detector would be the most appropriate for beta monitoring of workers. Three types of  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$  + teflon pellets were studied. The energy dependence was evaluated using standard beta radiation sources ( $^{147}\text{Pm}$ ,  $^{204}\text{Tl}$  and  $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ ). For the angular dependence study, the pellets were exposed to beta radiation of the  $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$  source, varying the incidence angle between  $0^\circ$  and  $90^\circ$ . In relation to the studied characteristics, the  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$  + 10% C dosimeters were the most adequate for use in beta monitoring of workers.

*Key words:* Thermoluminescent dosimetry; Beta radiation; Angular dependence; Energetic dependence.

## INTRODUÇÃO

O aumento das aplicações utilizando fontes de radiação beta (seladas e não seladas) na medicina, na indústria e na pesquisa implica a necessidade da realização de dosimetria metrologicamente confiável dos trabalhadores expostos a esse tipo de radiação.

A grandeza a ser determinada para a exposição ocupacional em campos de radiação beta é a dose equivalente na pele avaliada sobre  $1 \text{ cm}^2$  de pele, independente da área exposta. Entretanto, um novo nome está sendo sugerido internacionalmente para essa grandeza, que passaria a ser denominada dose de radiação ponderada<sup>(1)</sup>.

As partículas beta com energias de aproximadamente 60 keV podem alcançar uma

profundidade de 0,07 mm no tecido. Um detector para monitoração da radiação beta deve ser capaz de avaliar a dose de radiação beta com energias maiores do que 60 keV<sup>(2)</sup>.

Para a determinação das doses de extremidade são geralmente utilizados detectores termoluminescentes devido às suas dimensões pequenas. Para a medida da dose equivalente na pele o detector deve ser fino, a fim de evitar uma atenuação significativa da radiação<sup>(3)</sup>. Entretanto, a resposta da maioria dos dosímetros termoluminescentes depende da energia da radiação e da geometria de irradiação.

O objetivo deste trabalho foi estudar a dependência energética e angular de diferentes materiais termoluminescentes para escolha adequada do material a ser utilizado na monitoração de trabalhadores ocupacionalmente expostos à radiação beta.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizados três tipos de dosímetros termoluminescentes de  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$  + teflon<sup>(4-6)</sup>, produzidos no Laboratório de Materiais Termoluminescentes do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares

(IPEN), para detecção da radiação. A Tabela 1 apresenta as características físicas das amostras de  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$  + teflon estudadas. As amostras foram submetidas a tratamento térmico de  $300^\circ\text{C}$  durante uma hora, para reutilização.

O sistema padrão secundário de radiação beta do Laboratório de Calibração de Instrumentos do IPEN, com fontes de  $^{147}\text{Pm}$ ,  $^{204}\text{Tl}$  e  $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ , da Buchler GmbH & Co., Alemanha, foi utilizado para as irradiações (Tabela 2). Estas fontes possuem certificados de calibração do laboratório padrão primário alemão Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB).

Os detectores foram irradiados em um objeto simulador de polimetil metacrilato (lucite) de 15 mm de espessura e cobertos por uma folha de plástico com  $1,20 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-2}$  de densidade superficial.

O sistema leitor termoluminescente utilizado foi o Harshaw Nuclear System, modelo 2000A/B, com taxa de aquecimento linear de  $10^\circ\text{C}\cdot\text{s}^{-1}$  e o ciclo de leitura de 26 s, e fluxo constante de  $\text{N}_2$  de  $4,0 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ . Os três materiais estudados apresentam o pico dosimétrico a  $220^\circ\text{C}$ . A área sob as curvas de emissão termoluminescente foi integrada no intervalo de  $140^\circ\text{C}$  a  $240^\circ\text{C}$ .

\* Trabalho realizado no Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares/Comissão Nacional de Energia Nuclear, São Paulo, SP.

1. Fundacentro/Ministério do Trabalho e Emprego, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares/Comissão Nacional de Energia Nuclear.

2. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares/ Comissão Nacional de Energia Nuclear.

Endereço para correspondência: Dra. Sonia Garcia Pereira Cecatti, Rua Capote Valente, 710, Pinheiros, São Paulo, SP, 05409-002. E-mail: scecatti@fundacentro.gov.br

Recebido para publicação em 13/9/2005. Aceito, após revisão, em 18/10/2005.

**Tabela 1** Características físicas das amostras de CaSO<sub>4</sub>:Dy + teflon.

Material termoluminescente	Dimensões		
	Massa (mg)	Diâmetro (mm)	Espessura (mm)
CaSO <sub>4</sub> :Dy (50mg)	50	6,0	0,80
CaSO <sub>4</sub> :Dy (20mg)	20	6,0	0,35
CaSO <sub>4</sub> :Dy + 10% C	20	6,0	0,35

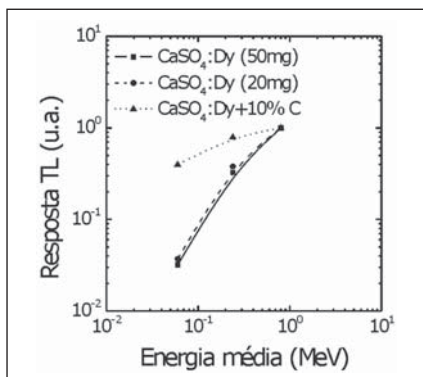
**Tabela 2** Características do sistema padrão secundário de radiação beta.

Radionuclídeo	<sup>147</sup> Pm	<sup>204</sup> Tl	<sup>90</sup> Sr+ <sup>90</sup> Y	<sup>90</sup> Sr+ <sup>90</sup> Y
Atividade nominal (MBq)	518	18,5	74	1.850
Energia média da radiação beta (MeV)	0,06	0,24	0,80	0,80
Taxa de dose absorvida no ar (μGy.s <sup>-1</sup> )	0,366	0,412	1,707	518,4 70,6 25,23
Taxa de dose absorvida no tecido (μGy.s <sup>-1</sup> )	0,411	0,462	1,896	575,9 78,4 28,03
Distância de calibração (cm)	20	30	30	11 30 50
Data de referência	25/5/1990	9/6/1990	12/1/1981	4/2/1981

## RESULTADOS

A dependência energética de todas as amostras de CaSO<sub>4</sub>:Dy + teflon foi verificada usando-se as fontes-padrão de radiação beta de <sup>90</sup>Sr+<sup>90</sup>Y (3,5 mGy), <sup>240</sup>Tl (1,8 mGy) e <sup>147</sup>Pm (8,5 mGy). As respostas termoluminescentes foram normalizadas para a resposta da radiação de <sup>90</sup>Sr+<sup>90</sup>Y. As medidas foram ainda normalizadas para uma mesma dose absorvida (3,5 mGy).

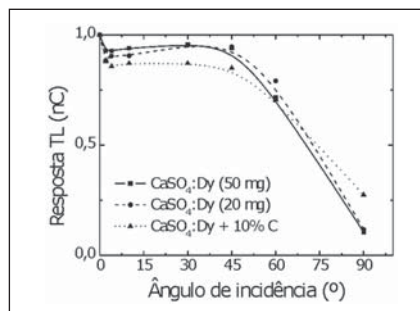
A Figura 1 mostra a dependência energética dos três detectores de CaSO<sub>4</sub>:Dy estudados. Os resultados são apresentados em termos da resposta termoluminescente por unidade de dose beta na superfície do objeto simulador, normalizados para a resposta termoluminescente por unidade de

**Figura 1.** Dependência energética das amostras de CaSO<sub>4</sub>:Dy + teflon para radiação beta.

dose no tecido relativo à radiação beta de <sup>90</sup>Sr+<sup>90</sup>Y.

As amostras de CaSO<sub>4</sub>:Dy + teflon (50 mg) e de CaSO<sub>4</sub>:Dy + teflon (20 mg) apresentaram praticamente a mesma dependência energética alta, enquanto as amostras de CaSO<sub>4</sub>:Dy + teflon + 10% C apresentaram dependência energética de 60% no intervalo de energia estudado. Os resultados são comparativos aos obtidos para CaSO<sub>4</sub>:Tm (60 μm) e CaSO<sub>4</sub>:Tm (70 μm) por Caldas<sup>(7)</sup>, e para LiF (0,9 mm), LiF (0,4 mm), MgB<sub>4</sub>O<sub>7</sub>:Dy e LiF (Vinten) por Christensen e Prokié<sup>(8)</sup>.

A dependência angular dos três tipos de dosímetros de CaSO<sub>4</sub>:Dy + teflon foi estudada para diferentes ângulos de incidência entre 0° e 90°, em campos de radiação beta de <sup>90</sup>Sr+<sup>90</sup>Y (3,5 mGy). A Figura 2 apresenta a resposta termoluminescente dos três

**Figura 2.** Dependência angular das pastilhas de CaSO<sub>4</sub>:Dy + teflon para radiação beta (<sup>90</sup>Sr + <sup>90</sup>Y).

tipos de detectores estudados em função do ângulo de incidência da radiação.

A resposta termoluminescente apresentou dependência angular acentuada a partir de 45° para todos os tipos de materiais estudados. Este é o comportamento esperado para a maioria dos dosímetros termoluminescentes. As pastilhas de CaSO<sub>4</sub>:Dy + 10% C se mostraram mais sensíveis que os outros dois materiais.

## CONCLUSÃO

Os resultados obtidos no estudo da dependência energética e angular para diferentes dosímetros termoluminescentes expostos à radiação beta enfatizam a importância de se utilizar detectores finos para determinação da dose beta na pele.

As pastilhas de CaSO<sub>4</sub>:Dy + 10% C apresentaram os melhores resultados de dependência energética e angular para utilização em monitoração beta.

## Agradecimentos

À Dra. L.L. Campos, pelo fornecimento das amostras termoluminescentes, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pelo suporte financeiro parcial.

## REFERÊNCIAS

- ICRP – International Commission on Radiological Protection. 2005 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. (In press).
- Francis TM, O'Hagan JB, Richards DJ, Driscoll CMH. Responses of thermoluminescent materials to beta radiation and low energy photons. Radiat Prot Dosim 1986;17:89–92.
- Berus D, Cobens P, Buls N, Van den Broeck M, Van Holsbeeck G, Vanhavere F. Extremity doses of workers in nuclear medicine: mapping hand doses in function of manipulation. Proceedings of 11th International Congress of the International Radiation Protection Association. Madrid, Spain, 23–28 May, 2004.
- Campos LL, Lima MF. Dosimetric properties of CaSO<sub>4</sub>:Dy teflon pellets produced at IPEN. Radiat Prot Dosim 1986;14:333–335.
- Campos LL, Lima MF. Thermoluminescent CaSO<sub>4</sub>:Dy teflon pellets for beta radiation detection. Radiat Prot Dosim 1987;18:95–97.
- Campos LL. Graphite mixed CaSO<sub>4</sub>:Dy TL dosimeters for beta radiation dosimetry. Radiat Prot Dosim 1993;48:205–207.
- Caldas LVE. Alguns métodos de calibração e de dosimetria da radiação beta. (Tese de Doutorado). São Paulo: Universidade de São Paulo, 1980.
- Christensen P, Prokié M. Energy and angular response of TL dosimeters for beta ray dosimetry. Radiat Prot Dosim 1986;17:83–87.