

Perfil de dose de feixes de elétrons obtidos com dosímetros termoluminescentes de $\text{CaSO}_4:\text{Ce},\text{Eu}$

Dose profile for electron beams obtained with $\text{CaSO}_4:\text{Ce},\text{Eu}$ thermoluminescent dosimeters

Maíra G. Nunes e Letícia L. C. Rodrigues

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

Resumo

Os dosímetros termoluminescentes (DTL) de sulfato de cálcio ativado com cério e európio ($\text{CaSO}_4:\text{Ce},\text{Eu}$), recentemente desenvolvidos pelo Laboratório de Materiais Dosimétricos (LMD) do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), assim como os DTL de sulfato de cálcio ativado com disprósio ($\text{CaSO}_4:\text{Dy}$) e de fluoreto de lítio ativado com magnésio e titânio ($\text{LiF}:\text{Mg},\text{Ti}$; TLD-100), já longamente empregados em dosimetria e considerados como padrões, foram utilizados para levantar o perfil de dose dos feixes de elétrons de energia de incidência mais provável de 3,43; 5,48; 8,27 e 11,67 MeV, gerados por um acelerador linear Clinac 2100-C (Varian) nas condições de referência definidas pelo código de práticas TRS-398. A dosimetria de rotina dos feixes, realizada com uma câmara de ionização calibrada contra um padrão secundário, assegura que os feixes de elétrons utilizados para as irradiações atendem aos requerimentos de planura e simetria do campo estabelecidas nesse código de práticas. Desse modo, a concordância das medições realizadas com os DTL com os requerimentos do código de práticas TRS-398, sugere que os três tipos de DTL estudados podem ser aplicados na dosimetria clínica de feixes de elétrons de energias altas.

Palavras-chave: termoluminescência, ativação de semicondutores, detectores de radiação, dosimetria das radiações ionizantes, dosimetria de feixes de elétrons, instrumentação.

Abstract

The calcium sulphate activated with cerium and europium ($\text{CaSO}_4:\text{Ce},\text{Eu}$) thermoluminescent dosimeters (TLD) recently developed at Nuclear and Energy Research Institute as well as the calcium sulphate activated with dysprosium ($\text{CaSO}_4:\text{Dy}$) and lithium fluoride activated with magnesium and titanium, ($\text{LiF}:\text{Mg},\text{Ti}$; TLD-100) TLDs, with long term applications in dosimetry and considered as standards, were used to obtain the dose profile for 3.43, 5.48, 8.27 and 11.67 MeV electron beams generated by a linear accelerator Clinac 2100-C (Varian) in the reference conditions defined by the TRS-398 code of practice. The routine dosimetry of the electron beams, performed with a calibrated ionization chamber, ensures that the electron beams fulfill the requirements of flatness and symmetry established in this code of practice. Thus, as the TRS-398 Code of Practice requirements are fulfilled by the measurements performed with the new TLD type, $\text{CaSO}_4:\text{Ce},\text{Eu}$ may be applied in clinical dosimetry of high energy electron beams.

Keywords: thermoluminescence, semiconductor activation, radiation detectors, dosimetry of ionizing radiation, dosimetry of electron beams, instrumentation.

Introdução

Os dosímetros termoluminescentes (DTL) vêm desempenhando papel importante para a dosimetria das radiações em aplicações na área médica, em particular para medidas utilizando simuladores antropomórficos e para a dosimetria *in vivo* de pacientes¹.

O fluoreto de lítio ativado com magnésio e titânio ($\text{LiF}:\text{Mg},\text{Ti}$; TLD-100) apresenta características muito compatíveis com as aplicações médicas, já possuindo longa

tradição neste tipo de aplicação e sendo empregado na maior parte das medidas realizadas em radioterapia².

Outro material TL, o sulfato de cálcio ativado com disprósio, ($\text{CaSO}_4:\text{Dy}$) é bastante utilizado em medidas de dose em radioproteção e, embora não tenha sido amplamente explorado em radioterapia, estudos anteriores indicam que esse DTL pode ser uma alternativa ao fluoreto de lítio³.

A aplicação crescente dos feixes de partículas carregadas na medicina fez com que surgissem modalidades

de radioterapia com as quais as características do TLD-100 e do $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ são menos compatíveis, levando à intensificação da pesquisa de novos materiais dosimétricos¹.

Pesquisas com cintiladores apontaram o európio bivalente (Eu^{2+}) e o cério trivalente (Ce^{3+}) como elementos capazes de introduzir no sulfato de cálcio propriedades interessantes para a dosimetria TL de partículas carregadas¹.

Esses ativadores foram utilizados para o crescimento de monocristais de sulfato de cálcio ativado empregados na fabricação de pastilhas, tendo o Teflon® como aglutinante, cujas sensibilidades à radiação gama do ^{60}Co concordam em 0,2%.

A aplicação de um material baseado no sulfato de cálcio (CaSO_4) em radioterapia seria de grande interesse para o Brasil, uma vez que o Laboratório de Materiais Dosimétricos do IPEN detém a tecnologia de ativação desse material e já produz e comercializa dosímetros de $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ com Teflon® a preços acessíveis.

Material e Métodos

A variação da rota da evaporação lenta proposta por Campos⁴ e utilizada no Laboratório de Materiais Dosimétricos do IPEN para o crescimento dos monocristais de $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$, foi adotada para o crescimento dos monocristais de $\text{CaSO}_4:\text{Ce},\text{Eu}$ com a substituição do óxido de disprósio pelos óxidos de cério e európio.

A obtenção das pastilhas, ou dosímetros, de $\text{CaSO}_4:\text{Ce},\text{Eu}$ de 6 mm de diâmetro utilizando o Teflon® como aglutinante, seguiu os procedimentos do LMD para a fabricação das pastilhas de $\text{CaSO}_4:\text{Dy}+\text{Teflon}$ ⁵.

As pastilhas foram selecionadas para que a variação máxima de suas sensibilidades à radiação gama do ^{60}Co fosse de 0,2%.

Os dosímetros de sulfato de cálcio foram posicionados na profundidade de dose máxima e demais condições de referência do código de práticas TRS-398⁶ a partir do centro do campo de radiação de elétrons, a cada 20 mm até a distância de 50 mm do limite do campo, a partir de onde foram dispostos, lado a lado, até 50 mm depois desse limite, sobre o eixo central e as diagonais, conforme a Figura 1.

O posicionamento dos TLD-100 foi feito de modo que seu centro coincidisse com a posição ocupada pelo centro dos dosímetros de sulfato de cálcio.

Feixes de elétrons de energia de incidência mais provável de 3,43; 5,48; 8,27 e 11,67 MeV, gerados por um acelerador linear Clinac 2100-C (Varian), foram utilizados para irradiar os DTL de um determinado tipo, a cada acionamento do feixe de elétrons, com a dose de 10 mGy. Para as medidas com a câmara de ionização, um acionamento do feixe de elétrons foi realizado em cada posição.

As leituras TL foram realizadas sempre entre 24 e 32 h após as irradiações, em uma leitora termoluminescente modelo 5500 (Harshaw), e esses valores foram utilizados diretamente para o cálculo do nível de dose em cada posição e para o levantamento do gráfico do nível de dose em função da posição do dosímetro.

Resultados

Os perfis de dose dos feixes de elétrons de energia de incidência mais provável de 3,43; 5,48; 8,27 e 11,67 MeV são apresentados, respectivamente, nas Figuras 2 a 5.

Embora todos os DTL apresentados confirmem que os feixes atendem aos requisitos do código de práticas TRS-398, é possível notar que a variação do nível de dose nas proximidades do limite do campo

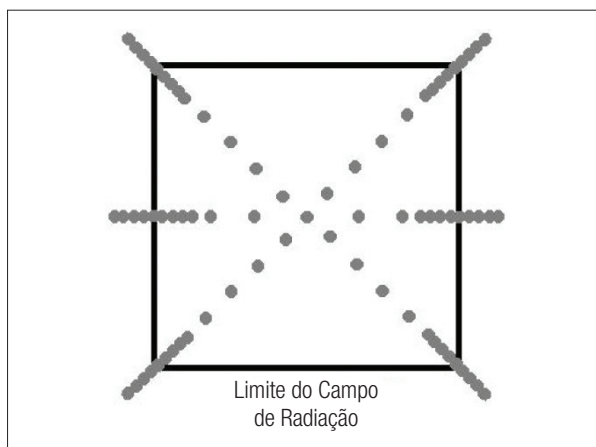


Figura 1. Diagrama esquemático do posicionamento dos dosímetros termoluminescentes no campo de radiação.

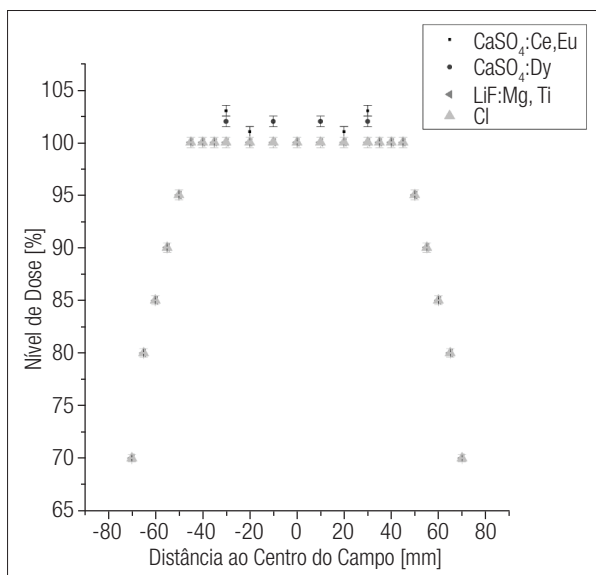


Figura 2. Perfil de dose do feixe de elétrons de 3,43 MeV.

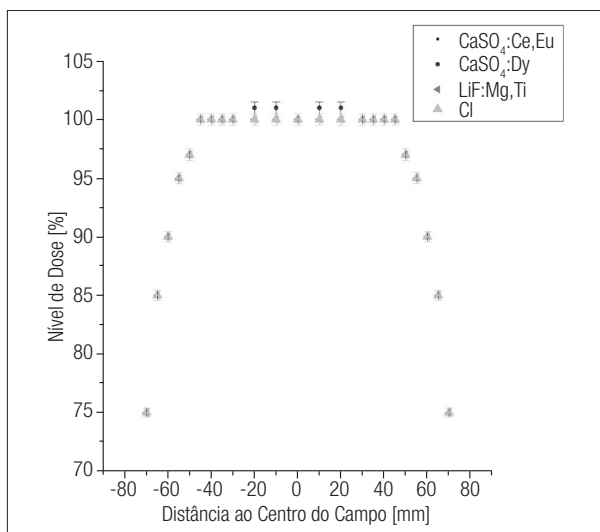


Figura 3. Perfil de dose do feixe de elétrons de 5,48 MeV.

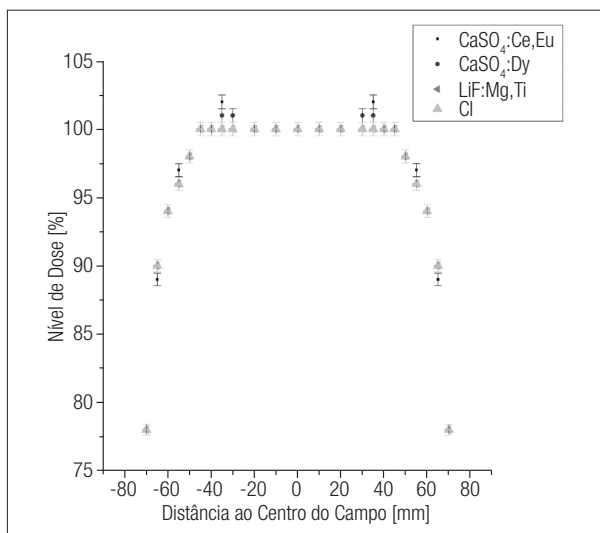


Figura 4. Perfil de dose do feixe de elétrons de 8,27 MeV.

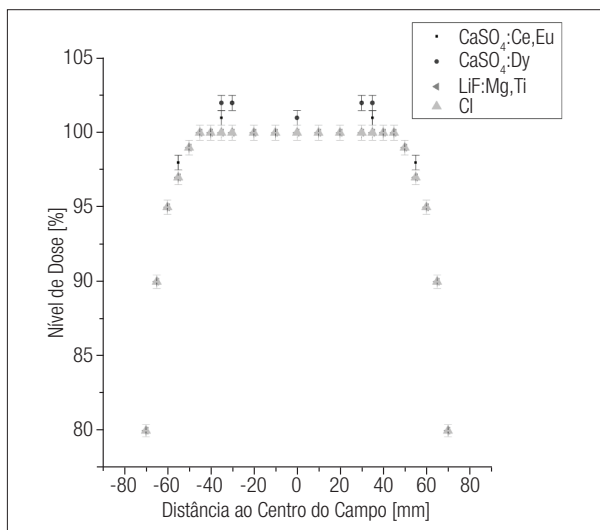


Figura 5. Perfil de dose do feixe de elétrons de 11,67 MeV.

é mais intensa para os feixes de elétrons de energia menor, para os quais é esperado que o efeito de borda seja mais intenso.

Não houve variações no nível de dose ao longo de ambas as diagonais para um mesmo campo, ou diferenças significativas com relação aos perfis de dose obtidos no eixo central.

Discussão e Conclusões

Os níveis de dose obtidos com os DTL de sulfato de cálcio ativado com cério e európio ($\text{CaSO}_4:\text{Ce},\text{Eu}$) variam em 3%, os obtidos com os DTL de sulfato de cálcio ativado com disprósio ($\text{CaSO}_4:\text{Dy}$) variam em 2%, e os níveis de dose obtidos com os DTL de $\text{LiF}:\text{Mg},\text{Ti}$ e a câmara de ionização variam em 1% nas posições do campo de radiação compreendidas entre os níveis de dose de 90%. Isso ocorre porque o $\text{CaSO}_4:\text{Ce},\text{Eu}$ é, em média, duas vezes mais sensível que o $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$, que por sua vez é, em média, 1,7 vezes mais sensível que o fluoreto de lítio ativado com magnésio e titânio ($\text{LiF}:\text{Mg},\text{Ti}$; TLD-100) aos feixes de radiação de elétrons estudados.

As variações apresentadas não superam os 5% para nenhum dos feixes em nenhuma das medições realizadas, de modo que os resultados obtidos com os dosímetros termoluminescentes são compatíveis com aqueles obtidos com a câmara de ionização, o dosímetro padrão para esse tipo de medição.

Em todos os casos, o nível de dose de 90% não dista mais de 10 mm do limite do campo no eixo principal, ou 20 mm desse limite nas diagonais. Também não foram observadas variações nos níveis de dose medidos à mesma distância do centro do campo, de modo que os requisitos de planura e simetria do feixe, estabelecidos pelo código de práticas TRS-398 e pelas medições realizadas com a câmara de ionização são confirmados pelas medições realizadas com os dosímetros termoluminescentes.

Esses resultados sugerem que os dosímetros termoluminescentes de sulfato de cálcio ativado com cério e európio, de sulfato de cálcio ativado com disprósio, ou de fluoreto de lítio ativado com magnésio e titânio podem ser utilizados na dosimetria de campos de radiação de elétrons de energias altas.

Agradecimentos

À equipe de física médica do Instituto de Radioterapia do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (InRad-HC-FMUSP), pela realização das irradiações com os feixes de elétrons.

Referências

1. Kortov V. Materials for thermoluminescence dosimetry: Current status and future trends. *Rad Meas.* 2007;42(4-5):576-81.
2. Habitzreuter AB. Implementação da irradiação de corpo inteiro em radioterapia [dissertação de mestrado]. São Paulo: Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo; 2010.
3. Nunes MG. Avaliação do desempenho dos detectores termoluminescentes de $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ e LiF:Mg,Ti na dosimetria de feixes clínicos de elétrons [dissertação de mestrado]. São Paulo: Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo; 2008.
4. Campos LL. Preparation of $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ TL single crystals. *J Lum.* 1983;28(4):481-3.
5. Campos LL, Lima MF. Dosimetric properties of $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ +Teflon pellets produced at IPEN. *Rad Prot Dosim.* 1986;14(4):333.
6. 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 (TRS-398). Vienna, 2000.