

PROPOSTA DE METODOLOGIA DE CALIBRAÇÃO DE DOSÍMETROS TERMOLUMINESCENTES DE SULFATO DE CÁLCIO¹

PROPOSAL OF METHODOLOGY FOR CALIBRATION THERMOLUMINESCENTS DOSIMETERS OF CALCIUM SULFATE

Bruna Garcia Pedrolo², Daniele Aimi³, Vagner Bolzan⁴, Ana Paula Schwarz⁵, Gilberto Orengo de Oliveira⁵ e Eduardo Blando⁵

RESUMO

A termoluminescência (TL) é a técnica mais comumente utilizada na dosimetria das radiações ionizantes. Baseia-se no fenômeno da emissão de luz termicamente estimulada, emitida por certos materiais cristalinos, sendo proporcional à quantidade de radiação a qual foram previamente expostos esses materiais. O objetivo no presente trabalho foi estabelecer uma proposta metodológica para a calibração dos dosímetros termoluminescentes (TLD) de $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ (sulfato de cálcio dopado com disprósio) fornecidos pelo laboratório de Dosimetria do Centro Universitário Franciscano - UNIFRA, para avaliar o potencial de calibração e reprodutibilidade destes TLD's. Para isto, foi realizado o tratamento térmico dos TLD's e a leitura de fundo, e após eles foram separados em grupos e irradiados com diferentes parâmetros, e finalmente leu-se a carga armazenada. Com essa, metodologia foi possível obter a resposta R de cada TLD, comparando-a com os valores de Kerma no ar para diferentes energias do feixe e, assim, tornar próprio o uso destes TLD's com segurança e confiabilidade que são fatores imprescindíveis para a sua utilização.

Palavras-chave: disprósio, radiação ionizante, Kerma no ar.

¹ Trabalho Final de Graduação - TFG.

² Acadêmica do Mestrado em Física - UFSM.

³ Aluna do Mestrado em Nanociências - UNIFRA.

⁴ Acadêmico do Curso em Física Médica - UNIFRA.

⁵ Professores do Curso de Física Médica - UNIFRA.

ABSTRACT

Thermoluminescence (TL) is the most commonly used technique for dosimetry. It is based on the thermal stimulated emission of light phenomenon emitted by certain crystalline materials. TL values are proportional to the amount of radiation received by a material. The aim of this study is to establish a methodology for calibration of dosimeters of CaSO₄: Dy (calcium sulphate doped with dysprosium) provided by the UNIFRA's Dosimetry laboratory in order to assess the calibration and reproducibility potential of TLD's. Several TLD's samples passed through heat treatment and its background reading was evaluated. The samples were separated into groups and treated with different parameters and their stored charges were assessed. The methodology adopted permitted to obtain the response R of each TLD and comparing it with the Kerma values in air for different beam energies, demonstrating to be useful for the safety and reliability of TLD's application.

Keywords: *dysprosium, ionizing radiation, Kerma in air.*

INTRODUÇÃO

A termoluminescência (TL) é uma técnica muito utilizada na dosimetria das radiações ionizantes. Ela baseia-se no fenômeno da emissão de luz termicamente estimulada, emitida por certos materiais cristalinos. Essa emissão de luz é proporcional a quantidade de radiação à qual foram previamente expostos esses materiais. O fenômeno TL é explicado quantitativamente utilizando-se o conceito de bandas em relação aos níveis eletrônicos de energia nos sólidos. Em alguns materiais, a radiação incidente transfere energia aos elétrons, os quais passam do estado fundamental (banda de valência) ao excitado, e quando retornam para o estado fundamental eles emitem luz, fato denominado fluorescência.

O fenômeno TL já é conhecido há bastante tempo. Foi observado pela primeira vez em 1663, por Robert Boyle, quando percebeu que um diamante emitia luz quando aquecido. Para fim dosimétrico, só foi aceito por volta de 1940. Entre os pioneiros da dosimetria termoluminescente, os mais importantes foram Daniels e Cameron com suas pesquisas sobre o uso do fluoreto de lítio em dosimetria (SCHARMANN, 1981). Os dosímetros termoluminescentes (TLD, do inglês *Thermoluminescent Dosemeter*) podem ser aplicados em campos da dosimetria ambiental, monitoria pessoal e indústria (ICRP, 1982).

A dosimetria termoluminescente é amplamente utilizada para medir dose em pessoas expostas a qualquer tipo de radiação ionizante. As maiores vantagens dos TLD's para dosimetria são: o tamanho pequeno dos detectores, sua característica única de medida e o fato dos materiais TL se constituírem basicamente de um único material, assim a leitura do TLD é independente da distribuição angular da radiação. Outro ponto importante é que o material utilizado no dosímetro seja de boa qualidade e que esteja dentro dos parâmetros aceitáveis das normas vigentes (VIEGAS, 2003). O uso de dosímetros é importante para o controle de dose que o trabalho de serviços que envolvam radiações ionizantes. Assim, neste, trabalho objetivou-se elaborar uma metodologia de calibração de dosímetros termoluminescentes de $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ para uso no laboratório de Dosimetria do Centro Universitário Franciscano - UNIFRA.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

DOSÍMETROS TL

Os dosímetros TL são como quaisquer dispositivos que sejam capazes de fornecer uma leitura (medida da dose absorvida) depositada em seu volume sensível pela radiação ionizante. São denominados dosímetros TL os dispositivos que compreendem um ou mais detectores TL, uma quantidade de filtros e uma embalagem protetora.

FENÔMENO DA TERMOLUMINESCÊNCIA

A termoluminescência é o processo em que certos materiais cristalinos, quando expostos à radiação ionizante, possuem a propriedade física de emitirem luz quando submetidos a um aquecimento térmico (CAMPOS, 1998). Essa emissão de luz é proporcional à quantidade de radiação à qual foram previamente expostos esses materiais.

O PROCESSO TERMOLUMINESCENTE

O fenômeno da termoluminescência é explicado teoricamente utilizando-se o conceito de bandas em relação aos níveis eletrônicos de energia nos sólidos.

Quando um cristal termoluminescente é exposto à radiação ionizante, os elétrons da banda de valência podem absorver energia em quantidade suficiente para migrarem para a banda de condução, deixando um buraco na banda de valência. Os elétrons e os buracos movem-se através do cristal e isto pode possibilitar uma recombinação entre eles, ou uma captura deles nos estados metaestáveis de energia, denominadas armadilhas, que se localizam na banda proibida. Quando o cristal é aquecido, os elétrons armadilhados absorvem energia, e então, migram para a banda de valência. Se as armadilhas dos elétrons forem mais rasas que a dos buracos, os elétrons escapam antes dos buracos e vão para a banda de condução. Nessa condição, eles podem movimentar-se pelo cristal até recombinarem-se com os buracos armadilhados, emitindo um fóton TL. Se as armadilhas de buracos forem mais rasas, estes escapam antes dos elétrons e vão para a banda de valência. Nessa banda, eles podem movimentar-se pelo cristal e recombinarem-se com os elétrons armadilhados, emitindo também um fóton TL (MORAES, 1999).

O SISTEMA DE LEITURA TLD

O aparelho usado para aquecer o detector TLD e medir a luz termoluminescente emitida é chamado leitor termoluminescente. Esse aparelho, disponível comercialmente, é constituído basicamente de um dispositivo para aquecer o detector e uma fotomultiplicadora para captar a luz emitida e amplificar o sinal relativo.

A GRANDEZA DOSIMÉTRICA KERMA

O Kerma (“**k**inetic energy released *per* unit of **m**ass”) (ICRU, 1980) é definido em termos da energia transferida (ϵ_{tr}). Esta grandeza é relevante somente para campos de radiação indiretamente ionizante ou para qualquer fonte de radiação ionizante distribuída dentro de um meio absorvedor. Dessa forma, tem-se que:

$$K = d\epsilon_{tr}/dm, \quad (1)$$

em que K é o valor esperado da energia transferida por unidade de massa durante um intervalo de tempo. A unidade de Kerma é usualmente em gray (Gy).

METODOLOGIA

O trabalho foi realizado em cinco etapas distintas, junto ao laboratório de Dosimetria e Controle de Qualidade de Raios X Diagnóstico da UNIFRA. Foram utilizadas pastilhas termoluminescentes de sulfato de cálcio dopadas com disprósio ($\text{CaSO}_4:\text{Dy}$).

A primeira etapa consistiu na realização do tratamento térmico das pastilhas termoluminescentes com a finalidade de devolver ao dosímetro as condições existentes antes da sua primeira exposição à radiação ionizante, ou seja, remover o sinal residual. Para a realização do tratamento térmico, foi utilizado um forno do fabricante Inova e uma estufa do fabricante Odontobrás. O tratamento térmico se deu por 1 hora a uma temperatura de 300°C no forno e por 2 horas a uma temperatura de 100°C na estufa. Na figura 1, mostram-se os equipamentos utilizados no tratamento térmico.

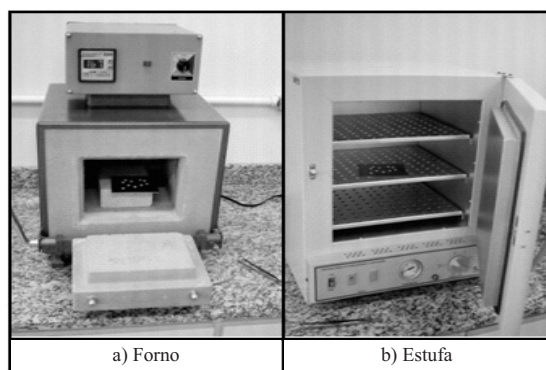


Figura 1 – Equipamentos utilizados no tratamento térmico das pastilhas termoluminescentes: forno e estufa.

Depois do tratamento térmico, foi realizada a leitura de fundo de cada pastilha TL (leitura sem irradiar as pastilhas) em uma leitora TLD do fabricante Harshaw Nuclear Systems, Modelo 3000 A. Na figura 3, pode ser visto o equipamento da segunda etapa, que é a leitura de fundo das pastilhas TL.

Após a leitura da dose zero de cada pastilha TL, elas foram separadas em grupos, e cada grupo foi irradiado com diferentes doses, levando em consideração o seu correto posicionamento junto ao centro do feixe primário do tubo de Raios X, com um campo de irradiação de $15\text{ cm} \times 15\text{ cm}$ e distância foco/pastilha de 60 cm . Foram obtidas 3 leituras de Kerma no ar para cada valor de tensão e produto corrente-tempo (mAs) selecionados com o uso de uma câmara de ionização do

tipo dedal (Radcal 9015-6cc). Para a irradiação das pastilhas TL, foi utilizado um Aparelho de Raios X da Intecal Modelo CR 125 – 500 mA. Na figura 2, tem-se o posicionamento e a disposição das pastilhas TL para a realização da terceira etapa.

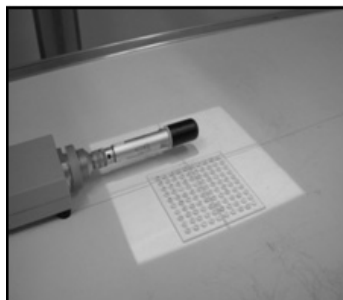


Figura 2 - Irradiação das pastilhas TL.

Na sequência, logo após a irradiação de cada grupo de pastilhas de $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ procedeu-se à leitura da carga armazenada na Leitora TLD. Para a leitura das pastilhas não foi necessário submetê-las a aquecimento pós-irradiação tendo em vista que a leitora termoluminescente realiza este processo. Na figura 3 tem-se o procedimento de leitura das pastilhas TL, a quarta etapa.



Figura 3 - Equipamento utilizado na leitura das pastilhas de $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$.

Após ser feita a leitura da carga armazenada nos TLD's, avaliou-se os mesmos, em que foi determinado um fator de normalização do sistema TL, conforme apresentado na equação (2), tal fator f_n , converte a leitura líquida dos TLD's (em μC) para o valor de referência de Kerma no ar (em mGy), isto é:

$$f_n = \frac{L_{Kerma}}{(L_{média} - L_{BG(média)})(\mu\text{C})}, \quad (2)$$

em que L_{Kerma} é a média das leituras de Kerma no ar para as diferentes técnicas radiográficas; $L_{média}$ é a média das leituras dos TLD's irradiados; e $L_{BG(média)}$ é a média das leituras de fundo dos TLD's.

Com o fator de normalização obtido para cada grupo de TLD's, foi adquirida a resposta R (em mGy) dos mesmos, a partir da equação

$$R = (L - L_{BG}) \cdot f_n, \quad (3)$$

na qual L é a leitura média dos TLD's utilizados; L_{BG} é a média das leituras de fundo dos TLD's; e f_n é o fator de normalização (mGy/ μ C).

Depois do processo de irradiação e posterior leitura, as pastilhas termoluminescentes passaram por novo tratamento térmico e leitura de fundo para que fossem reutilizadas. Nessa última etapa, foi criado um protocolo para calibração de pastilhas de $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$, servindo como referência para trabalhos futuros.

Após o tratamento térmico e posterior leitura de fundo das pastilhas TL, foram realizadas diversas exposições das mesmas, considerando as diferentes energias de pico (kVp's) e cargas transportáveis (mAs) do feixe de Raios X, sendo estas sempre dispostas na mesma posição de irradiação. No total, 7 (sete) diferentes combinações de técnicas radiográficas foram utilizadas para a obtenção das medidas.

A técnica de calibração usada dependeu da forma do dosímetro e da exatidão exigida. O número máximo de TLD's em um lote foi limitado pela estabilidade da calibração e a necessidade de assegurar que o lote todo fosse submetido a um ciclo de aquecimento idêntico. A reprodutibilidade pode ser estimada devido às repetidas medidas para as quais o desvio padrão pode ser calculado.

RESULTADOS

Na tabela 1, são apresentados os parâmetros de técnicas radiográficas selecionados e os diferentes resultados encontrados para as quantificações das doses absorvidas.

Tabela 1 - Parâmetros técnicos utilizados e leituras de Kerma no ar.

Técnica radiográfica	Leitura de kerma no ar (mGy)	Média das leituras de kerma no ar (mGy) e desvio padrão
80 kV e 40 mAs	9,634	9,884±0,3543
	9,949	
	10,070	
80 kV e 80 mAs	20,130	20,240±0,1556
	20,280	
	20,310	
80kV e 150 mAs	38,240	38,327±0,1322
	38,320	
	38,420	
80 kV e 200 mAs	51,430	51,543±0,1648
	51,540	
	51,660	
40 kV e 200 mAs	5,781	5,778±0,0042
	5,778	
	5,775	
80 kV e 200 mAs	36,440	36,477±0,0516
	36,480	
	36,510	
105 kV e 200 mAs	56,840	56,760±0,1131
	56,720	
	56,720	

Para cada técnica radiográfica, foram realizadas três exposições a fim de se adquirir valores de Kerma no ar muito próximos, para assim, obter respostas mais reprodutíveis. Estes resultados serão utilizados para obter os fatores de normalização e a resposta R, e estão em acordo com os valores obtidos para Kerma no ar a partir da câmara de ionização.

A partir da leitura da carga armazenada nos TLD's, construiu-se a tabela 2, na qual são obtidas as médias dos valores adquiridos para cada pastilha TL e seus respectivos grupos, de acordo com a técnica radiográfica selecionada.

Tabela 2 - Média das leituras TL para as diferentes técnicas radiográficas.

Técnica radiográfica	Número da pastilha T1	Média das leituras por pastilha (μC)	Média das leituras por grupo de pastilhas (μC)	Média das Leituras de pico de aquecimento da placa ($^{\circ}\text{C}$)
80 kV e 40 mAs (GRUPO 1)	01	1,084 \pm 0,269	1,165 \pm 0,104	378,20 \pm 5,29
	02	1,155 \pm 0,388		
	03	1,248 \pm 0,110		
	04	1,171 \pm 0,133		
	05	2,325 \pm 0,706		
80 kV e 80 mAs (GRUPO 2)	06	2,306 \pm 0,303	2,297 \pm 0,157	360,63 \pm 4,33
	07	2,395 \pm 0,572		
	08	2,160 \pm 0,643		
80 Kv e 150 mAs (GRUPO 3)	09	3,876 \pm 1,709	4,006 \pm 0,341	351,88 \pm 0,958
	10	4,249 \pm 0,710		
	11	4,058 \pm 1,102		
	12	3,840 \pm 0,356		
	13	5,324 \pm 0,355		
80 kV e 200 mAs (GRUPO 4)	14	5,396 \pm 1,568	4,943 \pm 1,155	381,77 \pm 5,42
	15	5,710 \pm 1,599		
	16	5,342 \pm 0,465		
40 kV e 200 mAs (GRUPO 5)	17	0,549 \pm 0,094	0,617 \pm 0,106	362,85 \pm 2,73
	18	0,651 \pm 0,055		
	19	0,593 \pm 0,076		
	20	0,675 \pm 0,120		
	21	3,740 \pm 0,615		
80 kV e 200 mAs (GRUPO 6)	22	3,509 \pm 0,657	3,849 \pm 0,518	354,45 \pm 1,13
	23	4,280 \pm 0,448		
	24	3,867 \pm 0,749		
105 kV e 200 mAs (GRUPO 7)	25	5,134 \pm 1,146	5,235 \pm 0,491	355,21 \pm 3,85
	26	5,528 \pm 0,718		
	27	5,323 \pm 0,777		
	28	4,956 \pm 1,056		

Observou-se que os valores das leituras obtidos por pastilha foram muito próximos, o que resulta em uma boa resposta das pastilhas TL. As temperaturas obtidas para cada grupo garantem a reprodutibilidade do sistema de aquecimento da placa de leitura das pastilhas termoluminescentes.

Com os dados obtidos nas tabelas 1 e 2, foram encontrados os fatores de normalização e a resposta R para cada técnica radiográfica selecionada, como é mostrado na tabela 3.

Tabela 3 - Fator de normalização e resposta R dos TLD's para cada técnica radiográfica.

Técnica radiográfica	Média das leituras por grupo de pastilhas (μC)	Média das leituras de kerma no ar (mGy)	Fator de normalização (f_n) (mGy/ μC)	Resposta R (mGy)
80 kV e 40 mAs (GRUPO 1)	1,165 \pm 0,104	9,884 \pm 0,354	8,487	9,884
80 kV e 80 mAs (GRUPO 2)	2,297 \pm 0,157	20,240 \pm 0,156	8,813	20,240
80 kV e 150 mAs (GRUPO 3)	4,006 \pm 0,341	38,330 \pm 0,134	9,569	38,330
80 kV e 200 mAs (GRUPO 4)	4,943 \pm 1,155	51,543 \pm 0,165	10,428	51,542
40 kV e 200 mAs (GRUPO 5)	0,617 \pm 0,106	5,778 \pm 0,004	9,370	5,778
80 kV e 200 mAs (GRUPO 6)	3,849 \pm 0,518	36,477 \pm 0,052	9,478	36,476
105 kV e 200 mAs (GRUPO 7)	5,235 \pm 0,491	56,760 \pm 0,113	10,843	56,759

Com base nos resultados da tabela 3, observam-se que os valores encontrados para a resposta R foram iguais ou muito próximos àqueles obtidos para as leituras de Kerma no ar, o que comprova a eficiência da metodologia proposta no presente trabalho.

Com base nos resultados obtidos neste trabalho, foi possível elaborar um protocolo para calibração de dosímetros termoluminescentes de sulfato de cálcio, o qual poderá ser utilizado como fonte de referência para novos trabalhos que venham a ser desenvolvidos utilizando a metodologia de calibração dos TLD's.

CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos para os diferentes valores de dose e posterior efetivação da calibração dos TLD's, foi possível certificar alguns parâmetros importantes no processo de dosimetria termoluminescente: a resposta linear, para um intervalo de doses; sensibilidade e reprodutibilidade mesmo para doses pequenas; e resposta estável, mesmo sob condições climáticas desfavoráveis. Observou-se que os valores de Kerma no ar, obtidos com a câmara de ionização, e a resposta *R* foram iguais ou muito próximos para cada grupo de pastilhas TL. Assim, pode-se certificar que os TLD's são apropriados para a utilização em procedimentos que envolvam a dosimetria das radiações ionizantes, tornando seu uso com segurança e confiabilidade que são fatores imprescindíveis para sua utilização no laboratório de Dosimetria da UNIFRA.

Conclui-se, portanto, que a proposta metodológica para calibração dos TLD's é válida, tem baixo custo para ser desenvolvida e seu processo é muito simples.

REFERÊNCIAS

CAMPOS, L.L. **Termoluminescência de materiais e sua aplicação em dosimetria da radiação**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), 1998.

ICRP, International Commission On Radiological Protection. **General principles of monitoring for Radiation Protection of Workers**. Oxford, Pergamon Press, 1982 (ICRP publications 35).

ICRU, International Commission on Radiation Units and Measurements. **Radiation Quantities and Units**. Washington, EE.UU., 1980 (ICRU Report 33).

MORAES, C. V. **Avaliação da resposta de dose de um dosímetro individual Multi-Filtro para radiações X e gama**. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto – Departamento de Física e Matemática, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 1999.

SCHARMANN, A. "History". In: (Org.) OBERHOFER, M.; SCHARMANN, A. **Applied Thermoluminescence Dosimetry Lectures of course held at Ispra**. Italy. Bristol, England, Adom Hilger, 1981.

VIEGAS, C. C. B. **Dosimetria *in Vivo* com o uso de detectores semicondutores e termoluminescentes aplicada ao tratamento de câncer de cabeça e pescoço**. Dissertação de Mestrado submetida à Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, 2003.