

**PROTOCOLO PARA REPRODUTIBILIDADE
E CONSTÂNCIA DO SISTEMA DE LEITURA
TERMOLUMINESCENTE DO LABORATÓRIO DE
DOSIMETRIA DA UNIFRA¹**

*PROTOCOL FOR REPRODUCIBILITY AND CONSTANCY IN
THE THERMOLUMINESCENT READING SYSTEM OF THE
DOSIMETRY LABORATORY AT UNIFRA*

**Daniele Aimi², Bruna Garcia Pedrolo², Vagner Bolzan², Ana Paula
Schwarz³ e Gilberto Orengo de Oliveira³**

RESUMO

A termoluminescência (TL) é conhecida como o fenômeno da emissão de luz termicamente estimulada, emitida por certos materiais cristalinos. Essa emissão de luz é proporcional à quantidade de radiação à qual foram previamente expostos esses materiais. O objetivo, neste trabalho, foi criar um protocolo a fim de verificar a reprodutibilidade e a constância da leitora de dosimetria termoluminescente do laboratório de Controle de Qualidade e Dosimetria do Centro Universitário Franciscano - UNIFRA para promover-se uma metodologia padrão para o processo de leituras termoluminescentes. Foram utilizadas pastilhas de Sulfato de Cálcio - CaSO_4 . Primeiramente, foi realizada a quantificação das doses de radiação através de uma câmara de ionização do tipo dedal para diferentes técnicas radiográficas, depois foram irradiadas as pastilhas termoluminescentes para diferentes energias com objetivo de fornecer dados para a calibração da leitora. Após a realização das leituras das pastilhas, foi realizada a comparação dos dados obtidos com os valores encontrados para a dose absorvida utilizando-se câmara de ionização. A análise dos resultados das medidas indica que em todas as combinações propostas para o feixe de Raios X, na série de leituras das pastilhas de sulfato de cálcio, apresentaram reprodutibilidade aceitáveis, ou seja, com o menor desvio padrão dentro de 12%.

Palavras-chave: termoluminescência, sulfato de cálcio, radiação.

¹ Trabalho de Iniciação Científica - UNIFRA.

² Acadêmicos do Curso de Física Médica - UNIFRA.

³ Orientadores - UNIFRA.

ABSTRACT

Thermoluminescence (TL) is the phenomenon of thermally stimulated light emission, which is emitted by certain crystalline materials. This light emission is proportional to the amount of radiation which these materials have previously been exposed to. The aim of this study was to create a protocol to verify the reproducibility and constancy of the thermoluminescent dosimetry reader at the laboratory of Quality Control and Dosimetry of the Franciscan University, UNIFRA, in order to promote a standard methodology for the process of thermoluminescence reading. Some tablets of Calcium Sulfate - CaSO₄ were used. First, it was performed a quantification of the radiation doses through an ionization chamber of the finger type to different levels of energy so that data could be gathered for the setting of the reader. After the reading of the tablets, it was compared the data obtained with the values found with the values found with the absorbed dose using the ionization chamber. The results of the measurements indicate that in all combinations proposed for the X-ray beam in a series of readings of calcium sulfate tablets showed acceptable reproducibility, ie the lowest standard deviation within 12%.

Keywords: *thermoluminescence, calcium sulfate, radiation.*

INTRODUÇÃO

As aplicações pacíficas das radiações ionizantes envolvem atividades de radioesterilização, radioterapia, radiodiagnóstico, medicina nuclear, geração de energia (reatores de potência), reatores de pesquisa, etc. A preocupação com a segurança radiológica (radioproteção) dos indivíduos ocupacionalmente expostos tem aumentado. Nestas atividades, há o risco dos trabalhadores receberem quantidade de radiação além dos limites adequados, o que leva à procura por métodos de detecção cada vez melhores, capazes de mensurar com maior precisão, exatidão e confiabilidade, além de facilidade. Para esta segurança existem procedimentos e formas de monitoramento que avaliam a dose recebida, como: monitoração de área, monitoração ambiental, monitoração de corpo inteiro, dosimetria citogenética e monitoração individual externa (ICRP, 1982; ICRP, 1997). Todo indivíduo que trabalhe ou utilize material e equipamento radioativo deve ser monitorado individualmente (CNEN, 2005) e esta deve ser uma atividade simples e de baixo custo, sem lhe causar nenhum transtorno na sua ocupação.

A dosimetria TL é realizada por instrumentos denominados dosímetros pessoais, monitores pessoais, dosímetros TL ou TLD's (*Thermoluminescence Dosimeter*) que são utilizados sobre o tórax do trabalhador e medem a radiação de forma passiva, ou seja, a medição ocorre após o seu uso, normalmente depois de um mês. A avaliação do material termoluminescente do TLD é realizada por instrumentos, chamados *leitores termoluminescentes*, constituídos basicamente de duas partes: um sistema aquecedor com controle preciso das taxas de aquecimento e um sistema de detecção da luz emitida pelo material termoluminescente. Ambas as partes são controladas de maneira eletrônica. A luz emitida é detectada por um tubo fotomultiplicador ou por um fotodiodo, dependendo do modelo, que produz sinais elétricos (correntes) que são coletados por outros dispositivos. Estas correntes são integradas no tempo e geram a resposta final, em unidades de carga elétrica. A associação desta carga com a dose gera a *curva de calibração* do processo. Através da intensidade da luz emitida em função do tempo de aquecimento obtém-se a *curva de emissão* gerada pelo material termoluminescente dos TLD's, que é uma característica importante para estudos mais detalhados da estrutura eletrônica do fósforo. Uma curva de emissão típica é apresentada na figura 1.

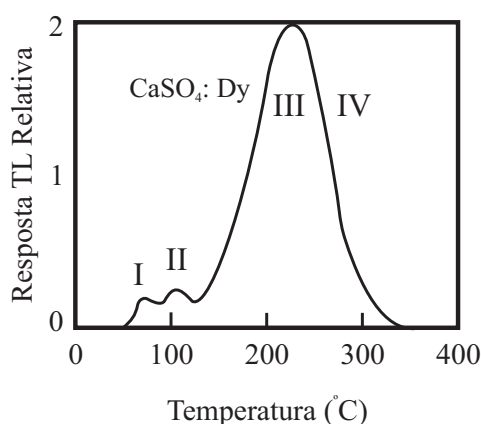


Figura 1 - Curva de emissão do $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ submetido à irradiação de 1 mGy de ^{137}Cs . A taxa de aquecimento foi de 1°C/s . A dosimetria utiliza os picos III e IV.

Os picos I e II, de 80°C e 110°C , desvanecem rapidamente e por isso não são utilizados (OBERHOFER; SCHARMANN, 1979).

Para a dosimetria e, particularmente, para os sistemas de monitoração individual, utiliza-se normalmente a integral (área sob a curva) da função matemática que se ajusta à curva de emissão (Figura 1), desde uma temperatura inicial T_i até uma final T_f , de forma que o principal pico esteja compreendido

entre ambas. Esta integral, que basicamente é a integral da corrente elétrica gerada pela fotomultiplicadora entre dois instantes (tempos) da “rampa de aquecimento”, tem como grandeza física a “carga elétrica”. Assim, a “carga” gerada no leitor TL é linearmente proporcional à dose individual, num gráfico da resposta TL (na ordenada) contra o valor verdadeiro convencional da dose (na abscissa) e o seu “coeficiente angular” é o inverso do “fator de calibração” do lote de detectores.

A dose individual a que um detector foi submetido é obtida multiplicando-se a carga lida no leitor TL pelo fator de calibração. Algumas correções extras podem ser necessárias, como o “fator de desvanecimento”, a subtração de radiação espúria, não desejada, e a correção quanto à dependência energética.

A resposta TL é consequência direta da interação da radiação ionizante incidente com o material fósforo. Particularmente, esta resposta TL é proporcional ao coeficiente de absorção da energia do fóton. Embora diversas possibilidades de mecanismo de interações da radiação ionizante com a matéria sejam conhecidos (KNOLL, 1989), três tipos apresentam os principais papéis na medição da radiação: o efeito fotoelétrico, o espalhamento Compton e a produção de pares. Todos estes efeitos levam a uma transferência parcial ou completa da energia do fóton para o material. Cada um destes efeitos apresenta-se mais ou menos predominante sobre os demais, dependendo principalmente do número atômico efetivo do material e da energia do fóton da radiação incidente, como ilustrado na figura 2. Materiais com maior número atômico efetivo (Z_{ef}) apresentam o efeito fotoelétrico tornando-se mais pronunciado para energias de fótons abaixo de 100 keV.

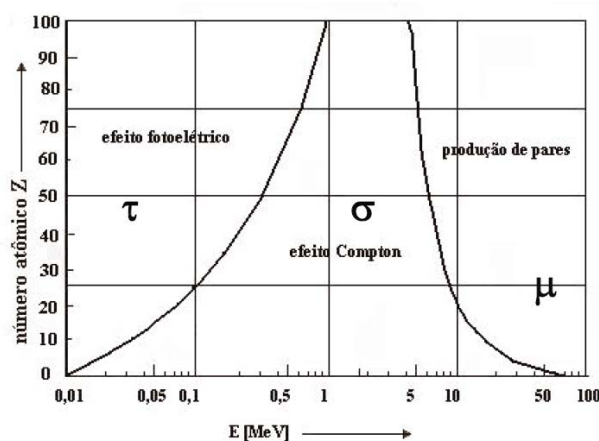


Figura 2 - Efeitos predominantes na interação da radiação ionizante de fótons com o material de número atômico efetivo representado no eixo das ordenadas. As curvas indicam os pontos para os quais as probabilidades dos processos são iguais (EVANS, 1955).

Materiais com números atômicos menores, da ordem de 7, são mais interessantes para a detecção em radioproteção por estarem próximos aos dos tecidos biológicos. Uma aproximação empírica para o coeficiente de absorção, τ , da energia na interação é proporcional à razão entre o número atômico do material e a energia da radiação E_γ , dada pela equação 1 (KNOLL, 1989):

$$\tau \cong \text{constante} \times \frac{Z^n}{E_\gamma^{3,5}}, \quad (1)$$

em que, n varia entre 4 e 5, Z é o número atômico efetivo do material e E_γ é a energia da radiação gama. A constante dependerá do sistema de unidades adotado.

Assim, como a resposta, TL é proporcional à absorção da energia do fóton, a resposta TL de um cristal apresentará também a proporção dada pelo lado direito da equação (1). Todos os fósforos apresentam esta dependência energética, em maior ou menor grau. Na figura 3, são ilustrados alguns materiais termoluminescente com sua variação de resposta TL com a energia do fóton.

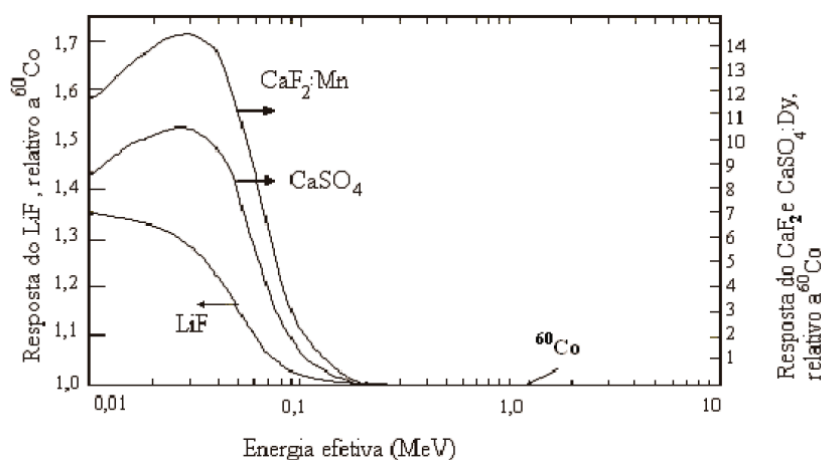


Figura 3 - Variação da resposta termoluminescente para irradiação com diferentes energias de fótons. Note a diferença de escala para o LiF comparado com CaSO₄:Dy e CaF₂:Mn (OBERHOFER; SCHARMANN, 1979).

Deve-se considerar que é desejável que o fósforo tenha uma interação com a radiação semelhante àquela que ocorreria no tecido biológico, sobre o qual se deseja avaliar os *efeitos biológicos* da radiação. Os tecidos biológicos

apresentam, em média, Z_{ef} próximo de 7. Esta é uma das razões da “popularidade” do LiF, fósforo mais utilizado mundialmente, com Z_{ef} igual a 8,31 u.m.a. e, além disso, menor dependência energética.

É indispensável o conhecimento das propriedades da resposta TL dos dosímetros pessoais e do material termoluminescente para utilizá-lo com fins dosimétricos. O sulfato de cálcio dopado com disprósio, $CaSO_4:Dy$, tem propriedades interessantes quando comparado com outros fósforos, como o baixo desvanecimento, que é de 7% em três meses (CAMPOS, 1987) e para um período de 30 dias (utilizado na monitoração pessoal) o desvanecimento é de apenas 3%. Também sua sensibilidade é elevada (CAMPOS; LIMA, 1996), que o beneficia em aplicações de medições de baixas doses, como em dosimetria ambiental.

Mas assim como todos os materiais termoluminescentes, este também tem suas desvantagens. Uma destas é a sua forte *dependência energética*, ou seja, aplicando-se duas mesmas doses de radiação de fótons em detectores diferentes do mesmo lote, estes apresentarão respostas TL diferentes, se a energia dos fótons que as compuseram não forem as mesmas. Esta dependência é causada pelo alto número atômico efetivo do material termoluminescente ($Z \cong 15,6$ u). Esta dependência energética deve ser corrigida para a sua aplicação em monitoração individual, pois a calibração é feita com uma única energia de irradiação, normalmente a energia média dos fótons emitidos pelo isótopo 60 do cobalto (^{60}Co), e o TLD deve ser capaz de mensurar a dose de qualquer energia de irradiação no intervalo normativo.

O objetivo, no presente trabalho, foi avaliar a reprodutibilidade e constância da leitora de dosimetria termoluminescente do Laboratório de Dosimetria e Controle de Qualidade de Raios X Diagnóstico do Centro Universitário Franciscano - UNIFRA para promover-se de uma metodologia padrão para o processo de leituras termoluminescentes na faixa de energia da radiologia diagnóstica (de 20 a 125 kV).

METODOLOGIA

O presente trabalho foi realizado em quatro etapas distintas, junto ao Laboratório de Dosimetria e Controle de Qualidade de Raios X Diagnóstico da UNIFRA. A primeira etapa consistiu na implantação do programa de controle de qualidade junto ao equipamento de Raios X para certificação do seu correto desempenho.

A segunda etapa consistiu em realizar o 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 efetivação deste trabalho, foram utilizadas pastilhas termoluminescentes de sulfato de cálcio dopadas com disprósio ($\text{CaSO}_4:\text{Dy}$).

Após a leitura da dose zero de cada detector, os 100 detectores foram separados em 5 grupos e cada grupo foi irradiado com diferentes doses, proporcionais às técnicas radiográficas utilizadas clinicamente, levando em consideração o seu correto posicionamento junto ao centro do feixe primário do tubo de Raios X. Posteriormente, foram obtidos os valores de Kerma no ar, através do uso de uma câmara de ionização do tipo dedal (Radcal 9015-6cc), para obtenção de dados comparativos.

Para a leitura das pastilhas não foi necessário submetê-las a aquecimento pós-irradiação devido a leitora termoluminescente (Harshaw) já realizar este processo, contudo, procedeu-se à leitura da carga armazenada.

O material TL foi reutilizado para novas medidas por meio de um tratamento térmico pré-irradiação, onde visou-se restabelecer as propriedades termoluminescentes que possuíam antes de serem expostas à radiação. O tratamento térmico dos detectores foi realizado seguindo os padrões utilizados em pastilhas de CaSO_4 . Na figura 4, estão ilustrados os procedimentos realizados.

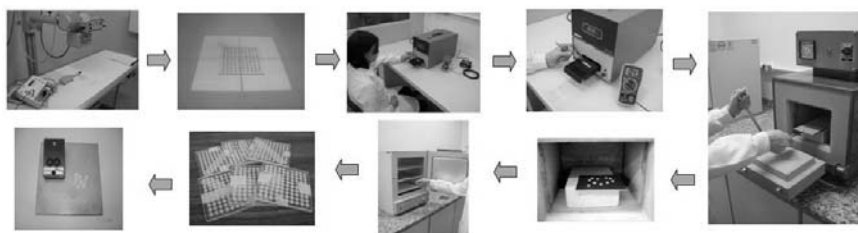


Figura 4 - Ilustração do processo de leitura e tratamento térmico das pastilhas termoluminescentes de Sulfato de Cálcio.

Por fim, a calibração da leitora foi realizada utilizando-se da relação entre a grandeza medida, normalmente a dose absorvida e a leitura fornecida pela leitora de dosímetros termoluminescentes, essa relação foi expressa através do fator de calibração.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram realizadas diversas exposições das pastilhas termoluminescentes 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. O número máximo de dosímetros em um lote foi limitado pela estabilidade da calibração da leitora 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.

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

Tabela 1 - Leituras de carga referentes a resposta dos dosímetros para as diferentes técnicas radiográficas selecionadas nos ensaios experimentais.

Técnica radiográfica	Média das temperaturas de aquecimento da placa de leitura TL (°C)	Médias das leituras com câmara de ionização (mGy)	Média das leituras e incerteza (nC)	Desvio padrão (TLD) (%)
80 KVp e 40mAs (F.F.)	268,68	7,267	583,48 ± 12,44	± 9,53
80 KVp e 80 mAs (F.F.)	268,97	14,60	1.028,36 ± 23,87	± 10,38
80 KVp e 160 mAs (F.F.)	269,81	28,06	2.103,20 ± 57,66	± 9,18
80 KVp e 200mAs (F.F.)	267,70	36,44	3.117,45 ± 63,09	± 9,05
40 KVp e 200mAs (F.G.)	273,55	4,302	319,47 ± 8,79	± 12,31
80 KVp e 200mAs (F.G.)	269,22	25,97	2.763,30 ± 55,30	± 8,94
105 KVp e 200mAs (F.G.)	265,16	39,55	3.940,65 ± 100,11	± 11,36

Legenda: F.F. significa Foco Fino; e F.G., Foco Grosso.

Para a análise dos resultados apresentados na tabela 1, foram calculadas as incertezas e o desvio padrão para cada série de medidas. Observa-se que para todas as combinações propostas para o feixe de Raios X, as séries de leituras das pastilhas de sulfato de cálcio apresentaram reprodutibilidades aceitáveis, ou seja, menor desvio padrão (dentro de 12%).

Com relação aos resultados apresentados para o aquecimento da placa de leitura termoluminescente, pôde-se confirmar que esta se mantém em uma temperatura praticamente constante durante todos os processos de leitura.

Na figura 5, apresenta-se a distribuição da dose total (em mAs) em função da reposta das pastilhas TLD para as técnicas radiográficas selecionadas.

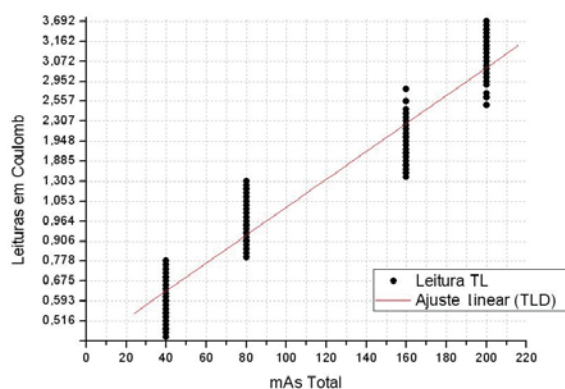


Figura 5 - Resposta termoluminescente para as leituras de carga (nC) em função do mAs total (dose) para as pastilhas de sulfato de cálcio.

Observa-se a partir da figura 5 que tanto a calibração da leitora TL como a sensibilidade das pastilhas termoluminescentes selecionadas ($\text{CaSO}_4:\text{Dy}$) foram capazes de respeitar a linearidade esperada para o aumento do mAs.

CONCLUSÕES

Por meio dos resultados obtidos para os diferentes valores de dose e posterior efetivação da calibração da leitora foi possível certificar alguns parâmetros importantes no processo de dosimetria termoluminescente: resposta linear para um intervalo de doses; sensibilidade e reprodutibilidade mesmo para doses pequenas; resposta estável, mesmo sob condições climáticas desfavoráveis.

O trabalho foi extremamente importante no entendimento e compreensão de cada etapa necessária para caracterizar um lote de dosímetros, estabelecendo assim um fator de calibração para a leitora, bem como a conformidade de sua reprodutibilidade. Isto possibilitará a sua utilização com segurança e confiabilidade que são fatores imprescindíveis para a sua utilização quer seja para avaliação de dose em trabalhadores quer seja em pacientes submetidos a exames radiológicos.

REFERÊNCIAS

CAMPOS, L. L. Pastilhas dosimétricas de $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ + Teflon para detecção da radiação X, beta e gama. **Publicação IPEN-120**, v. 120, p. 1-10, 1987.

CAMPOS, L. L.; LIMA, M. F. Dosimetric properties of $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ + teflon pellets produced at IPEN. **Radiation Protection Dosimetry**, v. 14, n. 4, p. 333-335, 1996.

CNEN–COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Diretrizes básicas de radioproteção**. Rio de Janeiro: CNEN, 2005. (CNEN 3.01).

EVANS, R. D. **The Atomic Nucleus**. New Delhi: Tata McGraw Hill Publishing Company Ltd., 1955.

ICRP–INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION PROTECTION. **General principles of monitoring for radiation protection of workers**. Oxford: Pergamon Press, 1982. (ICRP publications 35).

ICRP–INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION PROTECTION. **General principles for the radiation protection of workers**. Oxford: Pergamon Press, 1997. (ICRP publications 75).

KNOLL, G. F. **Radiation detection and measurement**. 2. ed. Michigan: John Wiley & Sons, 1989.

OBERHOFER M.; SCHARMANN. A. **Applied thermoluminescence dosimetry**. Published for the Commission of the European Communities. Adam Hilger, Italy, 1979.