

## Determinação da reprodutibilidade, limite inferior de detecção e desvanecimento dos dosímetros termoluminescentes LiF:Mg,Ti e LiF:Mg,Cu,P

## Determination of reproducibility, lower limit of detection and fading of LiF:Mg,Ti and LiF:Mg,Cu,P thermoluminescent dosimeters

### RESUMO

**Kahuan Nathan Giostri Melo**  
[kmelo@alunos.utfpr.edu.br](mailto:kmelo@alunos.utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná,  
Curitiba, Paraná, Brasil.

**Danielle Filipov**  
[dfilipov@utfpr.edu.br](mailto:dfilipov@utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná,  
Curitiba, Paraná, Brasil.

Neste trabalho foram determinadas as propriedades de reprodutibilidade, limite inferior de detecção e desvanecimento dos tipos de dosímetros termoluminescentes de LiF:Mg,Ti (MTS) e LiF:Mg,Cu,P (MCP). Todo procedimento foi realizado no departamento de física da UTFPR. Os detectores MTS e MCP foram tratados respectivamente, a 400°C por 60 minutos e 240°C por 10 minutos. Nos testes de reprodutibilidade e desvanecimento, os TLDs foram irradiados com uma técnica de 80 kVp e 20 mAs. No teste de limite inferior de detecção os TLDs foram lidos imediatamente após o tratamento térmico. O coeficiente de variação apresentado foi de aproximadamente 0,07 para os dois tipos estudados. Os limites inferiores de detecção apresentaram valores de 4000  $\mu\text{Gy}$  para o MTS e de 282  $\mu\text{Gy}$  para o MCP. No teste de desvanecimento, ambos TLDs apresentaram um desvanecimento de aproximadamente 40% do sinal em 90 dias de armazenamento. Sendo assim, os dois tipos de TLDs estudados estão dentro do limite aceitável de reprodutibilidade porém, os valores dos limites inferiores de detecção e o desvanecimento do sinal apresentaram resultados acima do esperado, possivelmente devido ao seu longo tempo de uso.

**PALAVRAS-CHAVE:** Radiação. Dosimetria. Termoluminescência.

### ABSTRACT

IN THIS STUDY WERE DETERMINED THE REPRODUCIBILITY, LOWER LIMIT OF DETECTION AND FADING PROPERTIES OF THE THERMOLUMINESCENT LiF:Mg,Ti (MTS) AND LiF:Mg,Cu,P (MCP) DOSIMETER TYPES. ALL PROCEDURES WERE PERFORMED AT THE UTFPR PHYSICS DEPARTMENT. THE MTS AND MCP DETECTORS WERE TREATED RESPECTIVELY AT 400 ° C FOR 60 MINUTES AND 240 ° C FOR 10 MINUTES. IN THE REPRODUCIBILITY AND FADING TESTS, THE TLDS WERE IRRADIATED WITH AN 80 KVP AND 20 MAS TECHNIQUE. IN THE LOWER LIMIT DETECTION TEST, TLDS WERE READ IMMEDIATELY AFTER HEAT TREATMENT. THE COEFFICIENT OF VARIATION PRESENTED WAS APPROXIMATELY 0.07 FOR BOTH TYPES STUDIED. THE LOWER LIMITS OF DETECTION PRESENTED VALUES OF 4000 MGY FOR MTS AND 282 MGY FOR MCP. IN THE FADING TEST, BOTH MTS AND MCP SHOWED APPROXIMATELY 40% SIGNAL FADING WITHIN 90 DAYS OF STORAGE. THUS, BOTH TYPES OF TLDS STUDIED ARE WITHIN THE ACCEPTABLE REPRODUCIBILITY LIMIT, HOWEVER, THE LOWER DETECTION LIMIT VALUES AND SIGNAL FADING SHOWED HIGHER THAN EXPECTED RESULTS, POSSIBLY DUE TO THEIR LONG USAGE TIME.

**KEYWORDS:** Radiation. Dosimetry. Thermoluminescence.

**Recebido:** 19 ago. 2019.

**Aprovado:** 01 out. 2019.

**Direito autorial:** Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



## INTRODUÇÃO

Entre os tipos de dosímetros mais utilizados, estão os dosímetros termoluminescentes (TLDs – *thermoluminescent dosimeters*), (GIESZCZYK, W. *et al.*, 2013). Os mesmos são formados de cerâmica e capazes de armazenar a energia depositada pela radiação em seus átomos e que, após um aquecimento a uma temperatura específica, irá emitir esta energia na forma de luz visível. A quantidade de luz emitida pelo material será proporcional a quantidade de dose absorvida (OBERHOFER, M.; SCHARMANN, A., 1993).

O tipo mais comum de TLD é o constituído de Fluoreto de Lítio (OBERHOFER, M.; SCHARMANN, A., 1993) empregado pela primeira vez na dosimetria por Daniels e seus colaboradores em 1953, realizando medidas de dose em experimentos com bombas atômicas (DANIELS *et al.*, 1953). Após a publicação de seu êxito nestas medidas, muitos estudos surgiram caracterizando suas propriedades dosimétricas.

Os TLDs de Fluoreto de Lítio (LiF) variam conforme sua composição química. Os dois tipos mais comuns são: LiF:Mg,Ti e o LiF:Mg,Cu,P, conhecidos comercialmente como MTS e MCP, respectivamente. Estes são amplamente utilizados na dosimetria médica por apresentarem alta sensibilidade a radiação e composição equivalente ao tecido humano, permitindo o cálculo da dose *in vivo* (GIESZCZYK, W. *et al.* 2013).

Para a utilização correta deste material é necessário que características como: exatidão e reprodutibilidade das medidas, limites inferiores e superiores de detecção, perda de sinal espontâneo em função do tempo e temperatura ambiente (desvanecimento) e entre outras, sejam estipuladas antes de utilizá-los na prática (OBERHOFER, M.; SCHARMANN, A. 1993).

Estudos realizados por Pereira (2014), Fernández (2016) e Freire (2010), apresentaram valores de reprodutibilidade de 2,01 a 6,38% para o MTS e de 1,65 a 8,88% para o MCP.

Para o limite inferior de detecção, os autores Fernández (2016) e Freire (2010) estabeleceram os valores de: 160 e 90  $\mu\text{Gy}$  para o MTS e de 70 e 12  $\mu\text{Gy}$  para o MCP, respectivamente.

Com relação ao desvanecimento, novamente os autores Fernández (2016) e Freire (2010), compararam a perda espontânea de sinal dos dois tipos de TLDs, obtendo os seguintes resultados, na devida ordem: para o tipo MTS 15% em 30 dias e 7% em 60 dias; para o tipo MCP de 8,8% em 30 dias e 1,1% em 60 dias.

O objetivo desta pesquisa é determinar a reprodutibilidade, o limite inferior de detecção e o desvanecimento dos dois tipos de TLDs apresentados.

## MATERIAL E MÉTODOS

Neste estudo foram avaliados 60 dosímetros termoluminescentes de dois tipos, 30 LiF:Mg,Ti (MTS) e 30 LiF:Mg,Cu,P (MCP), ambos da marca RadPro International GmbH (Wermelskirchen, Alemanha). Os dois dosímetros possuem formato de *chip* com dimensões de 4,5 mm de diâmetro e 0,9 mm de espessura. Para a realização do tratamento térmico foi utilizado um forno da marca EDG (São

Paulo, Brasil) modelo 3000 10P Inox, onde os detectores MTS e MCP foram tratados, na devida ordem: por 60 minutos a 400 °C e 10 minutos a 240 °C, em uma taxa de aquecimento de 10 °C/minuto para ambos. Para realização da leitura da curva de emissão, foi utilizada a leitora Laboratory Reader-Analyser RA'04, da mesma marca dos dosímetros. As leituras corresponderam às seguintes áreas das curvas: de 100° C a 300 °C para o tipo MTS e de 100° C a 250 °C para o MCP (GIESZCZYK, W. *et al.* 2013).

Os detectores foram separados da seguinte forma: um grupo de 20 detectores, sendo 10 do tipo MTS e 10 MCP, que foram utilizados para realização dos testes de LID e de Reprodutibilidade. Um grupo de 40 detectores, sendo 20 MTS e 20 MCP, que foram empregados para a análise do Desvanecimento.

Todos os testes foram realizados à luz e temperatura ambiente e a manipulação dos detectores foi realizada com a utilização de uma pinça. Antes de cada teste foi realizado o tratamento térmico, como descrito anteriormente.

Os procedimentos a seguir foram realizados igualmente para os dois tipos de dosímetros.

Nos testes de Reprodutibilidade e Desvanecimento, os dosímetros foram irradiados por um tubo de Raios X RAY TEC modelo US 30/50 (São Paulo, Brasil), com uma técnica de 80 kVp e 20 mAs a uma distância de 1 metro da fonte, posicionados em torno do raio central (Pereira, 2014).

Para o teste de Limite Inferior de Detecção, os 10 detectores foram lidos logo após o tratamento térmico e foi calculada a média das leituras ( $\bar{L}_0$ ) e o desvio padrão ( $\sigma_{L_0}$ ) entre elas. Para análise dos dados foi utilizada a equação (1) (Fernández, 2016) apresentada a seguir:

$$LID = (\bar{L}_0 + 3\sigma_{L_0}) \cdot f_{cal} \quad (1)$$

onde  $f_{cal}$  é o fator de calibração, sendo de 0,138 para o MCP e 1,083 para o MTS.

Este procedimento foi repetido por três vezes consecutivas e calculada a média dos resultados.

Para o teste de Reprodutibilidade, o grupo foi separado em oito detectores irradiados e dois para controle da radiação de fundo (BG - *background*). Foi feita a correção das leituras subtraindo-se o valor da leitura do grupo BG pelo valor apresentado pelo grupo irradiado. Após a correção, foi calculada a média das medidas ( $\bar{A}_j$ ) e o desvio padrão ( $S_j$ ). A análise da Reprodutibilidade foi realizada com base na equação (2) (Fernández, 2016) apresentada a seguir:

$$\frac{(S_j + I_j)}{\bar{A}_j} \leq 0,075 \quad (2)$$

onde  $I_j$  é a meia largura do intervalo de confiança, obtido através da equação (3):

$$I_j(n) = t_n \sqrt{\frac{0,5}{n-1}} \cdot s \quad (3)$$

onde  $n$  é o número de medidas ( $n = 8$ ) e  $t_n$  é o valor T-Student para  $n$  medições ( $t_n = 1,895$ ).

O teste foi realizado por seis vezes consecutivas e calculada a média dos coeficientes de variação.

Para o teste de Desvanecimento, os 20 detectores foram separados em duplas e empacotados em material radiolúcido. Os pacotes foram separados em pares, sendo um deles irradiado e o outro para controle BG. Os pares foram numerados de 1 a 5 e mantidos, até o momento da leitura, em temperatura ambiente e proteção da luz (Freire, 2010). A leitura foi feita de acordo com a tabela (1) a seguir:

Tabela 1 – Relação entre os pacotes e os dias após a exposição.

Pacotes	Dias
1 + BG 1	0
2 + BG 2	15
3 + BG 3	45
4 + BG 4	75
5 + BG 5	90

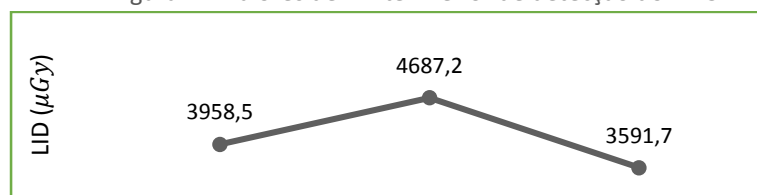
Fonte: Autoria própria (2019).

### RESULTADOS E DISCUSSÕES

No teste de reprodutibilidade, os resultados foram analisados segundo a equação (2) e ambos os dosímetros foram aprovados, apresentando coeficientes de variação de 0,071 para o MTS e 0,07 para o MCP. Os dados corroboram com os autores Fernández (2016), Freire (2010) e Pereira (2014), onde os coeficientes de variação apresentados pelos estudos variam de 0,016 a 0,088, no geral, com melhores resultados para o tipo MCP.

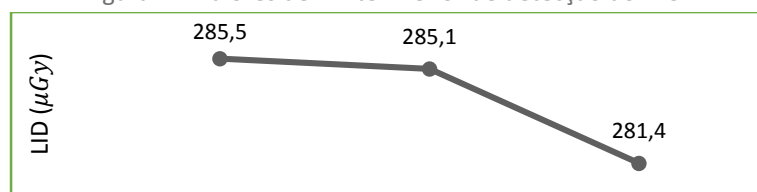
Através da equação (1) foi possível analisar os dados obtidos no teste de limite inferior de detecção e determinar os valores de: 4079,1  $\mu Gy$  para o MTS e de 282,7  $\mu Gy$  para o MCP. Limites mínimos superiores aos demonstrados pelos estudos de Fernández (2016) e Freire (2010), onde os resultados obtidos foram inferiores a 160  $\mu Gy$  para o MTS e 70  $\mu Gy$  para o MCP. As figura (1) e (2) a seguir, exibem os valores obtidos no três testes realizados com os TLDs MTS e MCP, respectivamente.

Figura 1 – Valores de limite inferior de detecção do MTS



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 2 – Valores de limite inferior de detecção do MCP



Fonte: Autoria própria (2019).

O desvanecimento dos dois tipos de TLDs apresentaram valores acima do encontrado na literatura, chegando a um desvanecimento de 42,6% do sinal em 90 dias no caso do MTS e o MCP com 51,3% em 75 dias. Os valores obtidos no teste estão apresentados na tabela (2), relacionando a porcentagem de desvanecimento com os dias de armazenamento.

Tabela 2 – Comparação da porcentagem de desvanecimento dos TLDs MTS e MCP.

Pacotes	Dias	MTS (%)	MCP (%)
2	15	26,3	14,4
3	45	47	40,8
4	75	35,1	51,3
5	90	42,6	30

Fonte: Autoria própria (2019).

Interessante observar a relação entre a perda de sinal do detector irradiado e o ganho de sinal do detector usado como controle da radiação de fundo (BG). Onde fica evitente uma maior sensibilidade a radiação de fundo do TLD MCP em relação ao MTS. As leituras obtidas no teste estão apresentadas na tabela (3), a seguir:

Tabela 3 – Relação entre os detectores irradiados e não-irradiados.

Pacotes	Dias	MTS		MCP	
		Irradiado	Controle BG	Irradiado	Controle BG
1	0	3210	1750,7	10580,7	1076,7
2	15	2898,5	1822,7	9841,2	1707,8
3	45	2225,5	1452,8	8127,5	2500,3
4	75	2215,7	1268,8	7948	3322
5	90	2592,5	1754,5	10280	3625

Fonte: Autoria própria (2019).

## CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo determinar as seguintes características dos TLDs do tipo LiF:Mg,Ti e LiF:Mg,Cu,P: reprodutibilidade das medidas, limites inferiores de detecção e desvanecimento do sinal armazenado. No teste de reprodutibilidade ambos os dosímetros apresentaram coeficiente de variação dentro do limite estipulado pela equação (2). Os dois tipos de TLDs estudados, apresentaram limites inferiores acima dos apresentados pelos autores Fernández (2016) e Freire (2010), demonstrando não serem confiáveis em medidas de baixa dose. No teste de desvanecimento, ambos TLDs apresentaram uma perda de sinal de aproximadamente 40% ao longo de 90 dias, revelando necessidade de leitura imediata ao utilizar estes detectores em futuras pesquisas. O aumento do sinal dos TLDs utilizados para controle BG, demonstraram maior sensibilidade a radiação de fundo do tipo MCP em relação ao MTS. Segundo Oberhofer, M.; Scharmann, A. (1993), o tempo de uso destes detectores pode ter influenciado no resultado dos testes de limite inferior de detecção e desvanecimento.

## REFERÊNCIAS

- DANIELS, F. *et al.* Thermoluminescence as a Research Tool. **Science**, v. 117, Issue 3040, p. 343-349, 1953. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17756578>. Acesso em: 12 mai. 2019.
- FERNÁNDEZ, S. D. S., *et al.* Thermoluminescent Characteristics of LiF:Mg,Cu,P and CaSO<sub>4</sub>:Dy for Low Dose Measurement. **Applied Radiation and Isotopes**, v. 111, p. 50-55, 2016. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26922395>. Acesso em: 15 fev. 2019.
- FREIRE, L. C. *et al.* Evaluation of the Performance of Two LiF:Mg,Ti and LiF:Mg,Cu,P Dosemeters for Extremity Monitoring. **Radiation Protection Dosimetry**, v. 144, n. 1-4, p. 140-143, 2010. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21081520>. Acesso em: 15 fev. 2019.
- GIESZCZYK, W. *et al.* Evaluation of the Relative Thermoluminescence Efficiency of LiF:Mg,Ti and LiF:Mg,Cu,P TL Detectors to low-energy heavy ions. **Radiation Measurements**, n. 51-52, p. 7-12, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1350448713001133?via%3Dihub>. Acesso em 16 fev. 2019.
- OBERHOFER, M.; SCHARMANN, A. **Techniques and Management of Personnel Thermoluminescence Dosimetry Services**. Eurocourses: Health Physics and Radiation Protection, v. 2, 1993.
- PEREIRA, M. S., FILIPOV, D., *et al.* Comparação das Características dos Dosímetros Termoluminescentes LiF:Mg,Ti e LiF:Mg,Cu,P. **1º Congresso Brasileiro de Metrologia das Radiações Ionizantes**, Rio de Janeiro, Brasil, 2014. Disponível em: <https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/Public/46/040/46040680.pdf>. Acesso em: 16 fev. 2019.