

Limites Característicos de dois sistemas dosimétricos utilizados em monitoração individual

L. S. Meireles ^{1,2}, P. M. C. Oliveira ², L. C. Meira-Belo ¹, M. A. S. Lacerda ¹

¹ Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN/CNEN); ² Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

E-mail: masl@cdtn.br

Resumo: Os limites característicos: Limiar de Decisão (y^*), Limite de detecção ($y^\#$) e Limites do Intervalo de Confiança (y^\triangleleft e y^\triangleright) foram determinados para dois sistemas dosimétricos com TLD-100 utilizados em monitoração individual. Baseado nesses limites, é realizada uma discussão sobre a aplicação do sistema dosimétrico em práticas que envolvem exposições a baixas doses de radiação.

Palavras-chave: TLD-100, monitoração individual, Limite de Detecção.

Abstract: The characteristic limits: Decision Threshold (y^*), Detection Limit ($y^\#$) and Limits of the Confidence Interval (y^\triangleleft and y^\triangleright), were determined for two TLD-100 dosimetric systems, used for individual monitoring. We perform a critical analysis of the suitability of utilizing a dosimetric system for low dose range applications, based on these characteristic values.

Keywords: TLD-100, individual monitoring, Detection Limit.

1. INTRODUÇÃO

Dosímetros termoluminescentes (TLDs) são largamente empregados em práticas que envolvem exposições a baixas doses de radiação. Nesse caso, é essencial determinar o Limite de Detecção ($y^\#$) do sistema dosimétrico.

Piesch & Burgkhardt (1984) definem a mínima dose detectável como três vezes o desvio padrão (s_0) de dosímetros não irradiados. A IEC (1991) define $y^\#$ como o valor mínimo avaliado para o qual a leitura do dosímetro é significativamente diferente (em um intervalo de confiança de 95%) da leitura de um dosímetro não irradiado. Neste caso, $y^\#$ é dado pelo desvio padrão da média dos dosímetros não irradiados (\bar{s}_0) multiplicado pelo

fator “t-Student” (bicaudal) para “n-1” graus de liberdade. Uma norma mais recente (ISO, 2010) define $y^\#$ e dois outros limites característicos: Limiar de Decisão (y^*) e Limites do Intervalo de Confiança (y^\triangleleft e y^\triangleright).

O Limiar de Decisão (y^*) é o valor do estimador do mensurando, que, quando excedido pelo resultado de uma medida real, usando um procedimento de medida que quantifica um dado efeito físico, pode-se concluir que o efeito físico esteja presente. Portanto, se o resultado de uma medida, y , excede o Limiar de Decisão, y^* , a probabilidade do valor verdadeiro do mensurando ser zero (ou a probabilidade de se ter um falso positivo), é menor ou igual a uma dada probabilidade α . Se o valor for menor que y^* , o

resultado da medida, y , não pode ser atribuída ao efeito físico, mas, também, não pode se concluir que o mesmo esteja ausente. O Limiar de Decisão (y^*) pode ser calculado de acordo com a equação 1 (ISO, 2010):

$$y^* = k_{1-\alpha} \cdot \tilde{u}(0) \quad (01)$$

onde, $\tilde{u}(0)$ é a incerteza padrão do valor verdadeiro do mensurando se o efeito físico não está presente ($\tilde{y}=0$) e $k_{1-\alpha}$ para $\alpha = 0,05$ é 1,65.

O Limite de Detecção ($y^\#$) é o menor valor verdadeiro do mensurando que pode ser detectado utilizando um dado procedimento de medida e, para o qual, se garante que a probabilidade de se assumir erradamente que o efeito físico não esteja presente (ou a probabilidade de se ter um falso negativo) é igual a um valor especificado, β . Ele pode ser calculado utilizando a equação 2 (ISO, 2010):

$$y^\# = y^* + k_{1-\beta} \cdot \tilde{u}(y^\#) \quad (02)$$

onde, $k_{1-\beta}$ para $\beta=0,05$ é 1,65.

Os Limites do Intervalo de Confiança (y^\triangleleft e y^\triangleright), como definidos pela ISO (2010), contém o valor verdadeiro do mensurando com uma probabilidade específica “1- γ ”. A equação 3 pode ser utilizada para estimar esses limites:

$$\begin{aligned} y^\triangleleft &= y - k_{1-\gamma/2} \cdot u(y) \\ y^\triangleright &= y + k_{1-\gamma/2} \cdot u(y) \end{aligned} \quad (03)$$

onde, y e $u(y)$ são, respectivamente, o resultado de uma medida primária do mensurando e a incerteza padrão correspondente. Adotando-se o valor de 0,05 para γ , $k_{1-\gamma/2}=1,96$.

Neste trabalho, os limites característicos (y^* , $y^\#$, y^\triangleleft e y^\triangleright) foram calculados para dois sistemas dosimétricos com detectores de LiF:Mg,Ti (TLD-100), usados na monitoração individual.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

As medidas foram realizadas utilizando dois sistemas dosimétricos: (a) detectores TLD-100 da Harshaw / Bicron com a leitora Harshaw 5500 e; (b) detectores MTS-100 com a leitora RE-2000 da Mirion Technologies (RADOS). Os TLDs foram tratados e lidos seguindo recomendações dos manuais dos fabricantes.

Foram usados grupos de 10 TLDs para cada sistema dosimétrico. Para o primeiro grupo, as leituras foram realizadas logo após o tratamento térmico. O valor médio (\bar{L}_0), desvio padrão (s_0) e desvio padrão da média (\bar{s}_0) foram calculados. Outros grupos de 10 dosímetros, do mesmo lote, foram expostos a radiação de fundo (background) por diferentes intervalos de tempo “ τ ” (30, 60, 90 e 120 dias) e lidos logo em seguida. Novamente, o valor médio (\bar{L}_B), desvio padrão (s_B), e desvio padrão da média (\bar{s}_B) foram calculados para os dosímetros expostos a diferentes intervalos de tempo. As leituras líquidas, correspondentes à radiação de fundo (BG), para cada intervalo de tempo ($L_L(\tau)$) foram calculados utilizando a seguinte equação:

$$L_L(\tau) = \bar{L}_B(\tau) - \bar{L}_0 \quad (04)$$

Os limites característicos foram calculados utilizando as equações 1 a 3. As incertezas padrões $\tilde{u}(0)$, $\tilde{u}(y^\#)$ e $u(y)$ foram calculadas a partir da soma quadrática dos seguintes componentes: (a) tipo A: desvio padrão da média dos grupos de 10 detectores lidos imediatamente após o tratamento térmico; (b) tipo B: incertezas no coeficiente de calibração e sensibilidade da leitora. Para $u(y)$ a incerteza padrão na estimativa da radiação de fundo, também foi considerada, para levar em conta as variações temporais do BG.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foi feito um gráfico de “ \bar{L}_B ” versus “ τ ” para cada sistema dosimétrico e os pontos foram ajustados através de uma interpolação linear ($L_{Bfit} = L_{0fit} + l_{Bfit} \cdot \tau$), onde “ l_{Bfit} ” corresponde à taxa de kerma no ar devida ao BG (assumida constante). A tabela 1 mostra os valores dos parâmetros dos ajustes lineares e os respectivos coeficientes de determinação “ R^2 ”. A tabela 2 mostra uma comparação dos Limites Característicos (y^* e $y^\#$) calculados para os dois sistemas dosimétricos, utilizando três diferentes metodologias. A tabela 3 mostra, para os dois sistemas, as leituras líquidas para cada intervalo de tempo ($L_L(\tau)$) com a respectiva incerteza padrão $u(y)$ e os limites dos intervalos de confiança.

A tabela 1 mostra que os dados se ajustaram bem ao modelo linear. A taxa média do kerma no ar devida ao BG (l_{Bfit}) para o sistema RADOS foi bem próxima daquela esperada para a cidade de Belo Horizonte, onde as medidas foram realizadas. O valor ajustado “ L_{0fit} ” para o sistema Harshaw foi mais de duas vezes superior ao encontrado para o sistema RADOS e maior que o BG esperado em um mês, que é aproximadamente 63 μGy (ou 2,11 $\mu\text{Gy}/\text{dia}$). A taxa de kerma no ar devida ao BG é próxima do l_{Bfit} encontrado para o sistema RADOS (< 2%) e Harshaw (< 15%).

A tabela 2 mostra que $y^\#$, calculado de acordo com a metodologia proposta pela IEC (1991), é da mesma ordem dos valores y^* , calculados como proposto pela ISO (2010). Ao mesmo tempo, $y^\#$, calculado de acordo com a metodologia proposta por Piesh & Burgkhardt (1984) é maior que o calculado utilizando as outras duas metodologias. É importante mencionar que a maioria das publicações e manuais adota a metodologia proposta pela IEC

(1991) para calcular $y^\#$ e, apenas utilizando esta metodologia, foi possível encontrar, para o sistema RADOS, valor de acordo com o especificado no manual ($y^\# < 10 \mu\text{Gy}$).

Tabela 1. Parâmetros do ajuste linear

($L_{Bfit} = L_{0fit} + l_{Bfit} \cdot \tau$) para os dois sistemas.

	Fit Parameters		
	L_{0fit} (μGy)	l_{Bfit} ($\mu\text{Gy}/\text{day}$)	R^2
Mirion /RADOS	39.30	2.14	0.99
Harshaw /Bicron	87.48	2.41	0.96

Tabela 2. Limites Característicos para os dois sistemas dosimétricos e três diferentes metodologias.

Characteristic Limits (μGy)	Mirion/ RADOS	Harshaw /Bicron
ISO(2010)		
y^*	7,4	15,6
$y^\#$	12,0	53,3
Piesch and Burgkhardt (1984)		
$y^\#$	24,0	66,5
IEC(1991)		
$y^\#$	5,7	15,9

A tabela 3 mostra que o sistema Harshaw/Bicron superestimou o BG esperado em até 75%. Já, para o sistema RADOS, a variação máxima foi menor que 13%. Os limites superiores dos intervalos de confiança, para os dois sistemas dosimétricos, foram menores que os níveis de registro adotados pela CNEN (0,2 mSv/mês). Uma diminuição desse nível é somente possível com a utilização de um sistema dosimétrico mais sensível. Neste caso, o uso dos limites superiores dos intervalos de confiança pode ajudar a identificar os trabalhadores expostos a níveis intermediários de radiação (entre 1,0 e 2,4 mSv/ano), que possam ser atribuídos à prática.

4. CONCLUSÃO

Os limites característicos: Limiar de Decisão (y^*), Limite de detecção ($y^\#$) e Limites do Intervalo de Confiança (y^\triangleleft e y^\triangleright) foram determinados para dois sistemas dosimétricos com TLD-100 utilizados em monitoração individual. Baseado nesses limites, é realizada uma discussão sobre a aplicação do sistema dosimétrico em práticas que envolvem exposições à baixas doses de radiação.

Foi mostrada a importância do cálculo dessas grandezas e realizada uma comparação entre diferentes metodologias de cálculo. Os resultados mostram a importância de se utilizar as recomendações recentes da ISO (2010) para calcular esses valores limites. É sugerido, também, o uso dos limites superiores do intervalo de confiança para identificar os trabalhadores expostos a níveis intermediários de radiação.

Tabela 3. Leituras líquidas para cada intervalo de tempo ($LL(\tau)$), com a incerteza padrão correspondente $u(y)$, e os limites do intervalo de confiança.

Sistema	Tempo	$L_L(\tau)$	$u(y)$	y^\triangleleft	y^\triangleright
Dosimétrico	(dias)	(μGy)	(μGy)	(μGy)	(μGy)
RADOS	30	66	9.7	47,0	84,8
	60	142	20.3	102,5	182,1
	90	182	25.9	131,6	233,1
	120	263	37.2	189,7	335,6
Harshaw	30	110	17	77	144
	60	200	29	143	257
	90	231	33	166	297
	120	301	43	216	385

AGRADECIMENTOS

O estudante Leonardo S. Meireles agradece ao CNPq, pela bolsa de iniciação científica PIBITI/CNPq/CNEN. Este projeto é parte do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT) de Metrologia das Radiações em Medicina.

7. REFERÊNCIAS

IEC. International Electrotechnical Commission (IEC). Thermoluminescence dosimetry systems for personal and environmental monitoring, IEC 1066, Ed. 1.0, IEC, Genebra (1991).

ISO. International Organization for Standardization. Determination of the characteristic limits (decision threshold, detection limit and limits of the confidence interval) for measurements of ionizing radiation – Fundamentals and application. ISO11929, Geneva (2010).

Piesch, E., Burgkhardt, B. Environmental monitoring, European interlaboratory test programme for integrating dosimeter systems, Commission of the European Communities, Luxemburg, EUR 8932, 1984.