

## Avaliação do desempenho de dosímetros eletrônicos para monitoração individual: testes em laboratório

W J Garzón<sup>1</sup>, H J Khoury<sup>1</sup>, R B Medeiros<sup>2</sup>, V S M de Barros<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratório de Metrologia das Radiações Ionizantes, Departamento de Energia Nuclear, Universidade Federal de Pernambuco, Recife-Brasil.

<sup>2</sup>Universidade Federal de São Paulo, Departamento de Diagnóstico por Imagem da EPM-UNIFESP, São Paulo, Brasil.

E-mail: wjaramig@gmail.com

**Resumo:** Os dosímetros eletrônicos baseados na tecnologia de armazenamento direto de íons vêm sendo utilizados amplamente em vários países para monitoramento individual em muitas aplicações das radiações ionizantes. Porém, seu uso como dosímetro de rotina tem sido estabelecido em poucos países devido à falta de programas de acreditação ou intercomparações. O objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho de dois modelos de dosímetros de armazenamento direto de íons disponíveis no mercado internacional: o Miriom-Instadose-1 e o RADOS DIS-1 para eventualmente adotá-los na rotina de monitoramento individual no Brasil.

**Palavras-chave:** Equivalente de dose pessoal, armazenamento direto de íons, monitoramento individual.

## Evaluation of performance of electronic dosimeters for individual monitoring: tests in laboratory

**Abstract:** Electronic dosimeters based on direct ion storage technology are being widely used in many countries for individual monitoring in many applications of ionizing radiation. However, their use as routine dosimeter has been established in a few countries due to lack of accreditation or intercomparison programs. The objective of this study is to evaluate the performance of two direct ion storage dosimeters model available in the international market: the Miriom-Instadose-1 and RADOS DIS-1 to be eventually accepted for individual monitoring in Brazil.

**Keywords:** Personal dose equivalent, direct ion storage, individual monitoring.

### 1. INTRODUÇÃO

Os dosímetros baseados na tecnologia de armazenamento direto de íons (DIS) são um tipo de dosímetro eletrônico a partir do qual os valores do equivalente de dose pessoal  $H_p(10)$  e  $H_p(0,07)$  podem ser obtidos instantaneamente no local de trabalho usando uma unidade de leitura

eletrônica ou por meio de um computador com acesso à internet. Dentre os vários dosímetros eletrônicos pessoais disponíveis no mercado internacional, o Miriom-Instadose-1 e o RADOS DIS-1 têm mostrado características interessantes para aplicações nucleares e médicas. Porém, poucas informações acerca da precisão e

desempenho destes dispositivos para monitoração individual têm sido reportadas na literatura [1,2]

O objetivo deste trabalho é avaliar as principais características de dosímetros baseados na tecnologia DIS: Miriom-Instadose-1 e RADOS DIS-1 tais como: linearidade com a dose, dependência angular e energética para fótons de baixa energia.

## 2. METODOLOGIA

As principais características dos dosímetros testados estão resumidas na tabela 1. Os dados foram obtidos dos manuais fornecidos pelos fabricantes.

**Tabela 1.** Características dos dosímetros testados

| Dosímetro   | Grandeza medida   | Faixa de resposta | Faixa de energia |
|-------------|-------------------|-------------------|------------------|
| Instadose-1 | Hp(10)            | 10 $\mu$ Sv-10Sv  | 5keV-6MeV        |
| DIS-1       | Hp(10) e Hp(0,07) | 1 $\mu$ Sv-40Sv   | 15keV-9MeV       |

Os testes de desempenho dos dosímetros foram realizados no Laboratório de Metrologia das Radiações ionizantes no Departamento de Energia Nuclear da Universidade Federal de Pernambuco (LMRI-DEN/UFPE) com base nos requerimentos estabelecidos na norma 61526 da IEC [3]. As irradiações foram realizadas com um equipamento de raios X industrial, de potencial constante, marca PANTAK, modelo HF 320, com as qualidades de feixes de raios-X:N-40, N60, N-80, N-100, N-120 e N-150 definidas na norma ISO 4037-1[4]. Adicionalmente, foram realizadas medidas com uma fonte padrão de Cs-137 acondicionada em um irradiador STS (Steuerungstechnik Strahlenschutz GmbH), modelo OB 85/3/9711-3. A atividade da fonte era de 740 GBq em 29/10/1997.

As características dos feixes de radiação de referência usados neste estudo são apresentadas na tabela 2. A calibração destes feixes tem rastreabilidade para padrões primários estabelecidos na Physikallisch-Technische Bundesanstalt (PTB) da Alemanha.

**Tabela 2.** Características dos feixes de radiação

| Qualidade do feixe | Tensão do tubo (kV) | 1ª CSR (mm Cu) | Energia média (keV) |
|--------------------|---------------------|----------------|---------------------|
| N-40               | 40                  | 0,09           | 33,3                |
| N-60               | 60                  | 0,24           | 47,9                |
| N-80               | 80                  | 0,59           | 65                  |
| N-100              | 100                 | 1,14           | 83,1                |
| N-120              | 120                 | 1,76           | 100                 |
| N-150              | 150                 | 2,38           | 117,7               |
| Cs-137             |                     |                | 662                 |

Para o estudo da resposta dos dosímetros em termos de Hp(10), foi utilizado um simulador de objeto em PMMA com dimensões externas (30cm x 30cm x 15cm) e preenchido com água. O valor convencionalmente verdadeiro de Hp(10) foi determinado através da multiplicação de fatores de conversão reportados na norma ISO 4037-3 [5] pelo valor do kerma ar determinado com uma câmara de ionização padrão no ponto de teste.

Inicialmente foi realizado o estudo da reprodutibilidade e repetibilidade da resposta dos dosímetros.

### 2.1. Estudo da repetibilidade e reprodutibilidade

Para avaliar a repetibilidade da resposta dos dosímetros em estudo, estes foram posicionados na superfície do simulador e no centro do campo de radiação e foram realizadas dez medidas consecutivas com um valor fixo de Hp(10) de 0,2 mSv, com o feixe de raios X da qualidade N-80 e feixe de radiação gama do Cs-137. Para o estudo

da reprodutibilidade foram realizadas três medidas nas mesmas condições que foram repetidas em dez dias diferentes.

## 2.2. Estudo da resposta em função da dose e da energia da radiação

Para o estudo da variação da resposta dos dosímetros em função da dose de radiação, estes foram posicionados sobre o simulador e irradiados com o feixe incidente a 0° e com valores de Hp(10) entre 0,1 mSv e 0,5 mSv usando as qualidades de radiação: N-40, N-60, N-80, N-100, N-120, N-150 e Cs-137. A distância entre a fonte de radiação e o ponto de referência do dosímetro foi de 2 m para as qualidades ISO-N e de 1,5 m para a fonte padrão de Cs-137. A partir dos dados obtidos foi traçada a curva que relaciona a leitura do dosímetro com o valor de referência de Hp(10). O coeficiente angular ( $\alpha$ ) da reta que corresponde a relação entre o valor de Hp(10) registrado pelo dosímetro [Hp(10)<sub>m</sub>] e o valor convencionalmente verdadeiro [Hp(10)<sub>ref</sub>] conforme equação 1, deve ser inferior a 15% conforme requisito da norma 61526 da IEC.

$$\alpha = \frac{Hp(10)_m}{Hp(10)_{ref}} \quad (1)$$

A partir dos valores dos coeficientes  $\alpha$  das curvas da resposta do dosímetro versus o valor convencionalmente verdadeiro de Hp(10) para diferentes qualidades de feixes de radiação, foi realizado o estudo da dependência energética da resposta dos dosímetros.

## 2.3. Estudo da dependência angular

Para avaliar a variação da resposta dos dosímetros em função do ângulo de incidência da radiação, estes foram irradiados com uma dose fixa de 0,2 mSv variando o ângulo de incidência de 0° até 60° em relação ao plano horizontal. As

qualidades das radiações de referência usadas foram: N-60, N-80, N-100 e Cs-137. A resposta dos dosímetros foi normalizada para a resposta obtida com Cs-137 para 0° de incidência.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1. Estudo da repetibilidade e reprodutibilidade

Os resultados do estudo da repetibilidade e reprodutibilidade obtidos com o feixe de raios X qualidade N-80 e radiação gama do Cs-137 para Hp(10) de 0,2 mSv estão apresentados na tabela 3. Esses valores correspondem ao coeficiente de variação (CV) obtido pela relação do desvio padrão e o valor médio das medidas.

**Tabela 3.** Coeficientes de variação expressando as flutuações estatísticas das medidas de Hp(10)

| Dosímetro   |                      | N-80 | Cs-137 |
|-------------|----------------------|------|--------|
| DIS-1       | Repetibilidade       | 3%   | 3%     |
| Instadose-1 | Reprodutibilidade de | 5%   | 4%     |

Os valores dos coeficientes de variação das medidas de Hp(10) obtidas com ambos dosímetros estão dentro do limite de variação de 5% recomendado pela norma 61526 da IEC para valores de Hp(10) acima de 11 $\mu$ Sv.

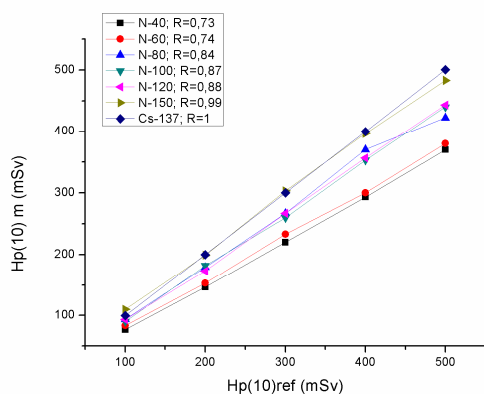
### 3.2. Estudo da resposta em função da dose e da energia da radiação

A variação da resposta dos dosímetros avaliados neste estudo em função do equivalente de dose pessoal Hp(10) é apresentada nas figuras 1 e 2.

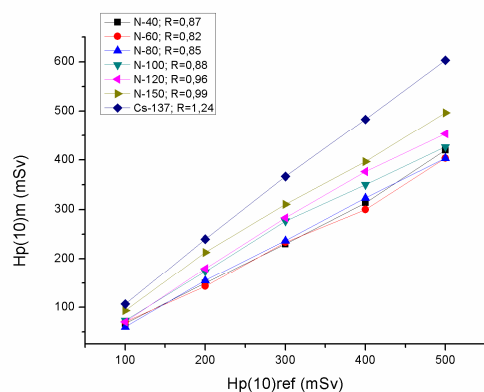
Pode-se observar das figuras 1 e 2 que a resposta dos dosímetros DIS-1 e Instadose-1 em função do equivalente de dose pessoal Hp(10) na faixa de 0,1 mSv a 0,5 mSv para feixes de raios X nas

qualidades N-80, N-100, N-120, N-150 e radiação gama do Cs-137 está dentro de limite de 15% requerido pela norma 61526 da IEC. Porém, foram encontradas variações na resposta de 27% e 26% no dosímetro DIS-1 para feixes de raios X com qualidades N-40 e N-60 respectivamente.

**Figura 1.** Variação da resposta do dosímetro DIS-1 em função da dose

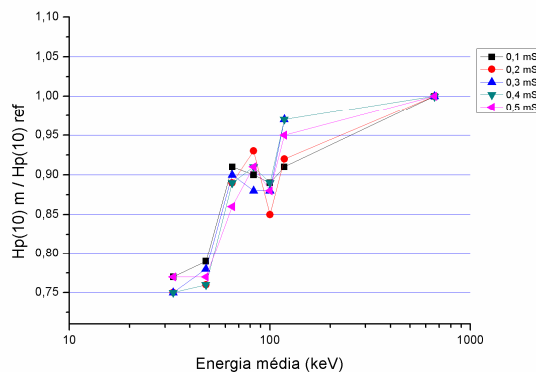


**Figura 2.** Variação da resposta do dosímetro Instadose-1 em função da dose



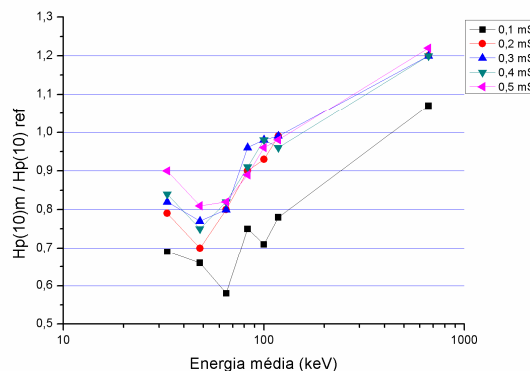
As figuras 3 e 4 mostram a resposta dos dosímetros DIS-1 e Instadose-1 respectivamente para varias energias e valores de Hp(10).

**Figura 3.** Resposta do dosímetro DIS-1 para diferentes energias e valores de Hp(10)



Para a faixa de energias e doses avaliadas neste trabalho observou-se que a resposta do dosímetro DIS-1 tende a subestimar o equivalente de dose pessoal Hp(10), com maior grau nas energias de 33keV e 48keV. No entanto, a resposta energética está no intervalo (0,71-1,67) estabelecido na norma 61526 da IEC.

**Figura 4.** Resposta do dosímetro Instadose-1 para diferentes energias e valores de Hp(10)



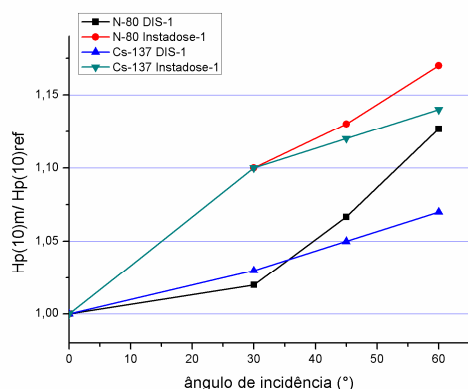
Da figura 4 pode-se observar que a resposta do dosímetro Instadose-1 pode ser subestimada até 42% para baixas energias, e baixos valores de Hp(10).

Os valores da resposta energética dos dosímetros testados neste estudo são comparáveis com os dados reportados na literatura para outros dosímetros eletrônicos pessoais [2,6,7].

### 3.3. Dependência angular

A figura 5 mostra a resposta dos dosímetros DIS-1 e Instadose-1 em função do ângulo de incidência para raios X de qualidade N-80 e radiação gama do Cs-137. A resposta para cada dosímetro foi normalizada para a resposta obtida para incidência de 0° da radiação.

**Figura 5.** Dependência angular da resposta dos dosímetros DIS-1 e Instadose-1



Pode-se observar da figura 5 que para ângulos de incidência da radiação maiores a 0° a resposta dos dosímetros tem uma tendência a ser superestimada. As máximas variações da resposta em função do ângulo de incidência para os dosímetros DIS-1 e Instadose-1 foram 13% e 17% respectivamente para raios X de qualidade N-80 no ângulo de 60°. Estas diferenças estão dentro do limite de 20% de variação recomendado pelo fabricante [8]. A resposta angular na faixa de 0° até 60° para ambos dosímetros está dentro do intervalo (0,71-1,67) recomendado pela norma 61526 da IEC. Os valores da resposta angular dos dosímetros testados neste estudo são comparáveis com os valores reportados no trabalho de Boschung et al [9].

### 4. CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo mostraram que a resposta dos dosímetros DIS-1 e Instadose-1 atende aos requisitos da norma 61526 da IEC e apresentam uma resposta dentro do intervalo estabelecido pela norma, exceto no caso do dosímetro instadose-1 que subestima os valores de Hp(10) ao redor de 0,1 mSv para fótons de baixa energia (33keV, 48keV). Os resultados mostram a viabilidade do uso destes dosímetros para monitoração individual, apresentando a vantagem em relação aos dosímetros passivos por serem de leitura imediata.

### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Konex Ind.e Com. Ltda pelo fornecimento dos dosímetros Instadose-1.

### 6. REFERÊNCIAS

- [1] Ginjaume M. Performance and approval procedures for active personal dosimeters. *Radiation protection dosimetry*.144, 144-149 (2011).
- [2] Chiriotti M, Ginjaume M, Vañó E, Sanchez R, Fernandez J M, Duch M A and Sempau J. Performance of several active personal dosimeters in interventional radiology and cardiology. *Radiation Measurements* 46 1266-1270 (2011).
- [3] International Electrotechnical Commission (IEC), 2010. Radiation protection instrumentation. Measurement of personal dose equivalent Hp(10) and Hp(0,07) for X, gamma, neutron and beta radiation: direct reading personal dose equivalent and/ or dose equivalent rate dosimeters IEC, 61526 Ed. 3.0 (Geneva: IEC).

[4] International Organization for Standardization (ISO), 1996. X and gamma reference radiations for calibrating dosimeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy-part 1: Radiation characteristics and production methods. *ISO4037-1*. ISO, Geneva.

[5] International Organization for Standardization (ISO), 1999. X and gamma reference radiations for calibrating dosimeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy-part 3: *ISO 4037-3*. ISO, Geneva (1996).

[6] International Atomic Energy Agency. Intercomparison of personal dose equivalent measurements by active personal dosimeters. *IAEA-TECDOC-1564*, (2007).

[7] Clairand I, et al. Intercomparisons of active personal dosimeters in interventional radiology. *Radiation Protection Dosimetry*.129, 340–345 (2008).

[8] Mirion Technologies. DIS-1 dosimeter, User's guide. Document number 2096 6058, version 1.04.

[9] Boschung M, Fiechtner A and Wernli C. A legally approved personal dosimeter for photon and beta radiation based on direct ion storage. *Radiation protection dosimetry*.101, 271-274 (2002).