



**PRODUÇÃO TÉCNICO CIENTÍFICA
DO IPEN
DEVOLVER NO BALCÃO DE
EMPRÉSTIMO**

TC
Diz
mpester

ESTABILIDADE DE MONITORES NÃO INVASIVOS

Renato Assenci Ros - renatoros@bol.com.br
Linda V. E. Caldas - lcaldas@net.ipen.br
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
Comissão Nacional de Energia Nuclear
C.P. 11049, CEP 05422-970, São Paulo, SP, Brasil
Fone: (011) 3816-9118

Resumo. Foram realizados testes de estabilidade em dois sistemas de monitoração não invasivos, NERO 6000M e RMI 242, comumente utilizados em programas de garantia da qualidade em equipamentos de raios X, nível diagnóstico. A estabilidade destes monitores foi verificada por meio de medidas com uma fonte de controle de ^{90}Sr , posicionada próxima à janela do detector, sobre suportes especiais construídos de acordo com as dimensões de cada monitor. Foram realizados testes de repetibilidade, estabilidade a longo prazo e medida da corrente de fuga. Os monitores foram calibrados com radiação X entre 40 e 100 kVp. Os resultados mostraram a necessidade de calibração e de testes periódicos destes monitores não invasivos.

Palavras-chaves: Radiação X, Controle de qualidade, Estabilidade, Monitores não invasivos.

1. INTRODUÇÃO

Com a expansão da utilização das radiações ionizantes em Medicina e Odontologia e o risco inerente associado ao seu uso, houve a necessidade de se garantir a qualidade dos serviços de radiodiagnóstico prestados à população. Para melhorar a qualidade da imagem e reduzir a exposição do paciente, é preciso estabelecer um programa de garantia da qualidade para verificações periódicas dos parâmetros técnicos dos equipamentos emissores de radiação X (Portaria nº 453, 1998).

No Laboratório de Calibração de Instrumentos do IPEN foi implementado um programa de garantia da qualidade nos equipamentos de raios X, utilizando-se dois sistemas de monitoração não invasivos. Estes equipamentos de raios X são utilizados para calibração de dosímetros clínicos, monitores portáteis e instrumentos para dosimetria de feixes de radiação X em radiodiagnóstico, não sendo aplicados na formação de imagens diagnósticas. Portanto, devem ser mantidos em condições adequadas de funcionamento para se garantir a qualidade metrológica do serviço de calibração.

Os monitores não invasivos utilizados no controle de qualidade em radiodiagnóstico são feitos de modo a medir, durante um pulso de radiação, os valores da tensão de pico aplicada

ao tubo, o kerma no ar ou taxa de kerma no ar e o tempo de exposição. Para assegurar a confiança nos valores medidos, a verificação da estabilidade e a calibração destes instrumentos são de extrema importância (Wagner et al., 1992).

Os testes de estabilidade foram realizados com uma fonte de ^{90}Sr e os testes de controle de qualidade dos monitores não invasivos foram feitos por meio da comparação de medidas de tensão de pico obtidas por espectrometria do feixe de raios X e de medidas de kerma no ar obtidas por uma câmara de ionização padrão secundário.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Monitores não invasivos

NERO 6000M. Marca Victoreen. Possui uma câmara de ionização de placas paralelas com área de $18,9 \text{ cm}^2$ e volume de 36 cm^3 . Os limites de operação dos parâmetros de medição deste monitor estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Limites de operação do monitor não invasivo NERO 6000M.

Parâmetros	Limites
Tensão de pico	27 a 155 kVp (radioscopia)
	27 a 155 kVp (fluoroscopia)
	21 a 50 kVp (mamografia)
Tempo de exposição	1 a 10000 ms
Kerma no ar	0,1 a 100 mGy
Taxa de kerma no ar	5 a 2000 mGy/min

Este monitor possui um seletor de filtros para a escolha do filtro adequado para cada faixa de tensão: 21 a 50 kVp (mamografia), 27 a 42 kVp, 35 a 60 kVp, 50 a 85 kVp, 70 a 120 kVp, 100 a 155 kVp. Possui certificado de calibração do fabricante.

RMI 242. Marca Gammex. Possui uma câmara de ionização de placas paralelas com área de $45,6 \text{ cm}^2$ e volume de 51 cm^3 . Os limites de operação dos parâmetros de medição deste monitor estão apresentados na Tabela 2. Este equipamento possui certificado de calibração do fabricante.

Tabela 2. Limites de operação do monitor não invasivo RMI 242.

Parâmetros	Limites
Tensão de pico	50 a 165 kVp (radioscopia)
	50 a 165 kVp (fluoroscopia)
	22 a 60 kVp (mamografia)
Tempo de exposição	1 a 19,999 ms
Kerma no ar	0,1 a 25 mGy
Taxa de kerma no ar	1 a 250 mGy/min

2.2 Fonte de controle

Fonte de ^{90}Sr . Modelo 8921, série 906, marca Physikalisch-Technische Werkstätten - PTW, Alemanha, com atividade inicial de 33 MBq na data de fabricação (1988) e atividade de

25 MBq durante as medições. O ^{90}Sr decai por emissão de partículas β^- , com energia de 546,2 keV e meia-vida de 28,5 anos. Foi utilizada para o estudo da estabilidade dos sistemas de monitoração não invasivos NERO 6000M e RMI 242. A fonte foi acoplada aos detectores por meio de suportes de acrílico especiais desenvolvidos no IPEN.

2.3 Equipamento de raios X

Neo-Diagnomax. Marca *Medicor Mővek Röntgengyara*, Hungria, monofásico, com retificação de onda completa. O tubo de raios X possui filtração inerente de 0,75 mmAl, e filtração total permanente de 2,5 mmAl, estando de acordo com normas nacionais. Este equipamento pode ser utilizado tanto no modo de radioscopia (feixe pulsado) como no modo de fluoroscopia (feixe contínuo). A tensão de pico varia de 40 a 100 kVp.

Neste equipamento de raios X foram realizadas medidas de espectrometria (Potiens, 1999) com um detector de germânio hiperpuro, modelo *Intertechnique*, marca *Σurisys Mesures*, no intervalo de tensão de pico de 60 a 100 kVp, no modo de radioscopia, e de 40 a 90 kVp, no modo de fluoroscopia. Os resultados estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Resultados das medidas de espectrometria dos equipamentos de raios X Neo-Diagnomax nos modos de radioscopia e de fluoroscopia.

Tensão nominal (kVp)	Energia (keV)	
	Radioscopia	Fluoroscopia
40	-	43,1
50	-	52,0
60	58,3	62,9
71	69,2	70,3
80	78,9	80,1
90	89,2	89,8
100	98,1	-

2.4 Sistemas auxiliares

Termômetro de mercúrio. Marca Mercúrio, com intervalo de medida de -10 a 40 °C e precisão de $0,1$ °C.

Barômetro. Modelo Domatic, marca *Veränderlich*, Alemanha, com intervalo de medida de 94 a 104 kPa e precisão de $0,1$ kPa.

Cronômetro. Modelo Cronus, marca Technos, com precisão de $0,01$ s.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram realizados testes de repetibilidade, estabilidade a longo prazo e de fuga de corrente com as câmaras de ionização dos sistemas de monitoração não invasivos NERO 6000M e RMI 242, para verificação do desempenho e da estabilidade destes monitores. Estas medidas foram feitas utilizando-se uma fonte de controle de ^{90}Sr . Os testes foram realizados ao longo deste trabalho.

3.1 Teste de repetibilidade

O teste de repetibilidade da resposta de uma câmara de ionização consiste em se realizar dez medidas consecutivas utilizando uma fonte de controle, em condições fixas e reprodutíveis. As medidas foram feitas com uma fonte de ^{90}Sr encaixada em um suporte de acrílico, construído especialmente para cada monitor, de acordo com suas dimensões, para assegurar a reprodutibilidade do posicionamento da fonte. A fonte permanece o mais próximo possível, mas sem encostar, à janela de detecção dos monitores não invasivos (Fig. 1), para o detector NERO 6000M.

No caso do detector NERO 6000M, o teste de estabilidade foi realizado no modo de dose integrada, sendo que cada medida foi obtida durante um tempo de cinco minutos, medido com um cronômetro. O equipamento RMI 242 não possui sensibilidade para realizar as medidas com a fonte de controle no modo de dose integrada, mas somente no modo de taxa de dose, que possui maior sensibilidade à radiação de baixa intensidade, como em fluoroscopia. Após um intervalo de sete segundos, o monitor apresenta novas medidas de taxa de dose.

A variação máxima da repetibilidade das medidas foi de 0,5 % e 0,9 % para os monitores NERO 6000M e RMI 242, respectivamente. De acordo com normas internacionais (ISO 4037-1, 1996, IEC 731, 1996), o desvio padrão percentual das medidas não deve exceder a 0,5 % no caso de instrumentos de campo e 0,3 % para instrumentos de referência. Nota-se que o equipamento NERO 6000M apresentou bons resultados para um instrumento de campo, mas o desvio padrão percentual do monitor RMI 242 superou o limite permitido pelas normas. Esta variação apresentada pelo equipamento RMI 242 pode ser devido à pequena intensidade da fonte de controle.

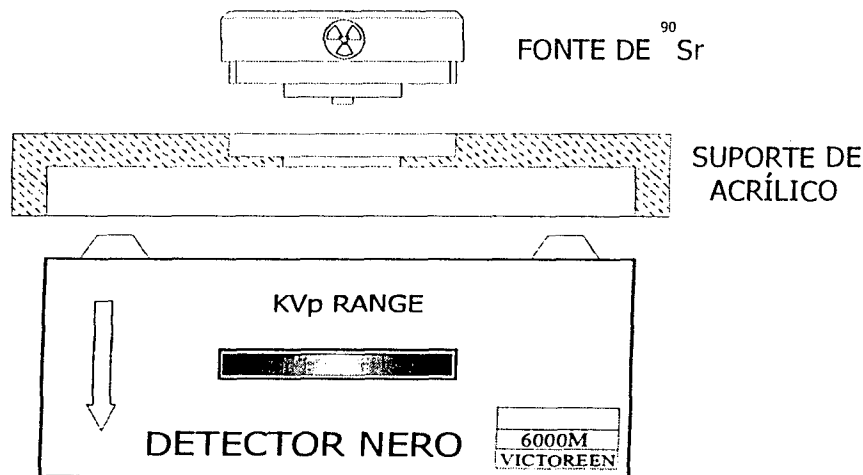


Figura 1 - Diagrama esquemático do posicionamento da fonte de ^{90}Sr no suporte de acrílico para os testes de estabilidade do detector NERO 6000M.

3.2 Teste de estabilidade a longo prazo

O teste de estabilidade a longo prazo consiste na verificação da estabilidade dos monitores ao longo do tempo, considerando-se o decaimento radioativo da fonte de controle; como valor de referência tomou-se a média dos valores obtidos nos dez primeiros testes de repetibilidade. A variação obtida (Fig. 2) foi de 0,6 % e 0,8 %, para os detectores

NERO 6000M e RMI 242, respectivamente, considerando-se ainda o fator de correção da resposta para temperatura e pressão (ϕ):

$$\phi = \left(\frac{T + 273,15}{293,15} \right) \times \frac{101,3}{p}$$

onde p é a pressão atmosférica (kPa) e T é a temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$).

O limite de variação aceitável pelas normas internacionais (ISO 4037-1, 1996, IEC 731, 1996) é de 1,0 % para instrumentos de campo e de 0,5 % para instrumentos de referência; os dois medidores apresentaram, portanto, valores aceitáveis para instrumentos de campo.

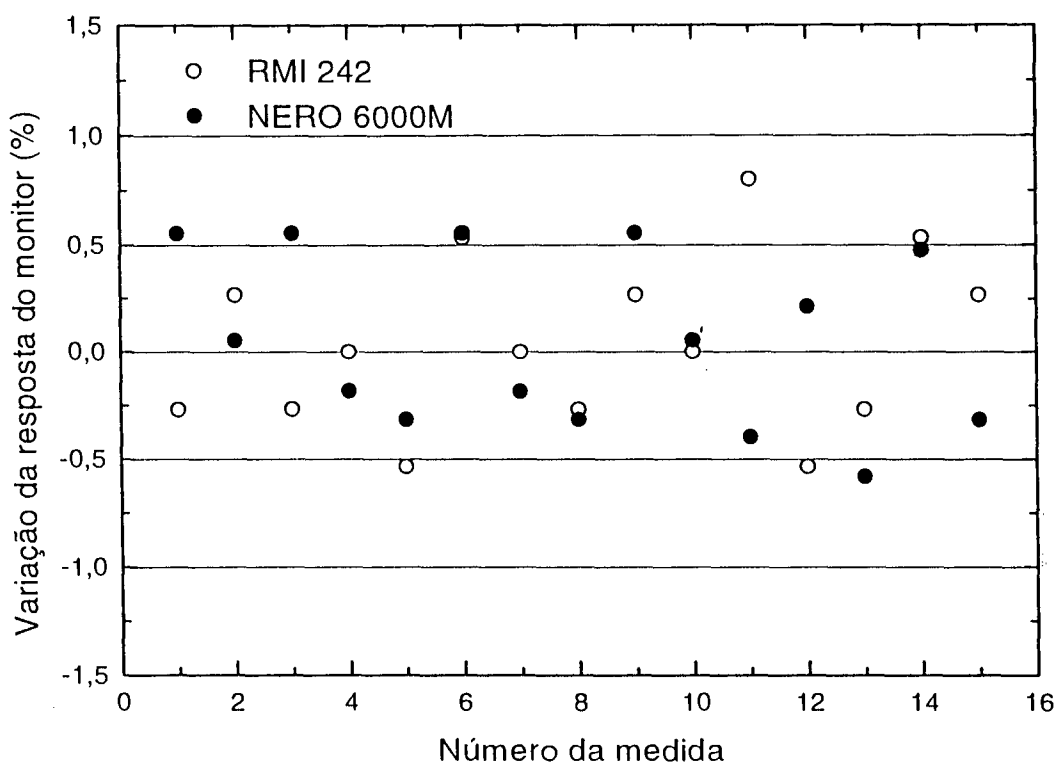


Figura 2 - Teste de estabilidade a longo prazo dos equipamentos NERO 6000M e RMI 242, utilizando-se uma fonte de ^{90}Sr .

3.3 Teste de Fuga de Corrente

A fuga de corrente em um câmara de ionização é definida como sendo um sinal não proveniente do fenômeno de ionização no volume sensível. A fuga de corrente é medida após o monitor ter sido irradiado com uma fonte de controle, para em seguida se retirar a fonte da posição e deixar o monitor sem irradiação por um período de 15 minutos. Após este intervalo de tempo, foi verificado se o monitor apresentou alguma variação da leitura obtida.

Os monitores não invasivos NERO 6000M e RMI 242 apresentaram fugas de corrente de 2,0 % e 0,9 %, respectivamente. De acordo com a norma IEC 731 (1996), a fuga de corrente não pode exceder 1,0 % para instrumentos de campo e 0,5 % para instrumentos de referência.

Para o monitor NERO 6000M, a corrente de fuga foi maior que o valor permitido pela norma IEC 731 (1996), levando a um aumento da incerteza de suas medidas.

3.4 Medida da tensão de pico

Para o equipamento de raios X Neo-Diagnomax, o valor da tensão de pico foi obtido com os monitores não invasivos NERO 6000M e o RMI 242. No modo de radioscopia, os valores de tensão variaram de 40 a 100 kVp, e no modo de fluoroscopia, os valores de tensão variaram de 40 a 90 kVp.

A Tabela 4 mostra os valores de tensão de pico do equipamento de raios X Neo-Diagnomax, nos modos de radioscopia e fluoroscopia, medidos com os sistemas de monitoração não invasivos. Está apresentada a variação percentual das medidas realizadas com os monitores em relação à tensão nominal de pico do equipamento.

Nota-se que os valores medidos pelos equipamentos NERO 6000M e RMI 242 não apresentaram variação maior que 8 % dos valores nominais de tensão de pico. Esta variação apresentada está de acordo com a Portaria nº 453 (1998), que estabelece uma variação máxima de 10%.

Utilizando-se como referência os valores de tensão obtidos a partir de medidas de espectrometria, mostradas na Tabela 3, pode-se determinar fatores de correção para cada sistema de monitoração e para cada valor de tensão do equipamento de raios X (Green et al., 1996).

Tabela 4. Teste de exatidão do valor da tensão do equipamento de raios X Neo-Diagnomax, nos modos de radioscopia e de fluoroscopia, realizado com os monitores NERO 6000M e RMI 242.

Modo	Tensão (kVp)	NERO 6000M		RMI 242	
		Tensão (kVp)	Δ (%)	Tensão (kVp)	Δ (%)
Radioscopia	40	36,9 \pm 0,5	- 7,8	40,5 \pm 0,6	1,3
	50	47,3 \pm 0,9	- 5,4	50,8 \pm 1,0	1,6
	60	57,7 \pm 1,2	- 3,8	59,4 \pm 1,2	- 1,0
	70	71,4 \pm 1,4	2,0	72,1 \pm 1,8	3,0
	80	80,9 \pm 1,4	1,1	82,1 \pm 0,2	2,6
	90	92,3 \pm 1,7	2,5	93,1 \pm 0,2	3,4
	100	103 \pm 4	3,0	104 \pm 3	4,0
Fluoroscopia	40	40,1 \pm 0,4	0,3	42,1 \pm 0,5	5,2
	50	48,7 \pm 0,5	- 2,6	49,3 \pm 0,7	- 1,4
	60	58,7 \pm 0,5	- 2,2	59,5 \pm 1,0	- 0,8
	70	68,0 \pm 0,8	- 2,9	69,8 \pm 0,6	- 0,3
	80	77,6 \pm 1,1	- 3,0	79,2 \pm 0,7	1,0
	90	86,9 \pm 0,8	- 3,4	88,5 \pm 1,2	- 1,7

O fator de correção corresponde à razão entre o valor de tensão determinado pelas medidas com o espectrômetro (Tabela 3) e o valor de tensão medido em cada equipamento de monitoração (Tabela 4), como mostra a Tabela 5.

Tabela 5. Fatores de correção de tensão de pico para cada sistema de monitoração em relação aos valores de espectrometria, nos modos de radioscopia e fluoroscopia.

Modo	Tensão nominal (kVp)	Espectrometria (keV)	Fatores de Correção	
			NERO 6000M	RMI 242
Radioscopia	60	58,3	1,010	0,981
	71	69,2	0,969	0,960
	80	78,9	0,975	0,961
	90	89,2	0,966	0,958
	100	98,1	0,934	0,943
Fluoroscopia	40	43,1	1,075	1,023
	50	52,0	1,068	1,055
	60	62,9	1,072	1,057
	71	70,3	1,034	1,007
	80	80,1	1,032	1,011
	90	89,8	1,033	1,015

Os fatores de correção foram adotados para o ajuste dos valores de tensão a serem medidos pelos equipamentos de monitoração não invasivos em outros equipamentos de raios X, garantindo a confiabilidade nas medidas de tensão. A incerteza máxima associada aos fatores de correção foi de 3,9 %.

Pode-se notar que a variação máxima dos fatores de correção em relação aos valores de espectrometria foi de 7,5 %, sendo uma variação menor que o valor limite da variação máxima da tensão estabelecida por norma (Portaria nº 453, 1998), que é de 10 %. Mesmo assim, recomenda-se a necessidade de aplicação destes fatores de correção às medidas com os equipamentos de monitoração não invasivos.

Analisando-se os fatores de correção da tensão de pico, nota-se que seus valores são maiores para valores menores de tensão, caracterizando uma dependência energética destes monitores. Nos modos de radioscopia e fluoroscopia do equipamento de raios X Neo-Diagnomax, o monitor não invasivo NERO 6000M apresentou uma dependência energética de seu fator de correção de 8,1 e 4,2 % e para o monitor RMI 242 de 4,0 e 4,8 %.

4. CONCLUSÕES

Foram realizados testes de repetibilidade, estabilidade a longo prazo e medida da corrente de fuga nos monitores não invasivos NERO 6000M e RMI 242. As variações máximas apresentadas pelos monitores foram, respectivamente, de 0,5 e 0,9 %, para o teste de repetibilidade, de 0,6 e 0,8 % para o teste de estabilidade a longo prazo e de 2,0 e 0,9 % para o teste de fuga de corrente. De acordo com as normas internacionais ISO 4037-1 (1996) e IEC 731 (1996), o monitor RMI 242 apresentou, no teste de repetibilidade, uma variação máxima superior à variação permitida para instrumentos de campo, devido à pequena intensidade da fonte e, no teste de corrente de fuga, o monitor NERO 6000M apresentou uma variação máxima superior à variação permitida para instrumentos de campo, aumentando a incerteza de suas medições.

Foram realizadas medidas de tensão de pico de 40 a 100 kVp, cujos resultados foram comparados com os valores obtidos por espectrometria, para verificar a dependência

energética e determinando-se fatores de calibração para os dois monitores. Os resultados mostraram a necessidade de calibração e de verificação periódica destes monitores não invasivos, segundo um programa de garantia de qualidade.

REFERÊNCIAS

- Green, S., Palethorpe, J. E., Peach, D. E. and Bradley, D. A., 1996, Development of a calibration facility for test instrumentation in diagnostic radiology. *Radiat. Prot. Dosim.* v. 67, n. 1, pp. 41-46.
- IEC 731, 1996, International Eletrotechnical Commission, *Dosemeters with ionization chambers as used in radiotherapy*, Genève.
- ISO 4037-1, 1996, International Organization for Standardization, *X and gamma reference radiations for calibrating dosemeters and doserate meters and determining their response as a function of photon energy. Part 1: Radiation characteristics and production methods*, Genève.
- Portaria nº 453, 1998, Ministério da Saúde, *Diretrizes de proteção radiológica em radiodiagnóstico médico e odontológico*. Diário Oficial da União. Brasília.
- Potiens, M. P. A., 1999, Metodologia dosimétrica e sistema de referência para radiação X, nível diagnóstico, Tese de Doutorado, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares / USP, São Paulo.
- Wagner, L. K., Fontenla, D. P., Kimme-Smith, C., Rothenberg, L. N., Shepard, J. and Boone, J. M., Recommendations on performance characteristics of diagnostic exposure meters: Report of AAPM Diagnostic X-Ray Imaging Task Group No. 6, *Med. Phys.*, v. 19, n. 1, pp. 231-241.

STABILITY OF THE NON-INVASIVE MONITORS

Abstract. Measurements were taken for stability tests of two non-invasive monitors, NERO 6000M and RMI 242, very often utilized in quality control programs of X-ray equipments, diagnostic level. The stability test was performed using a control source of ^{90}Sr , positioned near the detectors window, on special set-ups. Tests of repeatability, long-term stability and current leakage were realized. The instruments were calibrated in standard X-ray beams between 40 and 100 kVp. The results show the need of calibration and periodic tests of these non-invasive monitors.

Key words: X radiation, Quality control, Stability, Non-invasive monitors.