

Análise do PPV e tensão de pico espectral em um equipamento de raios X para calibração de dosímetros

P. M. C. Oliveira^{1,2}, **P. C. Santana**¹, **M. A. S. Lacerda**², **T. A. Da Silva**²

¹ Departamento de Anatomia e Imagem da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG);

² Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN/CNEN) .

E-mail: pmco@cdtn.br

Resumo: Laboratórios de metrologia das radiações ionizantes em todo o mundo buscam garantir uma coerência metrológica entre os feixes de raios X para calibração de detectores e um dos parâmetros que caracterizam tais feixes é a tensão de pico prático (PPV). Nesse trabalho foram avaliados criticamente o PPV e a tensão de pico espectral em um equipamento de potencial constante, que apresentaram diferença média de 1,4 %.

Palavras-chave: tensão de pico prático; tensão de pico espectral; calibração.

Abstract: Dosimetry laboratories around the world try to achieve metrology consistency between the X-rays beams for therapy and diagnostic detectors calibration. One of the parameters to characterize X-ray beam is the practical peak voltage (PPV) assessment. In this work were evaluated the PPV and spectral peak voltage in the potential constant X-ray equipment, that result in a mean difference of 1.4 %.

Keywords: practical peak voltage; spectral peak voltage; calibration.

1. INTRODUÇÃO

Em dosimetria de indivíduos ocupacionalmente expostos, pacientes submetidos a exames de radiodiagnóstico ou radioterapia e no meio ambiente, a metrologia das radiações ionizantes é a base para alcançar a confiabilidade e o objetivo da medida confiável das doses é estabelecer ou assegurar procedimentos de radioproteção para fins de evitar os efeitos biológicos danosos causados pelas radiações ionizantes.

Para que a metrologia das radiações seja bem realizada é preciso que sejam utilizados equipamentos detectores de radiação confiáveis o que se torna possível desde que estes aparelhos

estejam devidamente calibrados e atendam aos padrões de desempenho estabelecidos por normas. Há várias normas internacionais que estabelecem as condições para que detectores possam operar com confiabilidade metrológica para um propósito bem definido.

A fim de se estabelecer características ou propriedades associadas aos feixes de radiação X para investigações físicas ou médicas, uma série de condições bem definidas oferecem uma importante ferramenta em várias situações. Em se tratando destes feixes existem vários parâmetros que devem ser avaliados tais como: tensão de pico do equipamento e seu espectro de energias.

Estes feixes característicos são denominados radiações de referência.

Laboratórios de metrologia das radiações ionizantes em todo o mundo buscam garantir uma coerência metrológica entre os feixes de raios X utilizados para calibração de detectores, através da adoção das radiações de referência estabelecidas por normas internacionais, tal como a International Electrotechnical Commission - IEC para a área de radiodiagnóstico que determina, como requisito para implantação de seus feixes de referência, a avaliação da tensão de pico prático PPV, dentre outros.

Diferentemente da grandeza tensão de pico (kVp), que é a máxima tensão atingida por um equipamento de raios-X durante uma exposição, a tensão de pico prático é definida como a média ponderada de todos os valores de tensão que ocorrem durante uma exposição (IEC, 2005). A ponderação é realizada de tal modo que valores idênticos de tensões de pico prático fornecem valores iguais de baixo contraste radiográfico, independente da forma de onda do gerador de alta tensão do equipamento de raios X e, portanto, em um equipamento de potencial constante o PPV deveria ser muito próximo ao kVp.

Neste trabalho foram realizadas as avaliações e comparações das grandezas PPV e kVp através de medidas não invasivas e espectrometria em radiações de referência de radiodiagnóstico implantadas em tubo de raios X de potencial constante.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

As medidas foram realizadas no equipamento de raios X industrial da fabricante AGFA, modelo Pantak Isovolt HS 320, de potencial constante, localizado no Laboratório de Calibração de Dosímetros (LCD) do CDTN/CNEN. A tensão de pico prático foi avaliada com a utilização de um medidor de tensão Diavolt Universal T43014-01207 rastreável à PTW-Freiburg.

O medidor de PPV foi posicionado sobre um suporte, alinhado com o tubo de raios X, de modo a ficar com sua superfície perpendicular ao feixe de radiação e o centro sensível do detector a 56 centímetros do ponto focal do tubo, conforme mostrado na figura 1.

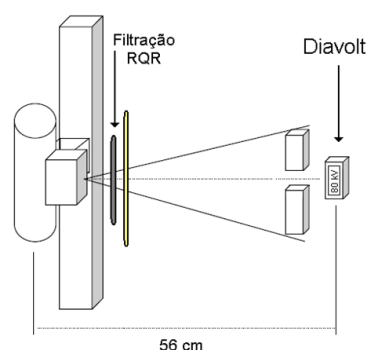


Figura 1. Sistema de posicionamento do espectrômetro.

O medidor de PPV foi irradiado nos feixes de raios X de referência da IEC (International Electrotechnical Commission) denominados RQR com tensões no intervalo de 40 a 145 kV. Na escolha de todos os parâmetros levou-se em consideração a corrente elétrica (mA) que produz uma quantidade de radiação que torna mensurável a grandeza PPV. Para cada radiação de referência foram realizadas dez exposições.

A irradiação no feixe de raios X RQR10, cuja tensão é de 150 kV foi efetuada com 145 kV, pois o resultado das avaliações com essa última tensão nominal extrapolou o intervalo útil do medidor de PPV.

A tensão de pico prático foi calculada através da aplicação da equação 1, onde \bar{L} representa a média das leituras da tensão de pico prático em kV e F_C representa o fator de calibração do medidor de PPV para os parâmetros técnicos de irradiação.

$$PPV = \bar{L} \times F_C \quad (1)$$

A avaliação da tensão de pico espectral foi realizada com a utilização de um sistema de

espectrometria portátil de alta resolução, composto por um amplificador PX2T-CdTe, um analisador multicanal modelo MCA 8000A e um detector semiconductor de telureto de cádmio (CdTe).

Inicialmente o sistema foi calibrado em energias através do posicionamento de fontes de radiação a uma distância de 5,1 cm do detector CdTe do espectrômetro, devido à pequena atividade das fontes utilizadas (^{241}Am , ^{133}Ba , ^{109}Cd). Essa calibração foi realizada através da medição dos espectros de energia de fontes radioativas padrão, emissoras de raios gama e raios X no intervalo desejado de energias.

Foi realizada contagem dos fótons durante o tempo necessário para que, os canais correspondentes às principais energias de emissão das fontes, pudessem ser claramente identificados.

Os canais foram determinados gerando-se uma interpolação de distribuição gaussiana do número total de eventos do canal por picos de intensidade de contagem.

Após a calibração em energias a detecção dos espectros dos feixes de raios X foi realizada posicionando-se o centro do volume sensível do detector de telureto de cádmio a 1,5 metros de distância do ponto focal do equipamento de raios X Pantak Seifert HS 320, conforme mostra o esquema da Figura 2.

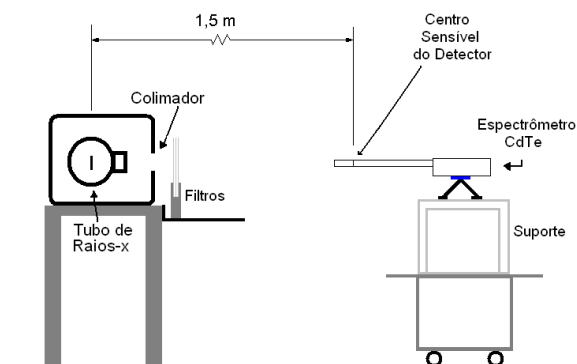


Figura 2. Sistema de posicionamento do espectrômetro.

O espectrômetro foi posicionado sobre um suporte de acrílico, que possui um número atômico efetivo baixo, de modo a tornar a influência da radiação espalhada a mínima possível no espectro. Os espectros foram obtidos para os feixes de raios X de referência da IEC RQR com tensões no intervalo de 40 a 145 kV.

Com a utilização dos dados de maior energia dos espectros foi construída uma análise por regressão linear, de modo a determinar o ponto de maior energia, exatamente correspondente à tensão de pico do tubo de raios X e os resultados obtidos foram comparados com os dados de PPV.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os valores obtidos na avaliação da tensão de pico prático e da tensão de pico espectral estão apresentados na tabela 1, que mostra a tensão nominal do tubo de raios X para cada ponto avaliado e a diferença entre os resultados obtidos nas medidas do kVp espectral e do PPV.

A tensão de pico espectral apresentou incerteza expandida de 6,4 % e suas principais fontes de contribuição foram a incerteza do ajuste de regressão linear para determinação da energia máxima do espectro e a incerteza na calibração do espectrômetro. O PPV apresentou incerteza expandida de 2,5 %, tendo como principais fontes de contribuição a calibração do Diavolt e a dependência do medidor com a temperatura (dado informado pelo fabricante).

Ambas incertezas expandidas de medição foram calculadas levando-se em consideração as incertezas padrão de medição multiplicadas pelo fator de abrangência ($k = 2$), para uma distribuição t-student com grau de liberdade efetivo tendendo ao infinito, correspondendo a uma probabilidade de abrangência de 95,45 %.

É possível observar que, em média, as diferenças entre os valores de tensão de pico espectral e PPV foram de 1,1 kV (1,4 %), com máxima

diferença de 2,8 % no ponto de tensão nominal equivalente a 80 kV, mostrando boa coerência entre os resultados das grandezas, dentro da faixa de incerteza de medição.

Segundo a IEC, o uso de técnica invasiva para a medição do PPV deve ser utilizada, devido ao baixo valor de incerteza requerido na avaliação desse parâmetro (menor que 2 % com um fator de abrangência $k = 2$) e que o projeto e a idade de um tubo de raios X influenciam nos resultados das medições não invasivas do PPV, o que não ocorre quando são realizadas medições invasivas.

Ainda, por definição, em um equipamento de potencial constante, a tensão de pico máxima deve ser igual ao PPV, fato que não ocorreu com perfeição para os resultados obtidos.

Porém, a publicação da Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA, 2007), informa que os laboratórios de calibração padrão secundário, como o LCD/CDTN, podem efetuar a avaliação de outra grandeza, como a tensão de pico, de modo não invasivo, desde que sejam utilizados equipamentos de raios X mais modernos com geradores de tensão de alta frequência ou de potencial constante.

Tabela 1. Resultados do PPV e da tensão de pico espectral para as radiações de referência RQR da IEC com suas respectivas filtrações adicionais.

Radiação de Referência	Filtração Adicional (mmAl)	Tensão Nominal (kV)	PPV (kV)	kVp (kV)	Diferença (kV)	Diferença (%)
RQR 2	2,0	40,0	41,2	42,3	1,1	2,6
RQR 3	2,1	50,0	51,7	52,6	0,9	1,7
RQR 4	2,5	60,0	61,6	62,7	1,1	1,8
RQR 5	2,6	70,0	71,8	72,8	1,0	1,4
RQR 6	2,7	80,0	80,5	82,8	2,3	2,8
RQR 7	2,9	90,0	91,6	92,1	0,5	0,6
RQR 8	3,1	100,0	101,7	102,6	0,9	0,9
RQR 9	3,5	120,0	122,2	122,6	0,4	0,3
RQR 10	3,8	145,0	146,7	148,1	1,4	0,9

4. CONCLUSÕES

Foi possível a avaliação da grandeza PPV com a utilização de um medidor não invasivo e sua comparação com os resultados de tensão de pico espectral apresentaram boa concordância com diferença máxima de 2,8 % para a tensão nominal de 80 kV.

Esse trabalho contribui para melhor caracterização do equipamento de potencial constante do LCD com objetivos de calibração de medidores em raios X diagnósticos, em acordo com recomendações para laboratórios padrão secundário de calibração.

5. REFERÊNCIAS

IEC. International Electrotechnical Commission (IEC). Medical diagnostic x-ray equipment – Radiation conditions for use in the determination of characteristics. Geneva, IEC 61267, IEC, Genebra (2005).

AIEA. International Atomic Energy Agency. Dosimetry in Diagnostic Radiology: Na International Code of Practice. TRS 457, Geneva (2007).

AGRADECIMENTOS: Este projeto é parte do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT) de Metrologia das Radiações em Medicina.