



XVII ENCONTRO SERGIPANO DE FÍSICA

25 a 28 de setembro de 2012

Aracaju - Sergipe

Estudo de métodos de calibração de câmaras de ionização de placas paralelas utilizadas em radioterapia

Oliveira, C.T.¹; Potiens, M. P. A.²

^{1,2}Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, Brasil

Resumo. Câmaras de Ionização utilizadas para dosimetria em radioterapia necessitam de calibração prévia em feixes padrões de radiação. Os laboratórios específicos para calibração são classificados em Laboratório de Dosimetria Padrão Primário (PSDL) e Laboratório de Dosimetria Padrão Secundário (SSDL). Na América Latina não há laboratórios do tipo PSDL. No Brasil, o Instituto de Radioproteção e Dosimetria, atua como SSDL e é denominado Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes. Este realiza calibração apenas para feixes de Raios X para as câmaras de ionização do tipo cilíndricas, que são utilizadas na faixa de ortovoltagem. Para as câmaras de ionização de placas paralelas, que são utilizadas em raios X de baixas energias e em feixes de elétrons, ainda não existe no Brasil um procedimento bem estabelecido para testes neste tipo de instrumento. Considerando que a Agência Internacional de Energia Atômica, recomenda o estabelecimento de qualidades de radiação para a determinação de dose absorvida sob condições de referência (dose absorvida na água) para todos os instrumentos utilizados em medidas de radioterapia, neste trabalho foi realizado um estudo das metodologias aplicadas pelos principais laboratórios primários de calibração mundiais com o intuito de estabelecer no Laboratório de Calibração do IPEN, um procedimento que possa ser aplicação a feixes de raios X com energias variando de 50 kV a 100 kV. Os laboratórios estudados foram o Bureau International des Poids e Mesures, na França, o National Institute of Standards and Technology, EUA, o National Physical Laboratory, Inglaterra, o PTB, Alemanha e o PTW que é membro do serviço de calibração alemão (DAkkS). Os laboratórios de padronização primária possuem como referência câmaras de ionização de ar livre apropriadas para esta faixa de operação, enquanto que o laboratório da PTW que possui padronização secundária possui como referência uma câmara de ionização de placas paralelas, que é apropriada para medidas de doses em feixes de terapia superficial e apresenta uma dependência estável com a energia para feixes variando entre 10 kV e 100 kV.

Palavras-chave: metrologia, radiação X, radioterapia, câmaras de ionização, dosímetro.

1. Introdução

O sucesso na aplicação da radiação na oncologia depende de vários fatores, a escolha da técnica do tratamento, o fracionamento, a aplicação de imagens portal, como também, entre outros, a avaliação da dose que está sendo liberada no paciente, ou seja, a dosimetria [1].

A ICRU baseada numa análise de dose resposta e em uma avaliação de erros na distribuição de doses clínicas recomenda uma precisão na distribuição de dose absorvida de $\pm 5\%$ [4]. Variações acima deste valor podem representar a falha de alguns tratamentos e por isso a necessidade de se controlar periodicamente o desempenho dos feixes por meio de dosimetria [2]. A dosimetria da radiação ou apenas "dosimetria" lida com a medida da dose absorvida resultante da interação da radiação ionizante com a matéria. Mais amplamente refere-se também à determinação desta grandeza, bem como qualquer uma das outras grandezas radiologicamente relevantes, como a exposição, kerma, fluência, dose equivalente, energia transmitida, e assim sucessivamente [3].

Os aparelhos utilizados na dosimetria, para serem úteis, devem exibir várias características desejáveis, são estas, precisão e exatidão, linearidade, dependência com a dose ou taxa de dose, resposta energética, dependência direcional e resolução espacial. Nem todos conseguem apresentar todas as características ao mesmo tempo, portanto, a escolha do dosímetro de radiação deve levar em conta os principais requisitos para a medida de cada situação em particular [4].

Inicialmente, satisfazendo as condições mundialmente exigidas, as câmaras cilíndricas foram os dosímetros mais utilizados na obtenção de dose absorvida na água, calibradas em termos de kerma no ar. Após publicação do TRS nº 277, a maioria dos protocolos nacionais e internacionais, passou a reconhecer as vantagens apresentadas pelas câmaras de ionização de placas paralelas para dosimetria tanto de feixes de elétrons quanto de fótons [5].

Devido à necessidade de alta precisão na liberação da dose absorvida no volume alvo, é necessário avaliar a confiabilidade das medidas de câmaras de ionização utilizadas na dosimetria dos

feixes de radiação aplicados à terapia. Para isto é necessário que elas sejam previamente calibradas em feixes padrões de radiação nos laboratórios específicos para este fim.

Os laboratórios específicos para calibração são classificados em Laboratório de Dosimetria Padrão Primário (PSDL) e Laboratório de Dosimetria Padrão Secundário (SSDL).

Os padrões primários são instrumentos de mais alta qualidade metrológica. A precisão que se verifica se deve a comparações interlaboratoriais com instrumentos do mesmo nível metrológico, além de comparação com o Bureau International des Poids et Mesures (BIPM). Os padrões primários são mantidos pelos PSDL's em cerca de 20 países no mundo [4]. Na América Latina não há laboratórios deste tipo.

Padrões primários não costumam ser utilizados em calibrações rotineiras, ao invés disso os PSDL's calibram dosímetros padrões secundários para os SSDL's que por sua vez, atuam como referência nacional e são usados para calibrações dos usuários, tais como as câmaras de ionização usadas em procedimentos de radioterapia [4].

O Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes, LNMRI, está localizado no IRD (CNEN/RJ) e possui padronização secundária. Este realiza calibração apenas para feixes de Raios X para as câmaras de ionização do tipo cilíndricas, que são utilizadas na faixa de ortovoltagem.

No que se refere à calibração das câmaras de ionização de placas paralelas, que são utilizadas em raios X de baixas energias e em feixes de elétrons, o Brasil ainda não possui uma metodologia bem estabelecida. Desta forma, se pretende estabelecer um procedimento ou metodologia de calibração no Laboratório de Calibração de Instrumentos (LCI) do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN). Esta metodologia deve ser aplicada a câmaras de ionização de placas paralelas para feixes de fótons com energias variando de 50 kV a 100 kV

Segundo o Technical Reports Series nº 398, as câmaras de ionização utilizadas na dosimetria de feixes de radioterapia devem ser calibradas em termos de dose absorvida na água [6].

2. Métodos

Foi feito um levantamento bibliográfico dos procedimentos de calibração de câmaras de ionização de placas paralelas realizados pelos principais laboratórios no mundo. Estes laboratórios são o Bureau International des Poids et Mesures, na França, o National Institute of Standards and Technology, EUA, o National Physical Laboratory, Inglaterra, o Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Alemanha, o PTW- Freiburg que é membro do serviço de calibração alemão (DAkkS) e o Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD).

Neste estudo, foram identificadas para cada laboratório analisado, as condições de medida da

dose absorvida para a faixa de energia de interesse, e as incertezas associadas na calibração.

3. Resultados

O BIPM mantém padrões primários realizando calibrações somente para qualidades recomendadas de Raios X e para Raios gama de ^{60}Co . Para os raios X a calibração é realizada em termos de exposição e kerma no ar. Já para os raios gama, a calibração pode ser realizada tanto em termos de exposição e kerma no ar como de dose absorvida na água.

A determinação da grandeza kerma no ar em radiação X é realizada com um alcance de potencial de 10 kV a 250 kV. Três tipos de câmaras de ionização cobrem este alcance. As câmaras são de ar livre e variam de acordo com a faixa de operação, para baixas energias, operando de 10 kV a 50 kV, para feixes de mamografia, 25 kV a 35 kV e para médias energias, 100 kV a 250 kV. As incertezas na determinação do kerma para os raios X de baixa e média energia são de no máximo $\pm 0,19\%$, e $\pm 0,21\%$ respectivamente e para exposição $\pm 0,11\%$ e $\pm 0,15\%$ respectivamente [7].

O NIST utiliza para calibração das câmaras de ionização medidas realizadas com calorímetro a água, dispensando cálculos de conversão como os necessários para calorímetros a grafite. Este atua como PSDL e segue o protocolo Task Group 51 que envolve a calibração de câmaras de ionização usando feixes de fótons com energias entre os valores de ^{60}Co até 50 MV e feixes de elétrons com energias entre 4 MeV e 50 MeV [8, 9].

O NPL realiza calibração em feixes de fótons para radioterapia em termos de dose absorvida e kerma no ar. Para kerma no ar o serviço pode ser realizado tanto para câmaras de ionização de placas paralelas quanto para câmaras de ionização cilíndricas. Para dose absorvida na água, são calibradas apenas câmaras cilíndricas que são irradiadas com feixes de ^{60}Co e raios X de 4 MV e 25 MV e cujo padrão primário são micro calorímetros a grafite. A incerteza associada à calibração é de $\pm 0,5\%$. [10, 11].

O serviço de calibração em dose absorvida na água para feixes de terapia no NPL é baseado em medidas de dose absorvida realizadas por calorímetro a grafite. As qualidades para calibração são fótons de ^{60}Co e raios X de 2 MV a 19 MV, com incerteza na medida da dose absorvida de 0,26%, e feixes de elétrons de 4 MeV a 19 MeV, com incerteza na medida da dose de 0,22% [12].

O PTW é formalmente reconhecido como um laboratório de dosimetria padrão secundário na IAEA/WHO SSDL. Esta expressão quer dizer que o PTW exerce uma excelente e produtiva cooperação com a IAEA, a qual requalificou por três vezes seguidas o PTW como fornecedor de equipamentos dosimétricos clínicos preferido. Esta

relação de cooperação também é estabelecida com o PTB [13].

Como se sabe a base de qualquer calibração é um padrão de referência calibrado a um padrão com uma qualidade metrológica superior. Para o PTW as câmaras de referência são calibradas pelo PTB. Além disso, regularmente há comparações entre os dados do PTW com a IAEA, garantindo que as calibrações pelo PTW possuem uma boa base e estão de acordo com os padrões internacionais [14].

Atualmente o PTW realiza calibração de medidores na área radiológica e de terapia que alcança desde aparelhos para faixa de mamografia e raios X de baixa energia até fótons de ^{137}Cs e de ^{60}Co [13].

No que se refere às câmaras de ionização de placas paralelas aplicadas a feixes de terapia, a calibração em termos de dose absorvida na água é realizada tipicamente com ^{60}Co . No entanto, se requerido esta pode ser realizada com uma série de qualidade de raios X denominadas TH 70 (TH 100, TH 140) – TH 280 [14].

Dentre os diversos tipos de câmaras de ionização calibradas pelo PTW, as câmaras de ionização de placas paralelas tipo 23342 e 23344 podem ser calibradas com medidas tanto em kerma no ar como dose absorvida na água e para feixes de raios X variando de 10 kV a 100 kV [15].

Como mencionado anteriormente, o padrão secundário do Brasil é mantido pelo LNMRI, que realiza calibração de fontes e substâncias radioativas, emissores alfa, beta, beta-gama e gama, calibração de monitores de área, monitores pessoais, dosímetros clínicos, câmaras de ionização e outros instrumentos de medição de radiações ionizantes para feixes de radiação beta, X, gama e nêutrons [16].

Ao que se refere às câmaras de ionização, apenas as câmaras do tipo cilíndricas para raios X convencional são calibradas no LNMRI. Esse serviço está em conformidade com a Norma NBR ISO IEC 17025 [17].

4. Discussão e Conclusões

Como pôde ser visto, dentre os laboratórios estudados, o PTW foi o laboratório que melhor se enquadrou com o objetivo da pesquisa. Este laboratório é detentor de uma metodologia de calibração para câmaras de ionização de placas paralela em padrão de dose absorvida na água, cujas câmaras apresentam estabilidade numa faixa de energia entre 10 kV e 100 kV. Com este trabalho, se pretende aperfeiçoar o estudo desta metodologia e então estabelecer no Laboratório de Calibração de Instrumentos do IPEN, procedimentos de câmaras de ionização em feixes de terapia com energias variando de 50 kV a 100 kV.

Referências

1. BRAHME, A.; Physical Methods, Instruments and Measurements - Radiation Therapy: Radiation Therapy: Vol. IV, Stockholm, ed. Eolss. pag 7,8.

2. BULLA, R. T. S.; Métodos de Calibração de Câmaras de Ionização de Placas Paralelas para Dosimetria de Feixes de Elétrons: PEN-USP, 1999. p. 1-2;17-18. Dissertação (Mestrado) – INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES, São Paulo, 1999.
3. ATTIX, F.H.; Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetry. Ed. John Wiley & Sons. N. York, 2004.
4. PODGORSK, E.B.; Radiation Oncology Physics. IAEA. Viena, July, 2005.
5. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY.; The Use of Plane-Parallel Ionization Chambers in High-Energy Electron and Photon Beams. An International Code of Practice for Dosimetry. IAEA, Vienna, 1995 (Technical Reports Series No. 381).
6. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY.; Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy, An International Code of Practice for Dosimetry Based on Standards of Absorbed Dose to Water. IAEA, Vienna, 2000 (Technical Reports Series No. 398).
7. PERROCHE, A.M., BOUTILLON, M.; Measuring Conditions Used for the Calibration of Ionization Chambers at the BIPM. BIPM, October, 1991. (Rapport BIPM-91/5).
8. SHOBE, J., MINNITI, R. *et al.*; Absorbed dose to Water Calibration of Ionization Chambers in a ^{60}Co Gamma-Ray Beam. NIST. September, 2006. (NIST Special Publication 250-74).
9. ALMOND, P.R., BIGGS, P.J. *et al.*; AAPM's TG-51 protocol for clinical reference dosimetry of high-energy photon and electron beams. AAPM. June, 1999.
10. DUSAUTOY, A.R.; The UK primary standard calorimeter for photon-beam absorbed dose measurement. NPL. UK, June, 1995.
11. NATIONAL PHYSICAL LABORATORY <[http://www.npl.co.uk/ionising-radiation/dosimetry/products-and-services/photon-beam-calibration-service-for-radiotherapy-\(air-kerma-and-absorbed-dose\)](http://www.npl.co.uk/ionising-radiation/dosimetry/products-and-services/photon-beam-calibration-service-for-radiotherapy-(air-kerma-and-absorbed-dose))>. Acesso em 20 de setembro de 2012.
12. THWAITES, D.I., DUSAUTOY, A.R. *et al.*; The IPEM code of practice for electron dosimetry for radiotherapy beams of initial energy from 4 to 25 MeV based on an absorbed dose to water calibration. IPEM, September, 2003.
13. PTW-FREIBURG. PTW History and General Remarks. Detectors. 2010/2011.
14. PTW-FREIBURG .Calibrations at PTW – A short guide. 2011.
15. PTW – UNIDOS. Universal Dosemeter. Instruction Manual. Firmware nº 2.20. (D196.131.0/4).
16. METROLOGIA CIENTÍFICA E INDUSTRIAL. <<http://www.inmetro.gov.br/metcientifica/ionizantes.asp>>. Acesso em: 21 de setembro de 2012.
17. LABORATÓRIO NACIONAL DE METROLOGIA DAS RADIAÇÕES IONIZANTES. <http://lnmri.ird.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=32&Itemid=10>. Acesso em: 21 de setembro de 2012.

Contato:

Camila Trindade de Oliveira
ctoliveira@ipen.br