

## IMPLEMENTAÇÃO DA PADRONIZAÇÃO SECUNDÁRIA EM TERMOS DE DOSE ABSORVIDA NA ÁGUA NO BRASIL

Laura Natal Rodrigues

Laboratório de Calibração de Instrumentos, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares  
São Paulo, Brasil (lnatal@ipen.br)

**Resumo:** Atualmente, a Agência Internacional de Energia Atômica publicou o documento final do novo código de prática internacional (IAEA 2001) baseado em padrões de dose absorvida na água, o qual está sendo implementado no Brasil. Esta implementação está sendo feita gradualmente através da transição do protocolo de dosimetria existente (IAEA 1997) no país. O procedimento adotado no presente trabalho consiste em obter a razão entre o fator de calibração em termos de dose absorvida na água com relação ao fator de calibração em termos de kerma no ar respectivamente. São apresentados os resultados dos fatores de calibração assim obtidos de 46 serviços de Radioterapia. A validação da metodologia empregada e dos resultados encontrados é realizada pela comparação com resultados encontrados na literatura, os quais mostraram uma boa concordância. A incerteza relativa do fator de calibração em termos de kerma no ar é 0,8% (fator de cobertura  $k = 2$ ) e de 0,9% para o fator de calibração em termos de dose absorvida na água, fornecendo uma incerteza combinada de 1,2% (fator de cobertura  $k = 2$ ) para a razão entre estes fatores.

**Palavras chave:** padrões de dose absorvida, padronização secundária, protocolos de dosimetria.

### 1. INTRODUÇÃO

O objetivo principal da Radioterapia é liberar uma distribuição de dose curativa para os tecidos alvos a fim de erradicar todas as suas células clonogênicas mantendo ao mesmo tempo as reações agudas e tardias nos tecidos saudáveis e normais em um nível mínimo. Esta é uma tarefa árdua já que é impossível liberar dose somente ao volume alvo sem afetar os tecidos saudáveis, sobretudo no caso de tumores profundos que são tratados por feixes externos. Desta forma, o objetivo primário da Radioterapia é liberar uma dose suficientemente alta para as células tumorais, mantendo ao mesmo tempo a dose nos tecidos normais circunvizinhos o mais baixo possível.

A publicação do ICRU [1] concluiu que existe a evidência para certos tipos de tumores que a precisão requerida na determinação da dose absorvida no volume alvo deve estar dentro de limites de incerteza de  $\pm 5\%$  ou até menos caso seja pretendida a erradicação do tumor. O requisito de tal

precisão pode ser considerado como uma tolerância para o desvio entre a dose prescrita e a dose liberada no alvo. Conseqüentemente, existe uma grande necessidade de aperfeiçoamento na dosimetria.

Desde 1978 o Comitê Alemão de Padrões (Normenausschuss Radiologie im DIN - Deutsches Institut für Normung) propôs formalmente a calibração de instrumentos de campo em termos de "dose absorvida na água" para toda faixa de energia de feixes de fótons utilizados em Radioterapia [2]. Entretanto, esta aproximação não foi adotada na época uma vez que não existia a disponibilidade de nenhum padrão de dose absorvida na água.

A dose absorvida na água é a grandeza de interesse principal em Radioterapia, já que esta grandeza relaciona o mais próximo possível dos efeitos biológicos produzidos pela radiação ionizante. A vantagem principal de se ter tal grandeza como padrão básico é que a mesma grandeza é empregada ao longo de toda a cadeia metrológica, desde os padrões primários até os instrumentos de campo. Além do mais, a grandeza (dose absorvida) em termos da qual os padrões primários determinam as suas leituras estará próxima do efeito físico no qual o padrão se baseia, o que minimizará a aplicação de vários fatores de correção assim como as incertezas envolvidas neste procedimento. É importante ressaltar que este conceito de calibração em termos de dose absorvida na água se aplica a todos os tipos de radiação e para todas as energias.

Seguindo este conceito, vários laboratórios de calibração (BIPM, NPL, NRC e PTB) desenvolveram ou estão desenvolvendo calorímetros como padrão primário para dose absorvida na água em raios- $\gamma$  de  $^{60}\text{Co}$  bem como em aceleradores lineares. A primeira etapa neste procedimento é fornecer o fator de calibração em termos de dose absorvida na água para os usuários no feixe de referência, geralmente raios- $\gamma$  de  $^{60}\text{Co}$ . A Segunda etapa consiste na determinação dos fatores de correção da câmara que dependem da qualidade do feixe para várias energias.

9957

Desde a publicação do protocolo da IAEA [3], vários países que tinham o seu próprio protocolo passaram a adotá-lo visando a uniformização da dosimetria em Radioterapia em nível internacional. Logo após a sua publicação, foi criado um Programa de Pesquisa Coordenado pela IAEA com o objetivo de testar este protocolo. O trabalho desenvolvido por este programa resultou em um Relatório Técnico da IAEA [4] no qual ficou estabelecido que a dosimetria para feixes de  $^{60}\text{Co}$ , feixes de fótons e elétrons com energias acima de 10 MeV estavam consistentes com os conceitos estabelecidos pelo protocolo da IAEA [3].

Simultaneamente surgiu uma proposta de um novo formalismo para a determinação da dose absorvida na água [5]. Neste formalismo as etapas para a determinação da dose são bastante simplificadas e conseqüentemente as incertezas envolvidas são menores. Desde a publicação do DIN 6800 [6], alguns Laboratórios já estão utilizando este formalismo com o objetivo de determinar a dose absorvida na água. Além disto, foram realizadas intercomparações anuais visando a aplicação prática deste novo formalismo assim como estabelecer a estabilidade a longo prazo de seus padrões de dose absorvida.

De acordo com os procedimentos de calibração de dosímetros clínicos estabelecidos e recomendados pela publicação da Agência Internacional de Energia Atômica [7] assim como as recomendações referentes à utilização, cuidados e manuseio de tais instrumentos, o Laboratório de Calibração de Instrumentos (LCI) do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN/CNEN/SP) iniciou a implantação da calibração de dosímetros clínicos em termos de dose absorvida na água para raios- $\gamma$  de  $^{60}\text{Co}$  em julho de 2002 [8]. Além disto, a adoção do novo formalismo da IAEA [9] e sua concomitante disseminação para os hospitais no país, acarretará na minimização das incertezas envolvidas na determinação da dose absorvida na água e, conseqüentemente, na incerteza final na liberação da dose em pacientes submetidos a tratamentos radioterapêuticos.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

De acordo com este novo formalismo da IAEA [9], a determinação da dose absorvida na água é dada simplesmente pelo produto da leitura da câmara de ionização, pelo fator de calibração em termos da dose absorvida na água e pelo produto dos fatores de correção. Estes fatores de correção levam em consideração todos os efeitos devido às grandezas de influência que diferem do valor de referência. Isto pode ser obtido experimentalmente pela comparação da câmara de ionização com o padrão primário, sob condições de referência.

As grandezas de influência são aquelas grandezas que não são objeto de medida mais influenciam o valor medido, tais como temperatura, umidade, pressão, tensão de polarização, taxa de dose e qualidade da radiação. A qualidade da

radiação, no documento DIN 6800 [6], é considerada explicitamente como grandeza de influência. A radiação gama de  $^{60}\text{Co}$  é considerada como qualidade de referência e medidas em outras qualidades requerem um fator de correção. Este tratamento formal resulta em apenas um fator de calibração para a câmara de ionização, e os fatores de correção estão relacionados apenas com uma grandeza de influência.

Desta forma, pode-se constatar que este procedimento elimina as incertezas associadas com a conversão de um fator de calibração em termos de kerma no ar para um fator de calibração em termos de dose absorvida na água, uma vez que este procedimento utiliza apenas uma relação fundamental, reduzindo conseqüentemente a probabilidade de erros pelo usuário no hospital.

O novo formalismo da IAEA [9] está sendo implantado no Laboratório de Calibração de Instrumentos do IPEN de acordo com as recomendações deste novo protocolo de dosimetria, que está direcionado para os hospitais que tenham os fatores de calibração de suas câmaras de referência em termos de dose absorvida na água rastreáveis a um Laboratório de Dosimetria Padrão Secundário. Como o LCI está por sua vez rastreado ao Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes (LNMRI/IRD) em termos da grandeza em questão, para raios- $\gamma$  de  $^{60}\text{Co}$ , é possível então oferecer, como resultado deste trabalho, a calibração de dosímetros clínicos em termos de dose absorvida na água.

A metodologia adotada pelos laboratórios de calibração no Brasil consiste em fornecer experimentalmente o fator de calibração para o feixe de  $^{60}\text{Co}$ , devido à possibilidade remota de se dispor de aceleradores lineares nos laboratórios. Os hospitais, por sua vez, ao empregarem outras qualidades de radiação diferentes da qualidade de referência, utilizarão os fatores de correção obtidos teoricamente para a determinação da dose absorvida na água em feixes radioterapêuticos. Tais fatores de correção são fornecidos e tabelados neste novo protocolo de dosimetria, para todas as câmaras de ionização disponíveis comercialmente até o presente momento.

O novo protocolo de dosimetria da IAEA será implantado gradualmente no Brasil, fazendo assim a transição a partir do protocolo existente [3] no país. Tal transição será feita através da própria recomendação do documento em questão para os laboratórios de calibração, quer seja, determinar os fatores de calibração dos hospitais em termos de kerma no ar e dose absorvida na água e obter a razão experimental entre estes dois fatores. Cada laboratório deverá construir os gráficos assim obtidos com a razão destes fatores, e analisados para cada modelo de câmara de ionização calibrado pelo laboratório. Estes gráficos serão então comparados com os fornecidos pelos diferentes laboratórios de calibração em nível internacional, até que se obtenha uma confiabilidade maior na metodologia adotada para o fornecimento deste novo serviço de calibração para os hospitais do país em questão.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para implementar o novo formalismo para determinação da dose absorvida na água, foi realizada uma série de calibrações em termos de dose absorvida na água e em termos de kerma no ar a fim de avaliar a razão  $N_{D,w}/N_K$  para as câmaras de ionização pertencentes aos serviços de Radioterapia no Brasil.

Os resultados obtidos no trabalho atual são mostrados na Tabela 1 apresentada a seguir.

Tabela 1 – Valores experimentais para a razão  $N_{D,w}/N_K$  para as câmaras de ionização analisadas nesta investigação.

Modelo da câmara	Amostragem	Razão $N_{D,w}/N_K$	Desvio padrão (k=1)
A12	6	1,099	0,013
N23333	2	1,089	0,013
N30001	4	1,094	0,013
N30013	4	1,093	0,013
NE2505/3A	2	1,096	0,013
NE2561	5	1,084	0,013
NE2571	14	1,095	0,013
NE2581	6	1,096	0,013
IC70	3	1,095	0,013

Observa-se que para quatro câmaras NE2561, empregadas como padrões de transferência, fornecem uma razão  $N_{D,w}/N_K$  de  $(1.084 \pm 0.013)$  e apresenta uma boa concordância de 0.7% e 0.5% comparada com as razões obtidas pelo NPL [10] e pela IAEA [11] respectivamente. A razão  $N_{D,w}/N_K$  para as câmaras NE2571 é de  $(1.096 \pm 0.013)$  que mostra uma excelente concordância de  $\pm 0.3\%$  com os resultados obtidos na literatura [11-13]. A razão  $N_{D,w}/N_K$  para as câmaras PTW N30001 é de  $(1.091 \pm 0.013)$  em excelente concordância de +0.3% comparada com os valores da IAEA [11]. No entanto, para as câmaras NE2505/A e NE2581, as razões de  $N_{D,w}/N_K$  de  $(1.096 \pm 0.013)$  e  $(1.096 \pm 0.013)$  respectivamente apresentam uma variação maior de +1.2%. A razão  $N_{D,w}/N_K$  encontrada para as câmaras Exradin A12 foi de  $(1.104 \pm 0.013)$ , cujo resultado apresenta uma boa concordância de 0,2% com os valores encontrados pelo BIPM para este tipo de câmara [14]. No entanto, não foram encontrados na literatura nenhum valor para as câmaras Wellhöfer IC 70  $(1.095 \pm 0.013)$  e PTW N30013  $(1.092 \pm 0.013)$  respectivamente. Na Figura 1, são ilustrados os resultados obtidos na presente investigação.

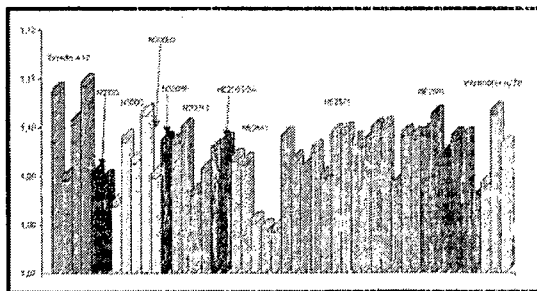


Figura 1 – Valores experimentais das razões  $N_{D,w}/N_K$  obtidas pelo LCI e LNMRI para as câmaras de ionizações pertencentes aos hospitais.

As incertezas relativas dos fatores de calibração  $N_K$  e  $N_{D,w}$  foram estimadas como sendo iguais a 0.8% (fator de cobertura k=2) e 0.9% (fator de cobertura k=2), fornecendo uma incerteza combinada de 1.2% (fator de cobertura k=2) para a razão  $N_{D,w}/N_K$ .

### 4. CONCLUSÃO

O método adotado no presente trabalho e a comparação das razões  $N_{D,w}/N_K$  com os valores encontrados na literatura fornecem a confiabilidade necessária para a adoção do novo protocolo da IAEA no Brasil. Além disso, os fatores de calibração em termos de dose absorvida na água já estão sendo fornecidos pelo Laboratório de Calibração de Instrumentos do IPEN desde julho de 2002. De acordo com as recentes recomendações da IAEA, espera-se que em um período de 5 anos todos os laboratórios de calibração pertencentes à rede de calibração da IAEA/WHO possam efetivar e finalizar a transição para o novo formalismo para a determinação da dose absorvida na água. Tal implementação causará um grande impacto nos serviços de Radioterapia no país uma vez que tal procedimento minimizará a dose prescrita no tumor em pacientes submetidos a tratamentos radioterapêuticos.

### REFERÊNCIAS

- [1] International Commission on Radiation Units, Determination of Absorbed Dose in a Patient Irradiated by Beams of X or Gamma rays in Radiotherapy Procedures, *Report 24*, ICRU, Bethesda, MD, 1976.
- [2] H.Reich, Choice of measuring quantity for therapy-level dosimeter *Phys. Med. Biol.* **24**, 895-900, 1979.
- [3] International Atomic Energy Agency, Absorbed Dose Determination in Photon and Electron Beams 2<sup>nd</sup> edition Technical Report Series No.277, IAEA, Vienna, 1997.
- [4] International Atomic Energy Agency, Review of data and methods recommended in the International Code of Practice: IAEA Technical Report Series No. 277 Absorbed Dose Determination in Photon and Electron Beams, *Proceedings of a Consultants Meeting*, IAEA, Vienna, 100p, 1993.
- [5] K. Hohlfield, The standard DIN 6800: Procedures for absorbed dose determination in radiology by the ionization method. *Dosimetry in Radiotherapy*, Vol I, IAEA-SM-298/31, IAEA, Vienna, p. 13-22, 1988.
- [6] DIN Dosismessverfahren in der radiologischen technik ionisationsdosimetrie, *Norm DIN 6800*, Teil 2, 1991.
- [7] International Atomic Energy Agency, Calibration of Dosimeters used in Radiotherapy *Technical Report Series No.374*, IAEA, Vienna, 1994.
- [8] L.N. Rodrigues and da Silva C. N. M. Implementation of the new IAEA Code of Practice in Brazil *Proceedings of the International Symposium on Standards and Codes of Practice in Medical Radiation Dosimetry*, Paper CN-96-20, p. 1-5, IAEA, Vienna, 2002.

- [9] International Atomic Energy Agency, Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy *Technical Report Series No.398*, IAEA, Vienna, 2000.
- [10] International Atomic Energy Agency. Report of a Nordic dosimetry meeting on the implementation of the new international code of practice for radiotherapy dosimetry TRS-398, SSDL Newsletter 45, IAEA, Vienna, p. 25-27, 2001.
- [11] A. Meghzifene, L. Czap and P. Andreo, Intercomparison of ionization chamber calibration factors in the IAEA/WHO network of SSDLs, SSDL Newsletter 38, IAEA, Vienna, p. 13-19, 1998.
- [12] P.Sharpe, Progress Report on radiation Dosimetry at NPL, Consultative Committee for Ionization radiation, Working document CCRI(I)/01-21, Bureau International des Poids et Mesures, Sèvres, p. 1-7, 2001.
- [13] H. M. Kramer, Informative Progress Report on the Standards for Water Absorbed Dose at PTB, Committee for Ionization radiation, Working document CCRI(I)/01-20, Bureau International des Poids et Mesures, Sèvres, p. 1-2, 2001.
- [14] K. Shortt, A. Meghzifene, M. Saravi, R. Amorim, F. Gutt, V. Tovar and J. Shobe, International dosimetry comparison, paper presented at 2002 American Association of Physicists in Medicine Meeting, Montreal, 2002.

---

**Autora:**

Dra. Laura Natal Rodrigues  
Laboratório de Calibração de Instrumentos  
Centro de Metrologia das Radiações  
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN/CNEN  
Av. Prof. Lineu Prestes 2242 – Cidade Universitária  
05508-000 – São Paulo – SP  
Brasil  
Tel/Fax: 011-38169216  
e-mail: lnatal@ipen.br