



## METODOLOGIA PARA DOSIMETRIA DE CAMPOS DE RADIAÇÃO X – NÍVEL RADIOTERAPIA – UTILIZANDO SISTEMAS TANDEM DE CÂMARAS DE IONIZAÇÃO COMERCIAIS\*

Edvaldo Pereira Galhardo<sup>1</sup>, Linda V.E. Caldas<sup>2</sup>

**Resumo** Para a utilização dos campos de radiação X nas clínicas de radioterapia e nos laboratórios de calibração de detectores de radiação é necessário o conhecimento de suas características e o controle periódico do desempenho das câmaras de ionização utilizadas nas medidas. Neste trabalho é apresentada uma metodologia para a utilização do sistema Tandem, de forma rotineira, na dosimetria dos feixes de radiação X – nível radioterapia – em substituição ao procedimento rotineiro convencional de determinação de camadas semi-redutoras utilizando-se absorvedores. A grande vantagem deste método se deve ao fato de ser um procedimento simples e rápido e com resultados equivalentes à dosimetria realizada pela metodologia convencional.

**Abstract** *Methodology for X radiation beam dosimetry – radiotherapy level – using Tandem systems of commercial ionization chambers.*

The use of X radiation beams in radiotherapy clinics and calibration laboratories requires knowledge of their characteristics as well as a periodic control of the ionization chambers used for the measurements. In this paper a methodology for the use of Tandem systems in routine procedure for X radiation beam dosimetry – radiotherapy level – as a replacement for the conventional procedure of determination of half-value layers through the utilization of absorbers is presented. The main advantage of this method is that it is simple, fast and the results are equivalent to those obtained by conventional techniques.

Galhardo EP, Caldas LVE. Metodologia para dosimetria de campos de radiação X – nível radioterapia – utilizando sistemas Tandem de câmaras de ionização comerciais. *Radiol Bras* 2000;33:227–231.

### INTRODUÇÃO

O uso de sistemas Tandem para fins de dosimetria já é conhecido há muito tempo<sup>(1-3)</sup>. Neste caso, consiste no uso de dois detectores termoluminescentes individuais com dependências energéticas diferentes e que permitem determinar a energia efetiva em campos de radiação X não conhecidos. Albuquerque e Caldas utilizaram sistemas Tandem compostos por câmaras de ionização de placas paralelas, construídas no Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (Ipen), do mesmo tipo, mas com características distintas, para se determinar a energia efetiva e a taxa de dose absorvida em campos de radiação<sup>(4-6)</sup>.

Para a dosimetria de feixes de radiação X de energias baixas e intermediárias (nível radioterapia), outros sistemas Tandem de câmaras de ionização também foram caracterizados e testados, demonstrando a viabilidade do uso desta técnica de forma rotineira<sup>(7-9)</sup>.

A obtenção dos sistemas Tandem de câmaras de ionização baseia-se no fato de as câmaras de ionização possuírem, geralmente, uma resposta dependente da qualidade de radiação, que é variável com o tipo de câmara. Pode-se expressar essa dependência pela variação das leituras em função das camadas semi-redutoras (CSR) ou das energias efetivas.

Periodicamente, deve-se verificar as condições dos feixes de radiação utilizados nos procedimentos rotineiros. Da mesma forma, as câmaras de ionização e os eletrômetros utilizados devem ser controlados periodicamente, quanto ao seu desempenho. As características dos feixes de radiação X podem ser descritas em relação às qualidades dos feixes, dadas em termos dos potenciais aplicados ao tubo, filtrações totais e CSRs.

Pode-se também utilizar o conceito de energia para caracterizar a distribuição espectral de um feixe de raios X<sup>(10)</sup>.

Geralmente, a dosimetria dos feixes de radiação constitui um processo demorado, pois no método convencional utilizado para a determinação das CSRs, por meio da adição de absorvedores, necessita-se de um intervalo de tempo considerável para se obter as medidas.

Este trabalho tem como objetivo apresentar uma metodologia simples para a dosimetria dos feixes de radiação X utilizados em radioterapia. Foram utilizadas câmaras de ionização comerciais, cilíndricas e de placas paralelas, que apresentam diferença na dependência energética, para a faixa de energia testada, e que podem constituir, por isso, um sistema Tandem, para a verificação rotineira das condições dos feixes. Não foi utilizado nenhum tipo de absorvedor ou de qualquer outro tipo de arranjo especial, como no caso da técnica convencional. A maioria dos Serviços de Física Médica possui dois tipos de câmaras de ionização e eles podem utilizar esta técnica

1. M.Sc., Departamento de Física e Matemática da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, SP.

2. Dr., Diretoria de Segurança Nuclear, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares/Comissão Nacional de Energia Nuclear (Ipen/CNEN), São Paulo, SP.

Endereço para correspondência: Dra. Linda V.E. Caldas, Diretoria de Segurança Nuclear, Ipen/CNEN-SP, Travessa R, 400, Cidade Universitária, São Paulo, SP, 05508-900. E-mail: lcaldas@net.ipen.br

Aceito para publicação em 7/1/2000.

para obter informações a respeito das condições do feixe de radiação de maneira prática e rápida. Também propõe-se uma metodologia passo-a-passo para aqueles que desejam formar e testar os seus próprios sistemas Tandem para a verificação rotineira das condições dos campos de radiação X utilizados em radioterapia. Os resultados desta técnica são tão confiáveis quanto aqueles obtidos com o método convencional.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### 1. Sistema de radiação X

O equipamento de raios X utilizado foi do tipo Stabilipan 300, da Siemens. As qualidades implantadas no Serviço de Radioterapia do Hospital A.C. Camargo são mostradas na Tabela 1.

As condições ambientais foram monitoradas com o auxílio de um barômetro portátil e de um termômetro de coluna de mercúrio. Para a estabilização do equipamento de raios X esperou-se sempre mais do que 30 minutos.

Para a obtenção dos valores das CSRs foi utilizado um cone que fornece um campo de 6 × 8 cm a 50 cm do alvo, pela técnica convencional. Foram utilizadas as câmaras da própria Instituição e os seus arranjos e procedimentos rotineiros para a determinação das CSRs e das taxas de dose no ar.

### 2. Sistemas de medidas

Foram utilizadas duas câmaras de ionização:

1 - Câmara de ionização de placas paralelas (tipo superficial), modelo 2532/3 (0,03 cm<sup>3</sup>, série 171054), da Nuclear Enterprises (NE), denominada S;

2 - câmara de ionização cilíndrica (tipo dedal), modelo 2505/3 (0,6 cm<sup>3</sup>, série 1227), da NE, denominada D.

Essas câmaras foram acopladas a um eletrômetro Baldwin Farmer, da NE, modelo 2502/3, série 330. O eletrômetro e as câmaras pertencem ao Laboratório de Calibração de Instrumentos do Ipen.

O tempo mínimo para a estabilização dos sistemas constituídos pelas câmaras e o eletrômetro foi sempre superior a 30 minutos.

**Tabela 1** Qualidades de radiação X do sistema Stabilipan 300 (Siemens) do Hospital A.C. Camargo.

Tensão (kV)	Corrente (mA)	Filtração total <sup>(*)</sup> (mm)	1ª CSR (mm)	Energia efetiva (keV)
60	20	2,0 Al	1,70 Al	25,4
80	20	2,0 Al	2,20 Al	29,8
120	20	0,2 Cu	0,32 Cu	40,0
160	20	0,5 Cu	0,80 Cu	74,0
200	20	1,0 Cu	1,50 Cu	96,4
250	15	Th I <sup>(†)</sup>	2,70 Cu	130,8

<sup>(\*)</sup> Filtração total = filtração inerente + filtração adicional.

<sup>(†)</sup> Th I – Filtro composto por: 0,4 mm Sn + 0,25 mm Cu + 1 mm Al.

### 3. Fontes de controle

Os testes de repetibilidade e de estabilidade a longo prazo, para verificar o desempenho da resposta das câmaras em medidas consecutivas e ao longo do tempo, e o teste de fuga de radiação foram realizados periodicamente, utilizando-se fontes de controle de <sup>90</sup>Sr + <sup>90</sup>Y, do Laboratório de Calibração de Instrumentos do Ipen. Para a câmara cilíndrica D foi utilizada uma fonte de controle da NE, série 10521/88 (para câmaras tipo 2503/3). Para a câmara superficial comercial S foi utilizada uma fonte de controle da Physikalisch-Technische Werkstätten (PTW), type 08, série 74321.

## RESULTADOS

### 1. Testes de controle das câmaras

O objetivo desses testes é assegurar o bom desempenho dos dosímetros clínicos antes, durante e após as medidas realizadas com as câmaras. Os testes de controle realizados foram: testes de corrente de fuga, repetibilidade e estabilidade a longo prazo, utilizando-se as fontes de controle do Laboratório de Calibração de Instrumentos do Ipen.

A corrente de fuga, na maioria dos casos, considerada desprezível, sempre esteve dentro dos valores recomendados nas normas internacionais<sup>(11)</sup>.

Os maiores valores encontrados para o coeficiente de variação, no teste de repetibilidade das câmaras, foram de 0,40% e 0,27% para as câmaras D e S, respectivamente, valores dentro dos recomendados por norma (0,5%)<sup>(11)</sup>.

A variação do teste de estabilidade a longo prazo indicou que a estabilidade do sistema (câmara + eletrômetro), sob as mesmas condições geométricas iniciais, a longo prazo, foi satisfatória e sempre esteve menor do que 1%, valor limite recomendado por norma<sup>(11)</sup>.

### 2. Sistemas Tandem sugeridos e testados

Utilizando-se as duas câmaras comerciais D e S, foi possível formar os seguintes sistemas Tandem:

*Sistema T<sub>1</sub>*: câmara D (dedal 0,6 cm<sup>3</sup>) + câmara S (superficial 0,03 cm<sup>3</sup>).

*Sistema T<sub>2</sub>*: sistema Tandem com os mesmos componentes do sistema T<sub>1</sub>, diferindo deste pelo uso da câmara S com a capa de proteção e a parte metálica voltada para o feixe.

*Sistema T<sub>3</sub>*: sistema Tandem com os mesmos componentes do sistema T<sub>1</sub>, diferindo deste pelo uso da câmara S com a capa de proteção e sem o furo voltado para o feixe.

### 3. Obtenção das curvas Tandem

Para a obtenção das curvas Tandem para radiação X, o procedimento utilizado foi o seguinte: os valores das medidas foram corrigidos para as condições ambientais e, posteriormente, as medidas da câmara dedal D (u.e./min.) foram divididas pelas medidas da câmara superficial S (u.e./min.) de cada um dos sistemas já definidos, para cada qualidade de radiação.

Neste trabalho todas as curvas Tandem das Figuras 1, 2 e 3 foram obtidas a

partir da irradiação, primeiramente, de uma das câmaras em todas as energias; em seguida, o mesmo procedimento foi seguido para a outra câmara.

Pode-se utilizar as medidas realizadas com a câmara D para obter a taxa de exposição ( $dX/dt$ ) do feixe de radiação X, pois esta é a câmara recomendada para medidas nesta faixa de energia, por obedecer aos critérios das recomendações internacionais<sup>(11,12)</sup>.

Sabendo-se a energia efetiva da radiação, tem-se o fator de calibração ( $f_c^e$ ) para, por exemplo, uma das câmaras recomendadas para essa faixa de energia. Obtém-se, portanto, a taxa de exposição no ar ( $dX/dt$ ) pela relação:

$$dX/dt = f_c^e \cdot L$$

onde: L é a razão entre a medida obtida no eletrômetro, em unidades de escala (u.e.), e o intervalo do tempo de medida.

Levando-se em conta que os valores para a obtenção das curvas Tandem foram sempre comparativos e que o valor de exposição foi considerado igual para o par de câmaras, expostas à mesma qualidade de radiação, não foi preciso correção de outros parâmetros, como a distância da janela da câmara ao eletrodo coletor (fator deslocamento), nem no caso da determinação de exposição.

Pelas Figuras 1, 2 e 3, apesar de os sistemas  $T_2$  e  $T_3$  serem uma variação do Sistema  $T_1$ , as medidas relativas entre a câmara dedal D ( $0,6 \text{ cm}^3$ ) e a câmara superficial S ( $0,03 \text{ cm}^3$ ) são diferentes, devido ao artifício utilizado (capa de proteção da câmara S acoplada à esta).

Para o sistema  $T_2$  não foi possível estabelecer pontos para as energias de 25,4 e 29,8 keV, devido aos valores das medidas com a câmara S (com capa de proteção) serem muito baixos.

No caso do Sistema  $T_1$ , o maior valor do coeficiente de variação para a média das medidas iniciais (Figura 1) foi de 1,6%, para a energia de 130,8 keV, e no caso de medidas posteriores foi de 5,2%, correspondente à energia de 25,4 keV.

Para o sistema  $T_2$ , o maior valor do coeficiente de variação para a média das medidas iniciais (Figura 2) foi de 2,6%, que corresponde à energia de 40,0 keV, e no caso de medidas posteriores foi de 2,4%, para a energia de 40,0 keV.

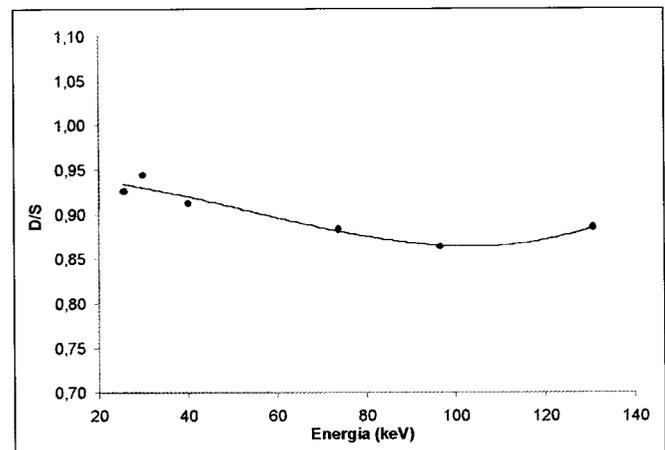
Os maiores valores dos coeficientes de variação para o sistema  $T_3$  foram de 2,2% no caso da média das medidas iniciais (Figura 3), para a energia de 25,4 keV, e de 0,97% para medidas posteriores, para as energias de 29,8 e 96,4 keV.

Todas as composições de câmaras descritas neste trabalho podem ser utilizadas como sistemas Tandem para este equipamento e nesta faixa de energia,

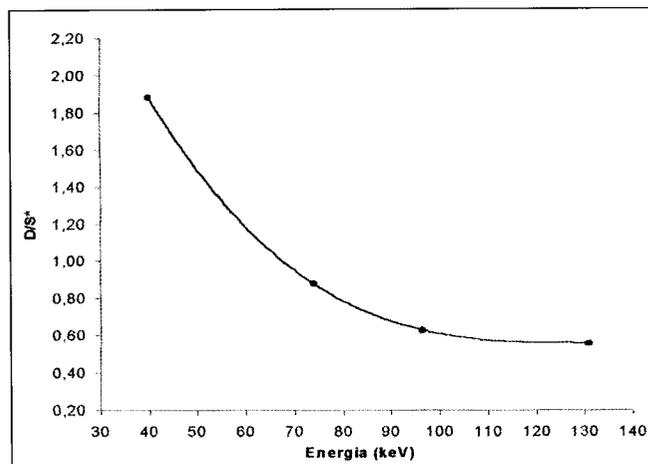
**Figura 1.** Curva Tandem do sistema  $T_1$ , composto pelas câmaras D (dedal  $0,6 \text{ cm}^3$ ) e S (superficial  $0,03 \text{ cm}^3$ ). D/S: razão entre as medidas da câmara D (u.e./min.) e as medidas da câmara S (u.e./min.).

**Figura 2.** Curva Tandem do sistema  $T_2$ , composto pelas câmaras D (dedal  $0,6 \text{ cm}^3$ ) e S\* (superficial  $0,03 \text{ cm}^3$  com capa de proteção e a parte metálica voltada para o feixe de radiação X). D/S\*: razão entre as medidas da câmara D (u.e./min.) e as medidas da câmara S\* (u.e./min.).

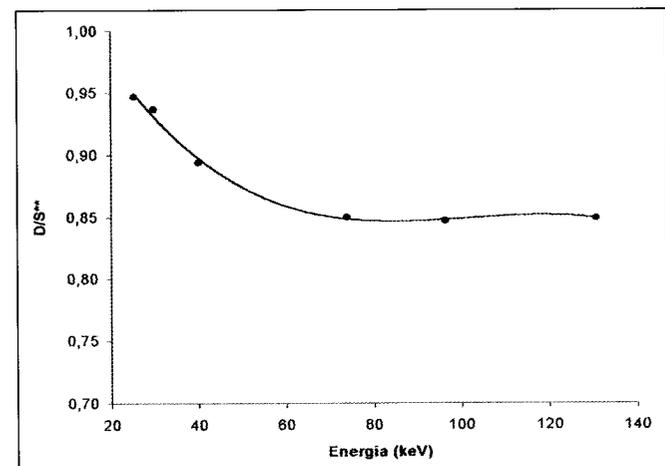
**Figura 3.** Curva Tandem do sistema  $T_3$ , composto pelas câmaras D (dedal  $0,6 \text{ cm}^3$ ) e S\*\* (superficial  $0,03 \text{ cm}^3$  com capa de proteção e o furo voltado para o feixe de radiação X). D/S\*\*: razão entre as medidas da câmara D (u.e./min.) e as medidas da câmara S\*\* (u.e./min.).



**Figura 1**



**Figura 2**



**Figura 3**

com restrição do sistema T<sub>2</sub>, que, para as energias de 25,4 e 29,8 keV, a leitura da câmara superficial (S1) foi praticamente desprezível, o que comprometeu as medidas para estes pontos. Em contrapartida, para o restante da curva este sistema se mostrou adequado e com boa reprodutibilidade.

A reprodutibilidade das curvas ficou comprometida devido à dificuldade de reprodução dos arranjos para as medidas. A oscilação da rede elétrica e do próprio equipamento e a falta de monitoração e de correção para as oscilações dos feixes (pela falta de câmaras monitoras nos feixes) constituíram fatores de erro nos resultados; mesmo assim, as incertezas e os resultados podem ser considerados satisfatórios.

No que se refere à estabilidade dos sistemas testados neste trabalho, a curto e médio prazos, os resultados foram satisfatórios, de modo que se tem uma boa expectativa da utilização destes sistemas para a verificação das condições dos feixes de radiação X também a longo prazo.

A energia efetiva é determinada pela razão entre as medidas do par de câmaras de ionização utilizadas para formar o sistema Tandem, e a taxa de exposição ou a taxa de dose absorvida no ar pode ser obtida pela medida da câmara sem dependência energética (que é recomendada pelas normas internacionais para a faixa de energia em questão).

É necessário, inicialmente, determinar-se as CSRs por meio do método convencional de uso de absorvedores no feixe, para posteriormente poder-se utilizar o sistema Tandem para as verificações periódicas das condições do feixe de raios X. A vantagem principal deste procedimento é o período de tempo muito menor do que aquele utilizado para as medidas de CSR.

Nem sempre um mesmo sistema Tandem apresenta bons resultados para qualquer qualidade de radiação X; por isso, é necessário testar outras combinações e realizar outras medidas além daquelas iniciais, para se garantir que este ou aquele sistema seja o mais adequado para os propósitos em questão.

## METODOLOGIA PROPOSTA

Inicialmente, deve-se determinar as CSRs e todos os parâmetros dos feixes de radiação utilizando-se as técnicas convencionais.

A eficiência do método Tandem consiste em se utilizar duas câmaras de ionização com dependências energéticas diferentes para a faixa de energia utilizada. Uma delas deve ser necessariamente do tipo recomendado pelas normas internacionais e deve estar calibrada para a faixa de energia em questão. Deve-se utilizar o mesmo arranjo para as duas câmaras.

Antes das medidas propriamente ditas, deve-se verificar as condições das câmaras de ionização utilizadas, por meio dos testes de repetibilidade e de corrente de fuga. Estando as câmaras em condições de medidas:

1 - Fazer cinco medidas (M), por energia, com cada câmara no feixe de raios X;

2 - obter a média (M<sub>d</sub>), o desvio padrão (s) e o coeficiente de variação (s%) para cada energia;

3 - fazer a correção das medidas para a temperatura (T<sub>1</sub>) e a pressão (p<sub>1</sub>) ambientais, utilizando o fator de correção F<sub>T,p</sub>, dado por:

$$F_{T,p} = \frac{(273,2 + T_1) \times p_2}{(273,2 + T_2) \times p_1}$$

4 - obter o valor da média corrigida (M<sub>dc</sub>) dividida pelo tempo de exposição da câmara no feixe de radiação X (Δt);

5 - dividir os valores de M<sub>dc</sub>/Δt de uma câmara pela outra;

6 - obter o desvio padrão para cada valor e tabelar os dados resultantes;

7 - traçar um gráfico da razão entre as medidas das duas câmaras em função da energia efetiva ou CSR, para verificar a configuração da curva;

8 - repetir outras quatro vezes as medidas, não-necessariamente em dias consecutivos;

9 - tabelar os dados;

10 - calcular a média e o desvio padrão dos cinco valores obtidos da divisão dos valores de M<sub>dc</sub>/Δt de uma câmara pela outra;

11 - tabelar os dados resultantes;

12 - obter um gráfico destes valores em função da energia.

Estes valores servirão para verificar a estabilidade do sistema.

Após um período de no mínimo um mês após a última medida:

1 - Repetir novamente as medidas nas mesmas condições das anteriores;

2 - fazer as correções necessárias e comparar os dados obtidos com os dados anteriores, a fim de avaliar os desvios relativos destes últimos valores com a média obtida anteriormente.

Para se obter os valores das taxas de exposição ou de dose absorvida no ar, deve-se utilizar as medidas feitas com a câmara que é recomendada para a faixa de energia em questão (câmara de placas paralelas para radiações X de energias baixas e câmara cilíndrica para radiações X de energias intermediárias). Além da correção para temperatura e pressão ambientais, deve-se realizar as outras correções necessárias, como, por exemplo, aplicar o fator de calibração, e obter os valores das taxas para cada energia. Finalmente, deve-se comparar os valores obtidos com os valores anteriores.

As medidas poderão ser feitas trimestralmente ou num intervalo de período mais conveniente para o usuário. Não se deve deixar de fazer a determinação dos valores de CSRs inicialmente pela técnica convencional com o uso de absorvedores no feixe, pois o sistema Tandem é recomendado como método auxiliar rotineiro para a verificação das condições do feixe, já estabelecidos.

Para se registrar as medidas, o usuário pode utilizar formulário próprio, mas a título de ilustração segue um modelo para registro dos dados experimentais (Anexo 1).

## CONCLUSÕES

Os resultados apresentados neste trabalho, pelos conjuntos formados com câmaras comerciais, foram considerados bons e, deste modo, pode-se recomendar estes sistemas Tandem para a verificação das condições dos feixes de radiação X utilizados de forma rotineira, de uma forma simples e rápida, além da

