

USO DE FOTOTRANSISTORES PARA MEDIDA DAS CARACTERÍSTICAS DOSIMÉTRICAS DE FEIXES DE RAIOS-X UTILIZADOS EM RADIOCIRURGIA ESTEREOTÁXICA

Walter M. Santos¹, Clovis A. Hazin¹, Cleber N. de Souza², Luiz Antonio P. dos Santos³ e Eronides F. da Silva Jr⁴

¹ Departamento de Energia Nuclear – UFPE

Av. Prof. Luis Freire, 1000

50740-540, Recife PE, Brasil

² Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN-CNEN/SP

05508-900, Butantã, São Paulo, SP, Brasil,

³ Centro Regional de Ciências Nucleares – CRCN-CNEN/PE

52110-120 Recife, PE, Brasil

⁴ Departamento de Física – UFPE

50670-901, Recife, PE, Brasil

RESUMO

Feixes de raios-x de pequeno diâmetro são normalmente utilizados em radiocirurgia para o tratamento de lesões intracranianas de dimensões reduzidas. O sucesso deste tipo de tratamento tem como premissa um planejamento adequado, o qual, por sua vez, requer a determinação com elevado grau de precisão dos parâmetros característicos do feixe de radiação, tais como, Percentagem de Dose Profunda (PDP), Fator de Rendimento (OF) e Razão Tecido-Máximo (RTM). Entretanto, a dosimetria deste tipo de feixe não é um procedimento simples, devido ao fato de as dimensões dos detectores normalmente utilizados não serem suficientemente pequenas para que seus volumes sensíveis sejam completamente atingidos pelo feixe de radiação, de forma a assegurar o equilíbrio eletrônico. Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de testar a viabilidade de uso de fototransistores como detectores de fótons, para determinação dos parâmetros característicos do feixe de um acelerador de 6 MV utilizado para radiocirurgia. Os resultados indicaram que, sob certas condições, tais dispositivos podem ser utilizados para avaliar os parâmetros dosimétricos de feixes finos utilizados em radiocirurgia.

Keywords: radiosurgery, dosimetry, phototransistor

I. INTRODUÇÃO

A radiocirurgia e a radioterapia estereotáxica por meio de pequenos feixes circulares de fótons produzidos por aceleradores lineares de 4 a 10 MV são técnicas bem estabelecidas, indicadas para aplicar altas doses de radiação em lesões intracraniais pequenas, malignas ou benignas [1,2]. A dosimetria dos feixes de fótons utilizados nestes procedimentos desempenha um papel importante no resultado dos tratamentos e envolve medidas de fatores de rendimento (OF), relação tecido-máximo (RTM), porcentagem de dose profunda (PDP), perfis ou “razão de off-axis”, que são os principais parâmetros utilizados nos cálculos da distribuição das doses dos sistemas de planejamento radiocirúrgicos [3].

As medidas dos parâmetros dosimétricos dos feixes de radiocirurgia exigem cuidados especiais, pois a dose no detector pode diminuir significativamente dentro do volume sensível, o detector pode perder resolução devido ao acentuado gradiente de dose e, em feixes de dimensões pequenas, pode não existir o equilíbrio

eletrônico lateral, concorrendo para que os diferentes tipos de detectores respondam diferentemente em termos da dose absorvida na água [4-6].

Câmaras de ionização de pequenos volumes, diodos de silício, filmes radiográficos ou radiocrômicos, detectores de diamante e dosímetros termoluminescentes são os detectores comumente utilizados nas medidas dos parâmetros dosimétricos destes feixes, embora estes detectores não atendam a todas as exigências metrológicas necessárias à aquisição dos dados dosimétricos [3, 7-10].

Rice et al. [10] aconselham o uso de detectores de dimensões pequenas para minimizar tanto a falta do equilíbrio eletrônico lateral, como o acentuado decréscimo da dose na região de penumbra dos feixes de radiocirurgia. Hartmann [5] sugere que as medidas dos parâmetros dosimétricos obtidas no eixo central sejam realizadas com detectores que possuam volume sensível com dimensões iguais a um terço do diâmetro do campo. Higgins et al. [11], por outro lado, recomendam que a medição da distribuição da dose em feixes de dimensões pequenas deve ser efetuada com detectores cujo diâmetro interno do

volume sensível seja menor que o raio do feixe de radiação.

O desequilíbrio eletrônico lateral e o acentuado gradiente de dose podem afetar a distribuição das doses dos planejamentos radiocirúrgicos, com o conseqüente risco de comprometimento dos tratamentos. Por este motivo, é de particular importância o desenvolvimento de novos detectores e de técnicas dosimétricas que tornem mais exatos e precisos os cálculos dosimétricos nos tratamentos radiocirúrgicos.

Alguns detectores com alta precisão dosimétrica são de alto custo e não estão disponíveis na maioria dos centros de tratamento. Entre os sistemas alternativos que atendem aos requisitos de pequeno volume sensível, dimensões reduzidas, e fácil obtenção no mercado nacional, destacam-se os fototransistores, dispositivos normalmente utilizados em circuitos eletrônicos.

Neste trabalho, procuramos avaliar as características metrológicas de um fototransistor, e sua aplicabilidade na aquisição dos parâmetros dosimétricos de um feixe de fótons de 6 MV utilizado em radiocirurgia e radioterapia estereotáxica.

II. MATERIAIS E MÉTODOS

Equipamento de Radiocirurgia. Os parâmetros dosimétricos do feixe de fótons de 6 MV utilizados no algoritmo de cálculo dos sistemas de planejamento radiocirúrgicos, foram determinados no acelerador linear de elétrons Mevatron MD2, Siemens, do Instituto do Radium de Campinas/SP-Brasil adaptado com colimador terciário Radionics (Figura 1). Este sistema utiliza um

conjunto de 17 cones com diâmetros que variam de 5 a 50 mm. Durante os tratamentos radiocirúrgicos e na aquisição dos dados dosimétricos o colimador secundário foi ajustado em $6 \times 6 \text{ cm}^2$.

Medida das Características Dosimétricas. Os parâmetros dosimétricos foram determinados com os seguintes detectores: fototransistor BPW78, acoplado a um circuito eletrônico integrado para registrar sua resposta relativa, uma câmara de ionização modelo Markus, um detector de diodo de junção do tipo p, Scanditronix e usados para comparar os resultados com os do fototransistor. Para medir as distribuições das doses dos planejamentos radiocirúrgicos foram usados blocos de PMMA (polimetacrilato de metila) de várias espessuras, convertidas em equivalente-água, sob os quais os detectores foram colocados em uma mesma posição, de acordo com o parâmetro dosimétrico medido.

Degradação por Radiação. O estudo da degradação por radiação do fototransistor foi realizado em um campo de radiação de $10 \times 10 \text{ cm}^2$ com o detector submetido a doses de 30 a 2000 cGy. Todas as respostas foram normalizadas em relação à primeira medida, que foi utilizada como de referência.

Fator de Rendimento (OF). Os fatores de rendimento foram medidos para os cones de diâmetros de 5 a 50 mm, normalizados para o campo padrão $10 \times 10 \text{ cm}^2$, utilizado como referência. O fototransistor e os demais detectores foram posicionados a 1,5 cm de profundidade no simulador de PMMA, a 100 cm de distância, medida do foco ao isocentro (DFI), como mostra a Figura 2.

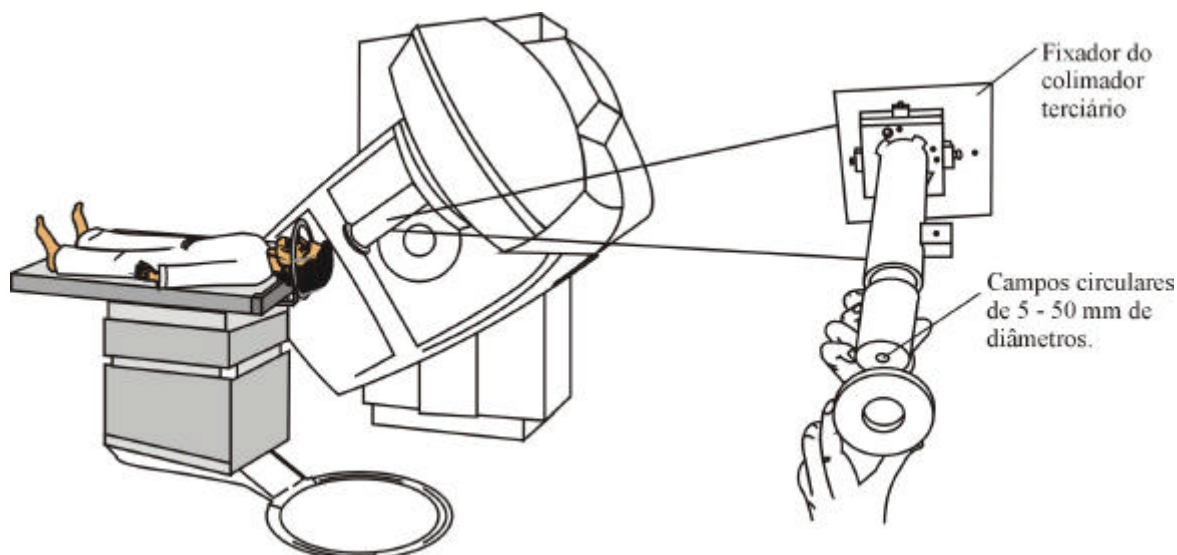


Figura 1 - Acelerador linear de elétrons adaptado com sistema de radiocirurgia.

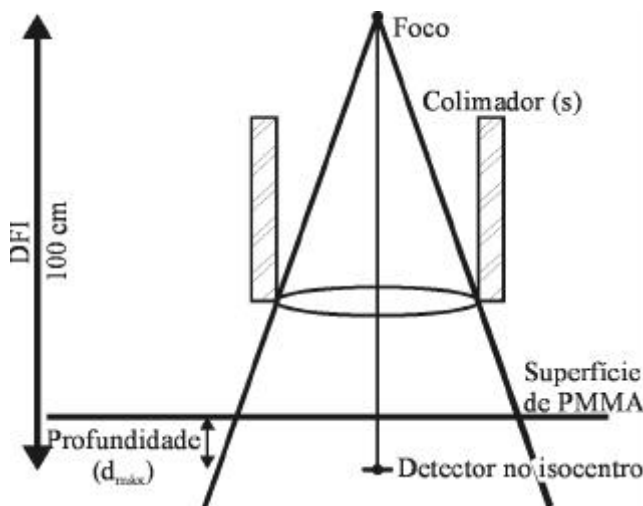


Figura 2. Diagrama esquemático para a determinação dos fatores de rendimento (OF).

Relação Tecido-Máximo (RTM). As razões tecido-máximo foram medidas com o fototransistor posicionado a uma distância foco-detector constante de 100 cm, variando-se a sua profundidade em relação à superfície do simulador de PMMA de zero a 20 cm (Figura 3). Todas as medidas foram normalizadas a 1,5 cm na profundidade de máxima dose do campo de referência $10 \times 10 \text{ cm}^2$.

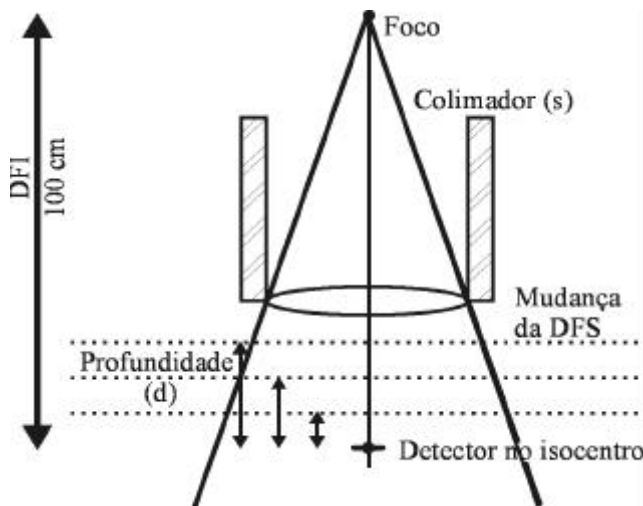


Figura 3. Diagrama esquemático para a determinação da relação tecido-máximo (RTM).

Porcentagem de Dose Profunda (PDP). As variações das doses em profundidade foram medidas em um simulador de PMMA, com o fototransistor posicionado no eixo central do feixe de radiação à distância foco-superfície (DFS) constante de 100 cm, nas profundidades de zero a 20 cm (Figura 4). Todas as medidas foram normalizadas aos cones de 5 a 50 mm, e considerando os dados de Fan et al., esta variação foi de 4,5 a 10,5%. Como o fotodiodo possui um volume sensível muito pequeno em relação aos pequenos feixes de fótons usados em radiocirurgia, os

em 100% na profundidade de dose máxima do campo de referência $10 \times 10 \text{ cm}^2$.

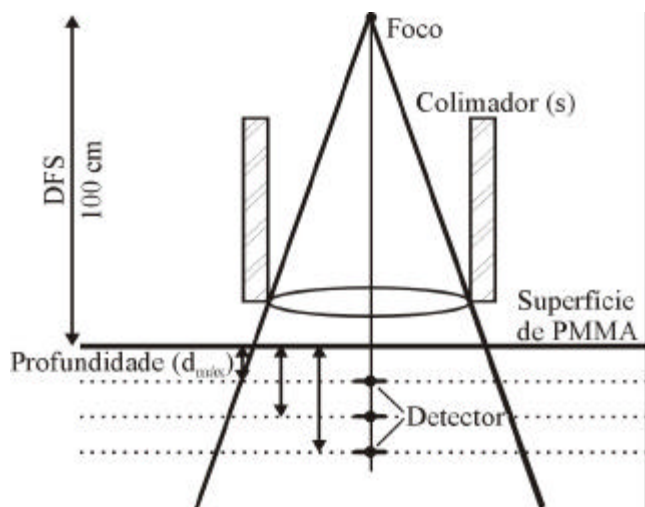


Figura 4. Diagrama esquemático para determinação da porcentagem de dose profunda (PDP).

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Degradação do Fotodetector por Radiação. As medidas utilizadas para avaliar a degradação da resposta do fototransistor com a dose de radiação, no intervalo de 30 cGy a 2.000 cGy em um feixe de fótons de 6 MV, mostraram que a sua resposta decresceu com a dose de radiação a que foi submetido (Figura 5). Este comportamento é característico dos semicondutores. A degradação sofrida pelo fototransistor foi da ordem de 13%. Os resultados mostraram que uma curva de linearidade da resposta versus dose acumulada deve ser obtida para determinação da faixa de degradação em que a aquisição dos dados dosimétricos sejam mais precisos.

Fatores de Rendimento (OF). Os fatores de rendimento medidos com o fototransistor, câmara de ionização modelo Markus, e fotodiodo, juntamente com os dados de Fan et al. [9], são apresentados na Figura 6.

Os fatores de rendimento medidos com o fototransistor apresentaram uma variação de 5,5% a 15% entre os cones de 15 a 50 mm de diâmetro em relação aos dados obtidos com a câmara de ionização Markus. Para os diâmetros de cone muito pequenos, as dimensões desta câmara não atendem às exigências dosimétricas para este tipo de medida. Em relação aos valores obtidos com o fotodiodo, a variação percentual foi de 3,3% a 9,3% entre

fatores de rendimento obtidos com esse detector devem estar provavelmente mais próximos do valor verdadeiro

Considerando que os fatores de rendimento determinados com o fototransistor apresentaram uma menor variação percentual em relação aos dados obtidos

com o fotodiodo, principalmente para os cones de diâmetros muito pequenos, e que nenhum fator de correção foi utilizado para compensar a degradação da resposta do fototransistor, pode-se concluir pela viabilidade da utilização deste tipo de fotodetector para as medidas dos fatores de rendimento (OF) dos feixes de fótons usados em radiocirurgia.

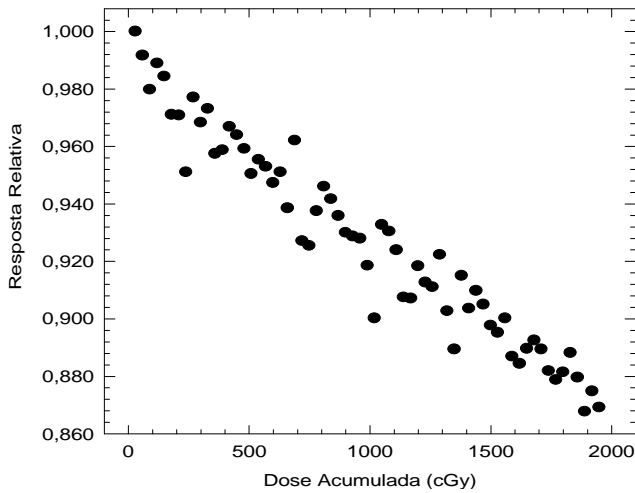


Figura 5. Degradação da resposta do fototransistor em função da dose de radiação.

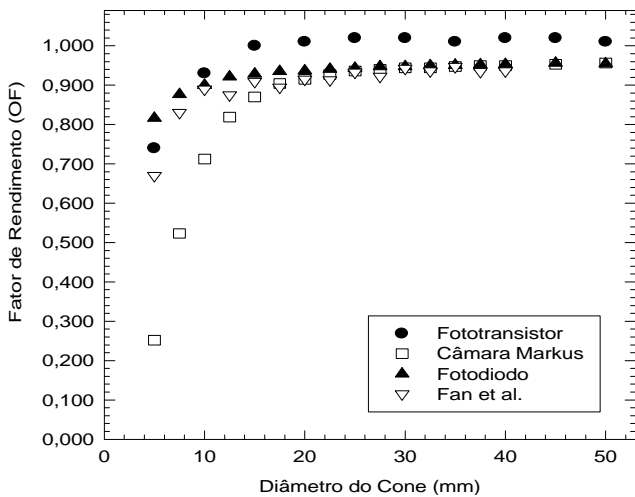


Figura 6. Fatores de rendimento (OF) em função do diâmetro do cone normalizado para o campo $10 \times 10 \text{ cm}^2$.

Relação Tecido-Máximo (RTM). Os valores das RTM medidos com o fototransistor, para um conjunto de cones, são apresentados na Figura 7.

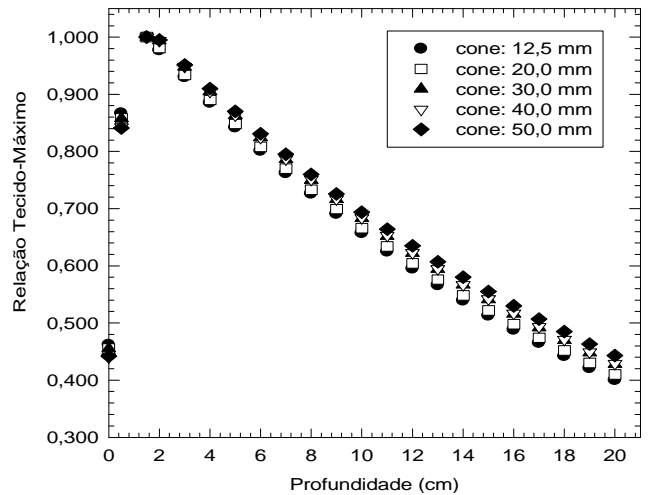


Figura 7. Relação tecido-máximo para um conjunto de cones selecionados.

Em geral os valores das relações tecido-máximo aumentam com o diâmetro do cone, para as profundidades maiores do que a profundidade de dose máxima, demonstrando que os valores obtidos com o fototransistor apresentam um comportamento semelhante aos dados de outras publicações.

As variações percentuais encontradas entre os valores das relações tecido-máximo obtidas com o fototransistor para os cones de 12,5 a 50 mm de diâmetro nas profundidades de 5, 10 e 20 cm foram iguais a 3,3%, 5,6% e 11%, respectivamente. Para a câmara de ionização modelo Markus, por outro lado, essas variações foram de 5,9%, 8,8% e 15%; para o fotodiodo, as variações foram iguais a 4,6%, 6,7% e 11%. Os resultados demonstram uma excelente concordância com estes detectores, que são mais comumente utilizados nas medidas das características dosimétricas destes feixes de fótons.

Os valores das relações tecido-máximo (Figuras 8(a) e 8(b)) mostraram uma concordância geral em quase todas as profundidades não existindo, portanto, diferenças significativas entre os valores das RTMs medidas com o fototransistor, em relação à câmara de ionização modelo Markus (1%), fotodiodo (4,7%) e os dados de Prasad et al.[12] (6,7%) para o cone de 12,5 mm, e de 5%, 5,8% e 6,7% respectivamente para o cone de diâmetro igual a 40,0mm. As variações encontradas podem ser atribuídas à degradação devido à irradiação do fototransistor, aos diferentes tipos de detectores utilizados nas medidas, ou à não aplicação de um fator de correção para compensar a degradação da resposta do fototransistor em relação à dose de radiação a que foi submetido.

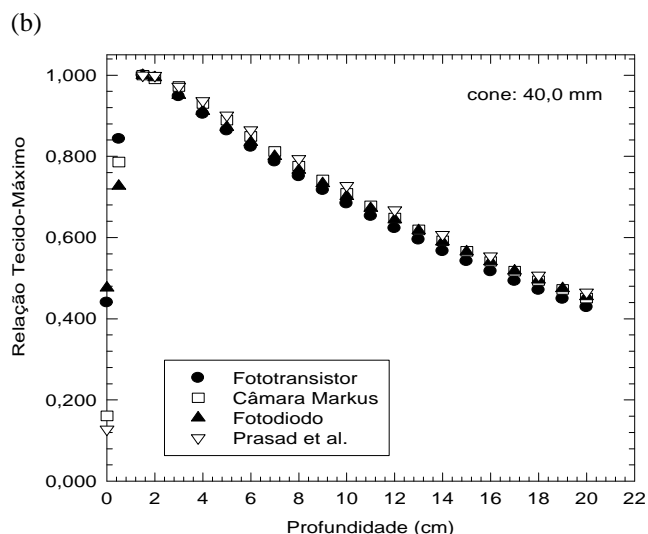
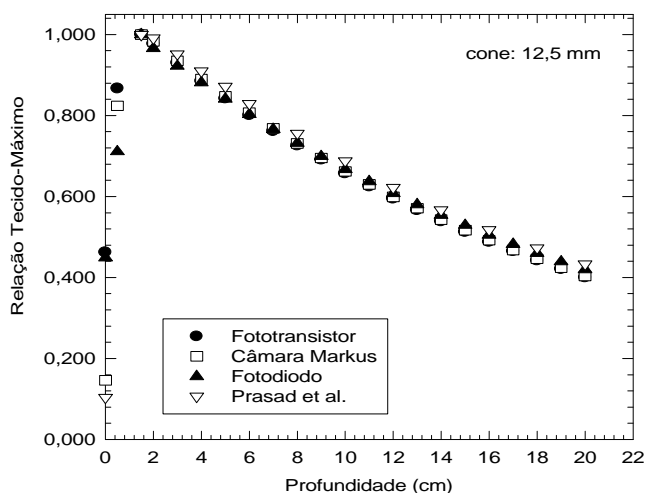


Figura 8. Relação tecido-máximo medidas com o fototransistor, câmara de ionização modelo Markus e fotodiodo para os cones de (a) 12,5 mm e (b) 40,0 mm, com dados publicados de Prasad et al. (1997).

IV. CONCLUSÕES

Porcentagem de Dose Profunda (PDP). A Figura 9 apresenta os valores das porcentagens de dose profunda obtidas com o fototransistor.

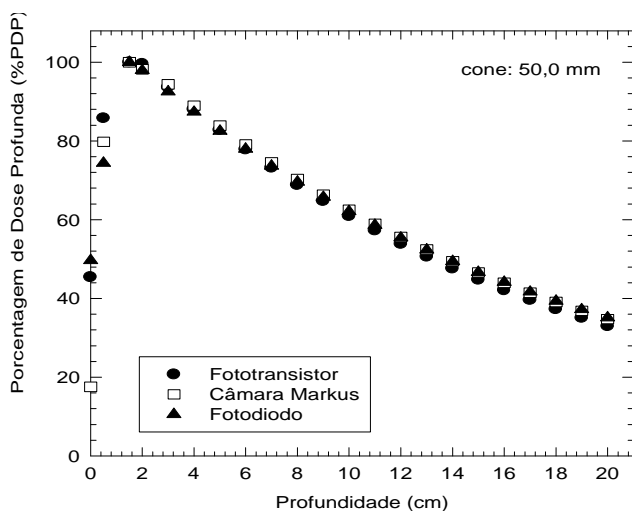


Figura 9. Porcentagem de dose profunda para o cone de diâmetro igual a 50 mm medida com o fototransistor, câmara de ionização modelo Markus e o fotodiodo.

Os valores das porcentagens de dose profunda medidas com o fototransistor apresentaram uma variação da ordem de 5,2% e 6,2% em relação à câmara de ionização modelo Markus e ao fotodiodo, respectivamente.

Apesar da degradação por radiação sofrida pelo fototransistor não ter sido avaliada em um elevado histórico de doses acumuladas, os dados deste estudo mostraram a viabilidade do uso dos fototransistores comerciais nas medidas dos parâmetros dosimétricos dos feixes de fótons aplicados em radiocirurgia e radioterapia estereotáxica.

Outros aspectos dosimétricos, tais como o estudo da degradação por radiação, dos parâmetros eletrônicos, a melhoria do sistema de registro dos dados, bem como a utilização de diferentes modelos de fototransistores comerciais, estão sendo avaliados, de modo a possibilitar a utilização destes dispositivos como sensores de radiação para a medida dos parâmetros dosimétricos de feixes de fótons utilizados no tratamento de lesões intracraniais pequenas pela técnica radiocirúrgica.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto do Radium de Campinas São Paulo/Brasil, na pessoa do DSc. Carlos Roberto Monti pelo apoio técnico científico no desenvolvimento deste trabalho, e ao CNPq pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Alexander E., Loeffler, J. S. and Lunsford, L. D., **Stereotactic Radiosurgery**, New York, McGraw-Hill, Inc, 1993.
- [2] Phillips, H. M., **Physical Aspects of Stereotactic radiosurgery**, Plenum Medical Book Company, New York, 1993.

[3] Núñez, L. and Sánchez-Doblado, F., **Small Field Dosimetry in Radiosurgery**, E.U, Dynarad, 1999.

[4] Duggan, D. M. and Coffey, C. W., **Small Photon Field Dosimetry for Stereotactic Radiosurgery**, Medical Dosimetry, vol. 22, p 127-133, 1997.

[5] Hartmann, G. H., **Quality Assurance Program on Stereotactic Radiosurgery**, Berlin, Springer-Verlag, 1995.

[6] American Association of Physics in Medicine. **Stereotactic Radiosurgery. Report Number 54**, NY, American Institute of Physics, 1995.

[7] Serago, C. F., Houdek, P. V., Hartmann, G. H., Saini, D.S. and Serago, M. E. and Kaydee, A., Kaydee, **Tissue Maximum Ratios (and other parameters) of Small Circular 4, 6, 10, 15 and 24 MV x-rays for radiosurgery**, Phys. Med. Biol. Vol 37, p 1943-56, 1992.

[8] Rustgi, S. N. and Frye, M. D., **Dosimetric Characterization of Radiosurgical Beams With a Diamond Detector**, Med. Phys., vol 22, p 2117-2121, 1995.

[9] Fan, C., Devanna, W. G., Leybovich, L. B., Kurup, Hopkins, R. G. B. J., Melian, E., Anderson D. and Glasgow G. P., **Dosimetry of Very-small (5-10 mm) and Small (12,5- 40 mm) Diameter Cones and Dose Verification for Radiosurgery with 6-MV X-ray Beams**, Stereotactic and Functional Neurosurgery, vol 67, p 183-19, 1996.

[10] Rice, R. K., Hansen, J. L., Swensson, G. K. and Siddon, R. L., **Measurements of Dose Distributions in Small Beams of 6 MV X-rays**, Phys. Med. Biol., vol 32, p 1087-1099, 1987.

[11] Higgins, P. D., Sibata, C. H., Siskind, L. and Sohn, J.W., **Deconvolution of Detector Size Effect for Small Field Measurement**, Med Phys, vol 22, p 1663-1666, 1995.

[12] Prasad, S. G., Parthasaradhi, K., Des Rosiers, C., Bloomer, W. D. and LaCombe, M., **Dosimetric Analysis and Clinical Implementation of 6 MV x-ray Radiosurgery Beam**, Medical Dosimetry., vol 22, p 127-133, 1997.

ABSTRACT

Small X-ray beams are normally used in radiosurgery for the treatment of small intracranial lesions. The success of the treatment relies on the adequate planning, which in turn requires accurate evaluation of the radiation beam characteristics such as Percentage Depth Dose (PDD), Output Factor (OF) and Tissue-Maximum Ratio (TMR). However, the dosimetry of small X-ray fields is not a straightforward procedure, because the dimensions of the detectors normally used are not small enough so that their sensitive volumes are completely covered by the radiation beam, as well as to assure that electronic equilibrium conditions are attained. In this work, we have tested a transistor-type electronic device to be used as photodetector to determine some of the dosimetric parameters of a 6-MV linear accelerator used for radiosurgery. The results show that, under certain conditions, such a semiconductor device can be used for evaluating the dosimetric characteristics of small radiation beams used in radiosurgery.