

# Uma metodologia para verificação dosimétrica *in vivo* em radioterapia estereotáxica

## A verification methodology for *in vivo* dosimetry in stereotactic radiotherapy

Leonardo L. Amaral<sup>1,2</sup>, Harley F. Oliveira<sup>1</sup>, Leandro R. Fairbanks<sup>1</sup>, Patrícia Nicolucci<sup>2</sup> e Thomaz G. Netto<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo (HCFMRP-USP) – Ribeirão Preto (SP), Brasil.

<sup>2</sup>Departamento de Física da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo (FFCLRP-USP) – Ribeirão Preto (SP), Brasil.

### Resumo

Radioterapia de lesões cerebrais próximas a estruturas críticas necessita de uma alta exatidão na localização e dose. A alta precisão na localização é obtida por meio dos aparatos estereotáxicos. O rigor na liberação da dose deve ser acompanhado por um preciso controle da qualidade nos aparelhos que envolvem a prática, porém, ainda não garante a dose no momento da terapêutica. O grande número de campos e a pequena dimensão deles dificultam os métodos convencionais de dosimetria no momento do tratamento. O objetivo deste trabalho foi desenvolver uma metodologia de verificação dosimétrica *in vivo* em radioterapia estereotáxica, com auxílio de filme radiocrômico no Acelerador Linear com colimadores Moduleaf. A técnica utiliza segmentos de filme radiocrômico Gafchromic EBT2, com dimensões de 1x1 cm<sup>2</sup>, acoplados na área externa ao micromultileaf Moduleaf da Siemens. Esses filmes foram inseridos na região do eixo central do feixe. Os filmes foram calibrados e irradiados para obtenção dos fatores que determinam a dependência dosimétrica da dimensão do campo. Com estes dados, foi elaborado um programa computacional, o qual calcula a densidade relativa que um filme deve adquirir quando submetido a uma exposição nesta configuração. Neste estudo foram avaliados cinco planos não coplanares, o primeiro com 15 campos e os outros com 25 campos. Antes de iniciar o procedimento, o segmento de filme é acoplado ao aparelho e, após a execução do tratamento, a densidade relativa é avaliada e comparada com a calculada. O valor médio da verificação dosimétrica no momento da irradiação, comparado com o calculado pela planilha, foi de 1,5%. Os dados coletados neste estudo apresentaram uma concordância satisfatória entre o calculado pelo programa e o medido no densitometro. Desta forma, foi desenvolvida uma metodologia para verificação dosimétrica *in vivo* em radioterapia estereotáxica com acelerador linear e colimadores Moduleaf.

**Palavras-chave:** radiação estereotáxica, verificação dosimétrica *in vivo*, filme radiocrômico.

### Abstract

Radiotherapy of brain lesions near critical structures requires a high accuracy in the location and dose. The high precision is achieved by the location of the stereotactic apparatus. The accuracy in dose delivery should be accompanied by an accurate quality control in devices that involve the practice, however, still does not guarantee the dose at the time of therapy. The large number of fields and the small size of these conventional methods difficult dosimetry during treatment. The objective of this work was to develop a verification methodology *in vivo* dosimetry in stereotactic radiotherapy with the aid of the film radiochromic Linear Accelerator with multileaf collimators Moduleaf. The technique uses film segments radiochromic Gafchromic EBT2, with dimensions of 1x1 cm<sup>2</sup> in area outside the coupled micro-multileaf Moduleaf Siemens. These films were inserted in the region of the central axis of the beam. The films were irradiated and calibrated to obtain the factors that determine the size dependence of the dosimetric field. With these data, we designed a computer program which calculates the density of a film must acquire when subjected to an exposure in this setting. This study evaluated five non-coplanar plans, the first with 15 fields and the other with 25 fields. Before starting the procedure, the film segment is coupled to the device, and after the treatment, the relative density is evaluated and compared with the calculated. The average value of the verification at the time of radiation dosimetry compared with the calculated by the sheet was 1.5%. The data collected in this study showed a satisfactory agreement between measured and calculated by the program in the densitometer. Thus, a methodology was developed to verify *in vivo* dosimetry in radiotherapy and stereotactic linear accelerator collimators Moduleaf.

**Keywords:** stereotactic radiation, *in vivo* dosimetry verification, film radiochromic.

## Introdução

A radioterapia de lesões cerebrais próximas a estruturas críticas necessitam de uma alta exatidão na localização e dose. A técnica de radiocirurgia estereotáxica utiliza um sistema de coordenadas espaciais para localizar as lesões, permitindo tratá-las com inúmeros feixes de radiação, sem intervenção cirúrgica, em uma única aplicação. Quando existe a indicação de mais de uma fração, esta técnica é chamada de radioterapia estereotáxica<sup>1</sup>.

Apesar da técnica de radioterapia estereotáxica resultar em benefícios significativos aos pacientes nos tratamentos de tumores cerebrais, os equipamentos utilizados nestas práticas devem passar por uma rigorosa calibração, utilizando um programa de controle da qualidade mais elaborado, já que um erro provocado pelo sistema pode causar lesões severas no paciente. Um exemplo de acidente ocorreu nos Estados Unidos da América. No ano de 2010, o jornal *The New York Times* apresentou uma reportagem, segundo a qual um hospital em Missouri liberou doses maiores de radiação em 76 pacientes, durante um período de cinco anos<sup>2</sup>.

O rigor na liberação da dose deve ser acompanhado por um preciso controle da qualidade nos aparelhos que envolvem a prática<sup>3,4</sup>. Uma dosimetria individual antes do tratamento é fundamental para confirmar o processo do planejamento, porém não garante a liberação da dose no momento da terapêutica<sup>5,6</sup>.

É imperativo que uma dosimetria no momento do tratamento deva ser realizada, porém, na radioterapia estereotáxica existem muitos campos não coplanares com dimensões reduzidas que dificultam a realização dos métodos convencionais de dosimetria *in vivo*<sup>7</sup>.

McCurdy et al.<sup>8</sup>, em 2008, testaram o Matrixx da IBA acoplado no cabeçote do aparelho para realização do controle da qualidade. Essa configuração tem a vantagem de não apresentar dependência angular, podendo assim ser utilizada por vários campos em diversas angulações, mas apresenta a desvantagem de possuir baixa resolução espacial, além do fato de absorver muita radiação. Desta forma, ainda não é uma alternativa para dosimetria *in vivo*.

O objetivo deste trabalho foi desenvolver uma técnica de verificação dosimétrica *in vivo* em radioterapia estereotáxica, com filme radiocrômico em Acelerador Linear com microcolimadores Moduleaf, e validá-la com métodos convencionais de controle da qualidade.

## Material e Métodos

A verificação dosimétrica *in vivo* tem como propósito descrever a densidade relativa (DR) que um filme deverá adquirir após o tratamento, se ele estiver posicionado na saída do feixe, como mostra a Figura 1. Na validação do processo, realizou-se um controle da qualidade convencional com um objeto simulador de água sólida e câmara de ionização, ou seja, no momento que foi irradiado o

segmento de filme acoplado ao cabeçote em cinco planos, confirmou-se o resultado com o controle da qualidade convencional.

### Metodologia da verificação dosimétrica *in vivo*

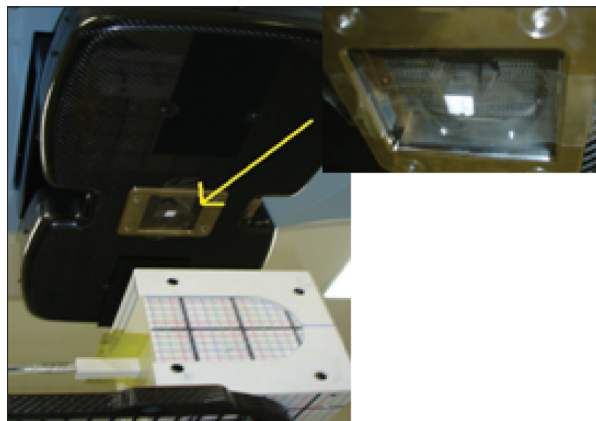
A metodologia da verificação dosimétrica *in vivo* foi formada por segmentos de filmes radiocrômicos Gafchromic EBT2, nas dimensões de 1x1 cm<sup>2</sup>, acoplados na área externa do micromultileaf Moduleaf (Siemens, Alemanha). Esses filmes foram inseridos na região do eixo central do feixe, como mostra a Figura 1.

Para se calcular a densidade que o filme deverá adquirir após o tratamento, foi realizada uma calibração que relacionava a densidade relativa do filme com o número de unidades monitoras para o campo de 5x5 cm<sup>2</sup>. Os filmes foram expostos de zero a 380 unidades monitoras (UM) com intervalo de 20 UM.

Como, em geral, os feixes de tratamento não possuem dimensões fixas, realizou-se um estudo da variação da densidade relativa com relação ao tamanho de campo. Para isso, os segmentos foram expostos com 100 UM para determinação da influência dos tamanhos de campo, nas dimensões de 1x1, 2x2, 3x3, 5x5, 10x10 cm<sup>2</sup>. As densidades relativas de todos os filmes foram medidas, utilizando um densitômetro óptico digital CQ-01 da MRA, e normalizadas para o campo de 5x5 cm<sup>2</sup> para formar os fatores de Dependência Dosimétrica da Dimensão do Campo (DDDC).

Com estes dados, foi elaborado um programa computacional que soma as unidades monitoras de todos os campos, calcula o campo equivalente médio e, depois, associa com os valores da calibração e DDDC para calcular a densidade que o filme deverá adquirir após a irradiação, por meio da multiplicação do valor encontrado na calibração e do DDDC.

A fim de avaliar a reprodutibilidade das densidades relativas dos segmentos de filmes radiocrômicos irradiados, foram realizadas cinco exposições com 100 UM, e cinco com 300 UM, na configuração da técnica de dosimetria *in vivo*, com o campo de 5x5 cm<sup>2</sup>.



**Figura 1.** Configuração da verificação dosimétrica *in vivo*. No detalhe, o filme posicionado no eixo central de irradiação e, abaixo, o filme posicionado no objeto simulador.

Na validação do processo foram estudados cinco planos não coplanares, realizados no iPlan, que simulavam alguns tratamentos em radioterapia estereotáxica no Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto (HCFMRP), o primeiro com campo equivalente médio de 5,1 cm em 15 campos não coplanares, e os outros quatro planos com campos equivalentes médios de 2,2; 2,8; 3,8; e 5,3 cm, em 25 campos não coplanares. Antes de iniciar o procedimento, o segmento de filme era acoplado ao aparelho, e após a execução do tratamento, a densidade relativa era avaliada e comparada com a calculada pelo programa desenvolvido.

**Controle da qualidade convencional**

Para validação da técnica da verificação dosimétrica *in vivo*, foi realizado um controle da qualidade convencional no mesmo momento das exposições dos cinco planos, por meio de uma dosimetria de referência com câmara de ionização CC13 de 0,13 cm<sup>3</sup> (IBA Dosimetry, Alemanha) posicionada no centro do objeto simulador composto por água sólida (Figura 2), com dimensões de 18x18x18 cm<sup>3</sup> no isocentro do acelerador linear Oncor (Siemens, Alemanha).

**Resultados**

**Dosimetria *in vivo***

A Figura 3 apresenta os dados da calibração dos segmentos dos filmes nas configurações da verificação dosimétrica *in vivo*. O resultado máximo do desvio padrão de cada medida foi de 0,006.

A Tabela 1 apresenta as densidades relativas dos filmes expostos a 100 e 300 UM, no campo de 5x5 cm<sup>2</sup>, na configuração da técnica de dosimetria *in vivo*.



Figura 2. Objeto simulador de água sólida.

A Tabela 2 apresenta os dados da dependência dosimétrica da dimensão do campo, e a Tabela 3 apresenta as diferenças percentuais entre as densidades relativas calculadas pelo programa e as medidas em densitômetro ótico, para os cinco planos avaliados.

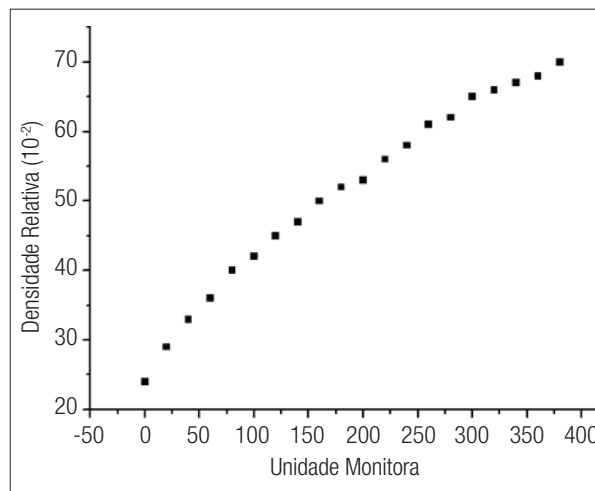


Figura 3. Dados da calibração dos segmentos do filme.

Tabela 1. Densidade relativa dos filmes expostos a 100 UM e 300 UM na configuração da técnica de dosimetria *in vivo*.

	100 UM		300 UM	
	DR 1	DR 2	DR 1	DR 2
Filme 1	0,40	0,40	Filme 1	0,60
Filme 2	0,40	0,40	Filme 2	0,60
Filme 3	0,40	0,40	Filme 3	0,60
Filme 4	0,40	0,40	Filme 4	0,60
Filme 5	0,40	0,40	Filme 5	0,60

UM: unidade monitoras; DR: densidade relativa

Tabela 2. Dados da dependência dosimétrica da dimensão do campo, a partir das densidades relativas em função do campo equivalente.

Ceq (mm)	DR	DDDC
10,2	0,400	0,952
20,2	0,410	0,976
30,6	0,415	0,988
50,3	0,420	1,000
70	0,430	1,024
100	0,440	1,048

Desvio Padrão Máximo: 0,006; Ceq: campo equivalente; DR: densidades relativas; DDDC: Dependência Dosimétrica da Dimensão do Campo.

Tabela 3. Resultado das diferenças percentuais entre as densidades relativas medidas e as calculadas pela planilha desenvolvida nos cinco planos da avaliação da verificação dosimétrica *in vivo*.

Planos	UM	Ceq (mm)	DR Med	DR Cal	Dif %
P1	225	51	0,58	0,56	2,6
P2	297	22	0,64	0,64	-1,7
P3	297	28	0,64	0,64	-0,9
P4	297	38	0,64	0,64	-0,9
P5	297	53	0,67	0,64	3,7

UM: unidades monitoras; Ceq: campo equivalente; DR: densidade relativa.

### Controle da qualidade convencional

A Tabela 4 apresenta as diferenças percentuais entre os valores medidos com câmara de ionização, localizados no eixo central do objeto simulador, e os resultados apresentados pelo sistema de planejamento iPlan no controle da qualidade convencional, nos cinco planos estudados.

**Tabela 4.** Diferença percentual entre os valores medidos com câmara de ionização (CI) e os calculados pelo sistema de planejamento de radioterapia (TPS).

Planos	TPS (cGy)	CI (cGy)	Dif %
P1	155	151,9	2,0
P2	186	180,6	3,0
P3	193	187,3	3,0
P4	202	197,1	2,5
P5	212	207,9	2,0

### Discussão e Conclusões

O grande número de campos utilizados em radioterapia estereotáxica e suas pequenas dimensões dificultam as aplicações das técnicas convencionais de dosimetria *in vivo*, que utilizam os dosímetros colocados em contato com o paciente. Assim, o método de acoplar o dosímetro no cabeçote do aparelho mostrou ser uma alternativa viável para avaliações dosimétricas. Os dados coletados neste estudo apresentaram uma concordância satisfatória entre os valores calculados pelo programa computacional desenvolvido neste trabalho e os medidos com o dosímetro, e o controle da qualidade convencional validou o processo da verificação dosimétrica *in vivo*. Desta forma, foi desenvolvida uma técnica de verificação dosimétrica *in vivo* em radioterapia estereotáxica, com filme radiocrômico em Acelerador Linear com colimadores Moduleaf.

### Agradecimentos

À Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Assistência (FAEPA) do HCFMRP-USP.

Ao HCFMRP-USP.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

### Referências

1. Khan FM. The physics of radiation therapy. 4th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2010.
2. Ruiz RR. Radiation errors reported in Missouri. The New York Times. 2010 Dec 28;sect. A:1.
3. Instituto Nacional do Câncer (INCA). Aspectos físicos da garantia da qualidade em radioterapia. Tec doc 1151.– Protocolo de Controle de Qualidade. Rio de Janeiro; 2000.
4. AAPM Radiation Therapy Committee. Task Group 24. Physical aspects of quality assurance in radiation therapy. New York, NY: Published for the American Association of Physicists in Medicine by the American Institute of Physics; 1984.
5. Noel A, Aletti P, Bey P, Malissard L. Detection of errors in individual patients in radiotherapy by systematic *in vivo* dosimetry. *Radiother Oncol.* 1995;34(2):144-51.
6. Costa AM, Barbi GL, Bertucci EC, Ferreira H, Sansavino SZ, Colenci B, et al. *In vivo* dosimetry with thermoluminescent dosimeters in external photon beam radiotherapy. *Appl Radiat Isot.* 2010;68(4-5):760-2.
7. Voordeckers M, Goossens H, Rutten J, Van den Bogaert W. The implementation of *in vivo* dosimetry in a small radiotherapy department. *Radiother Oncol.* 1998;47(1):45-8.
8. McCurdy B, Mueller L, Backman E, Venkataraman S, Fleming E, Asuni G, et al. Commissioning and validation of a novel measurement-based IMRT QA method, incorporating dose recalculation on patient CT data. *Med Phys.* 2008;35(6):2760.