

Testes dosimétricos para comissionamento de sistemas de planejamento em radioterapia 3DCRT

Dosimetric tests for treatment planning comissioning in 3DCRT

Leandro R. Gonçalves, Karen Pieri, Marco A. Silva, Gabriela R. Santos, Camila P. Sales, Rodrigo A. Rubo, Marcos V. N. Nakandakari, Ana Paula V. Cunha, Caroline Z. Santos, Laura N. Rodrigues e Laura Furnari

Serviço de Radioterapia do Instituto de Radiologia do Hospital das Clínicas, Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (USP) – São Paulo (SP), Brasil.

Resumo

A evolução da Radioterapia 2D para a Radioterapia 3D conformacional deve-se ao advento dos diversos sistemas de planejamento comercialmente disponíveis e das técnicas de imagem tridimensionais, como a tomografia computadorizada. Os sistemas de planejamento possuem ferramentas que permitem delinear tridimensionalmente os volumes das estruturas envolvidas em um tratamento a partir de imagens tomográficas, além de contar com ferramentas de cálculo de dose, que permitem avaliar a dose recebida em cada uma das estruturas delineadas. A aquisição de um desses sistemas ou a atualização de versão deve ser acompanhada pela realização de diversos testes dosimétricos e não dosimétricos com a finalidade de determinar as limitações e verificar o correto funcionamento do sistema, além de verificar que a inserção dos dados de comissionamento no Sistema de Planejamento foi feita corretamente. Este trabalho foi baseado nos protocolos da Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA), documentos *Task Group* (TG) da Associação Americana de Física em Medicina (AAPM) e artigos da literatura. Realizou-se uma série de testes dosimétricos com a finalidade de comissionar o novo sistema de planejamento Eclipse 10.0.28 (*Varian Medical Systems*). Tal versão possui dois algoritmos de cálculo para fótons (*Pencil Beam Convolution* (PBC) e *Analytical Anisotropic Algorithm* - AAA) e algoritmo *Gaussian Pencil Beam* para elétrons. No entanto, não foram realizados testes para o AAA. Os resultados mostraram que os dados dosimétricos foram inseridos corretamente no Sistema de Planejamento. Alguns resultados permitiram entender as limitações de cálculo de dose do sistema de planejamento Eclipse 10.0.28, em algumas situações, as quais foram consideradas clinicamente irrelevantes na rotina do serviço.

Palavras-chave: radioterapia, radioterapia conformal, planejamento da radioterapia assistida por computador, aceleradores de partículas, controle de qualidade.

Abstract

The radiotherapy evolution from 2D treatments to 3D conformal treatments was possible after the advent the treatment planning systems commercially available and tridimensional images techniques like computed tomography. These systems have tools that allow delineate anatomical structures from tomographic images. Calculations dose tools allow the planner evaluate the dose received in the anatomical structures. When these systems are acquired or an upgrade is made many dosimetric and non-dosimetric tests need to be performed to know the system limitations and correct functioning and to verify the correct dosimetric data insertion. This study was based in International Atomic Energy Agency protocols, Task Groups documents from American Association of Physics in Medicine, and other papers. A dosimetric test set was done to commissioning the Eclipse 10.0.28 (*Varian Medical Systems*) treatments planning system This version has two photon calculation algorithm (*Pencil Beam Convolution* and *Analytical Anisotropic Algorithm* – AAA) and *Gaussian Pencil Beam* algorithm for electron beams. However, tests for AAA it was not performed. In this study was possible to conclude that the dosimetric data was correctly added in the treatment planning system. Some results allowed us to understand the algorithm limitations to calculate dose distributions in specifics situations, that was not clinically relevant in our routine.

Keywords: radiotherapy, conformal radiotherapy computer-assisted radiotherapy planning, particle accelerators, quality control.

Introdução

O sistema de planejamento computadorizado (TPS) é constituído por um *hardware* e um *software*, e tem capacidade de receber imagens de uma mesa digitalizadora, de um scanner, de equipamentos de imagem — como tomografia computadorizada (TC), ressonância magnética (RM) e tomografia por emissão de pósitrons (PET). Tal sistema possibilita a manipulação das imagens para delineamento de contornos, geração de volumes e fusão de imagens. Permite simular configuração de feixes e cálculos de dose em diversos planos de tratamento e possui ferramentas para avaliação das distribuições de dose. Todas as informações pertinentes à realização do tratamento podem ser obtidas do sistema via impressa ou por envio via rede diretamente para as máquinas de tratamento ou para um sistema de verificação e registro.

É necessário que o sistema tenha sido alimentado com dados descritivos, geométricos e dosimétricos sobre as máquinas de tratamento, dados estes obtidos por meio de comissionamento.

Como todos os outros elementos de um serviço de radioterapia, o TPS está sujeito a mau funcionamento, tornando-se objeto de um programa de garantia da qualidade (PGQ). O grau de detalhamento e de profundidade do controle da qualidade (CQ) depende do tipo de utilização clínica, como por exemplo, o grau de complexidade dos planejamentos realizados, e da divisão de itens a serem controlados entre diversas pessoas: usuários, vendedores, responsáveis por redes ou controladores da entrada de dados externos.

Este trabalho visa apresentar alguns testes essenciais que devem ser realizados para o comissionamento de um TPS dedicado a utilização em Radioterapia 3D conformacional (3DCRT). Entretanto, é o físico responsável do serviço que deve decidir quais testes são pertinentes e adequados para a sua rotina clínica. Com a realização destes testes, espera-se determinar as limitações, o correto funcionamento do sistema, e ainda, avaliar a correta inserção dos dados de comissionamento da máquina de tratamento no Sistema de Planejamento. Uma série de testes não dosimétricos foram realizados para a avaliação correta de todas as ferramentas oferecidas pelo TPS. Porém, o objetivo deste trabalho consiste na avaliação do cálculo das distribuições de dose fornecidas pelo sistema em planejamentos de Radioterapia 3D com feixe de fótons e elétrons.

Os testes apresentados neste trabalho foram realizados por causa da atualização do sistema de planejamento no serviço de Radioterapia do Hospital das Clínicas. Uma abordagem mais detalhada dos testes de comissionamento de um TPS pode ser obtida em literatura¹⁻⁶.

Material e Métodos

Os testes discriminados a seguir foram realizados para todos os aceleradores do serviço de Radioterapia do

Hospital das Clínicas. Os feixes permitidos nessas máquinas para utilização clínica são feixes de fótons de energia 6 e 15 MV, e elétrons de 6, 9, 12 e 15 MeV.

A exatidão do cálculo da dose por um sistema de planejamento depende tanto do algoritmo de cálculo de dose quanto da qualidade dos dados inseridos em seu banco de dados. A verificação de que o cálculo é realizado corretamente em todas as possíveis situações de tratamento é inviável. Um conjunto genérico de testes foi realizado levando em consideração a complexidade da Radioterapia 3DCRT².

Testes em Geometrias simples

Os softwares de um TPS tem habilidade para fazer cálculos de dose com técnicas de irradiação complexas, mas o usuário deve certificar-se primeiramente que os cálculos estejam precisos para situações bem simples que foram verificadas para os seguintes exemplos: campos quadrados e retangulares; técnicas que utilizam diferentes distâncias fonte-superfície (DFS); modificadores de feixe, tais como filtros físicos, blocos, presença de bandejas; configurações de colimadores assimétricos e incidências anguladas em superfície plana. Para tais condições foram realizados: cálculos pontuais de dose de forma manual, medidas experimentais de dose absoluta, com câmara de ionização devidamente calibrada, medidas de varredura para obtenção de curvas de dose em profundidade (PDP) e perfis de campo. Os campos quadrados utilizados foram campos de 10x10 cm² e 40x40 cm². Os perfis de campo foram obtidos nas profundidades de *build up*, 5, 10 e 20 cm para os feixes de fótons. O filtro físico utilizado foi um filtro de 60°. As medidas com diferentes DFS foram realizadas para distâncias de 80, 90, 100, 110 e 120 cm.

As medidas em feixes de elétrons foram realizadas para cones de 10x10 cm², 15x15 cm², 20x20 cm² e 25x25 cm². As profundidades escolhidas para obtenção dos perfis de campo foram de 11 e 23 mm para elétrons de 6 MeV, 19 e 38 mm para elétrons de 9 MeV, 25 e 50 mm para 12 MeV e 26 e 65 mm para feixes de 15 MeV.

Todas as medidas experimentais de varredura deste trabalho foram realizadas em um objeto simulador *Wellhofer* com dimensões de 40x40x40 cm. Duas câmaras de ionização foram utilizadas para as medidas de varredura, possuindo um volume de 0,13 cm³ e, para medidas de dose absoluta, foi utilizada uma câmara tipo Farmer com volume 0,6 cm³. No sistema de planejamento foi reproduzido o objeto simulador usado nas medidas experimentais, foram reproduzidos também os planejamentos dos quais se obteve os perfis de campo nas mesmas profundidades, curvas de PDP e valores de dose em pontos de interesse.

Testes realizados com composições das geometrias simples

A confirmação dos resultados fornecidos pelo TPS foi feita por meio de cálculo manual, dosimetria absoluta e medidas de varredura. Essas verificações foram feitas para combinações de variação de DFS, presença de filtro físico, campos colimados, blocos de transmissão parcial, incidência oblíqua e medidas fora do eixo central.

Critérios e ferramentas de análise dos dados dos itens 2.1 e 2.2.

As medidas absolutas de dose foram comparadas com cálculos manuais e com cálculos do Sistema de Planejamento, obtendo-se o desvio entre as medidas.

Para avaliar os perfis de dose e as curvas de PDP obtidas no TPS e nas medidas por varredura, determinaram-se diferentes regiões de interesse. A Figura 1 apresenta tais regiões. A região δ_1 localiza-se do início da curva de PDP até o *build up*, a região δ_2 localiza-se após o *build up*; a região δ_3 está entre 10 e 50% da dose no raio central, a região δ_4 está entre 90 e 100% da dose no raio central, a região δ_5 está entre 50 e 90% da dose no raio central e a região δ_6 é a região com dose menor que 10% da dose no raio central, nos perfis de campo.

Para avaliar as curvas foram estabelecidos dois critérios: um para distância de concordância entre dois valores de dose (4 mm); e outro para a diferença entre as doses (2%)⁴. A análise das curvas procedeu-se ponto a ponto com a aplicação dos critérios a cada 0,5 cm, de forma que, a cada 0,5 cm inseriram-se duas barras de erro, uma horizontal (para avaliar o critério distância) e outra vertical (para avaliar o critério diferença de dose).

Contabilizou-se o número de pontos que passaram nos critérios para cada região e o número total de pontos analisados que passaram no critério como uma forma de avaliar as limitações do sistema de planejamento implementado.

Qualitativamente, analisou-se a semelhança entre as curvas medidas e as curvas obtidas no TPS, esperando assim detectar qualquer incongruência que poderia ser causada por uma incorreta inserção de dados no sistema de planejamento.

Medida de dose absoluta em um planejamento complexo

Dando continuidade ao processo de comissionamento, escolheu-se uma geometria que envolva campos utilizados na rotina clínica. Foram adquiridas imagens de um objeto simulador em forma de paralelepípedo, que possuía em seu interior uma câmara de ionização, inserida para uma medida de dose absoluta. Realizou-se um planejamento no

TPS com campos que empregaram *bolus*, filtro físico, incidências anguladas e não coplanares, e campos em arco. Uma medida de dose absoluta foi comparada com a dose pontual fornecida pelo sistema de planejamento. Para obter um valor correto, delimitou-se o volume da câmara no sistema de planejamento e a dose foi avaliada utilizando a dose média obtida em um histograma dose-volume (DVH).

Resultados

Devido ao grande número de dados obtidos não será possível apresentá-los completamente, entretanto, algumas tabelas serão apresentadas na tentativa de resumir as informações mais relevantes obtidas neste estudo. Algumas curvas foram escolhidas para serem apresentadas.

A Tabela 1 apresenta alguns dos resultados obtidos para cálculos de Unidades Monitoras (UM) obtidos manualmente e pelo TPS para o aparelho Varian Clinac 6EX. A Tabela 2 apresenta comparações entre medidas de dose absoluta com câmara de ionização e cálculos do TPS para o acelerador Varian Clinac 2100C, energia de 15 MV.

Ao todo, foram analisadas 113 curvas de forma quantitativa e 159 curvas de forma qualitativa entre perfis de

Tabela 1. Algumas comparações entre cálculo manual e medidas do sistema de planejamento computadorizado para o aparelho Varian 6EX.

| Tamanho do campo (cm ²) / DFS (cm) | UM do TPS | UM cálculo manual | Desvio (%) |
|--|-----------|-------------------|------------|
| 5X5/100 | 140 | 140 | 0,00 |
| 10X10/100 | 125 | 125 | 0,00 |
| 20X5/100 | 129 | 129 | 0,00 |
| 10x10/80 | 102 | 101 | 0,98 |
| 10x10/120 | 207 | 210 | -1,45 |
| 10x10/ 80 filtro 60° | 249 | 240 | 3,61 |
| 10x10/100 filtro 60° | 250 | 244 | 2,40 |
| 15X5/100 filtro 60° | 319 | 314 | 1,57 |

TPS: sistema de planejamento computadorizado; UM: Unidades Monitoras; DFS: distâncias fonte-superfície.

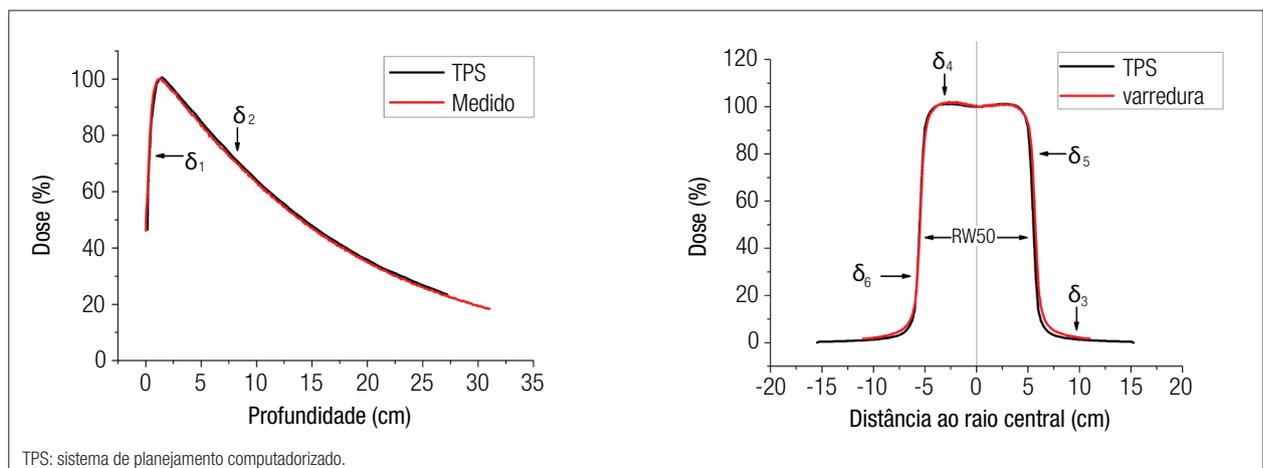


Figura 1. Regiões de interesse na análise proposta.

Tabela 2. Alguns dos desvios entre medidas de dose absoluta com câmara de ionização e por cálculos do sistema de planejamento computadorizado.

| Tamanho do campo (cm ²) / DFS (cm) | Dose medida (cGy) | Dose calculada TPS (cGy) | Desvio (%) |
|--|-------------------|--------------------------|------------|
| 10x10 / 90 | 94,533 | 93,64 | 0,94 |
| 20x5 / 90 | 90,995 | 90,36 | 0,69 |
| 5x20 / 100 filtro 60° | 39,539 | 39,21 | 0,83 |
| 10x5 assim./100 - filtro 60° | 47,770 | 46,56 | 2,53 |
| 15x15 / 100 | 95,541 | 96,35 | -0,84 |
| 15x15 / 100 - bloco central | 9,458 | 9,25 | 2,25 |
| 15x15 / 100 transmissão parcial | 94,218 | 94,43 | -0,23 |
| 10x10 / 100 - incidência oblíqua | 87,198 | 85,47 | 1,98 |

DFS: distâncias fonte-superfície; TPS: sistema de planejamento computadorizado.

dose e PDP para fótons e elétrons. A Figura 2 apresenta algumas das curvas analisadas; são apresentadas quatro curvas, das quais três são de análise quantitativa. Das avaliações quantitativas, a Tabela 3 apresenta um resumo da análise, ponto a ponto, realizada.

A medida de dose absoluta no objeto simulador descrito em 2.4, feita em todos os aceleradores, apresentou um desvio inferior a 1,7%.

Discussão e Conclusões

Os gráficos apresentados e a Tabela 3 revelam que o algoritmo PBC do TPS apresenta dificuldades na determinação correta da dose na região de *umbra* (região com dose menor que 20% do valor do raio central) do campo de feixes de fótons. O melhor resultado encontrado para esta região foi obtido com a aplicação do critério diferença de dose (barras horizontais) para o feixe de 15 MV. A região δ_s não atingiu altos índices de aprovação no teste empregado. Em curvas de PDP,

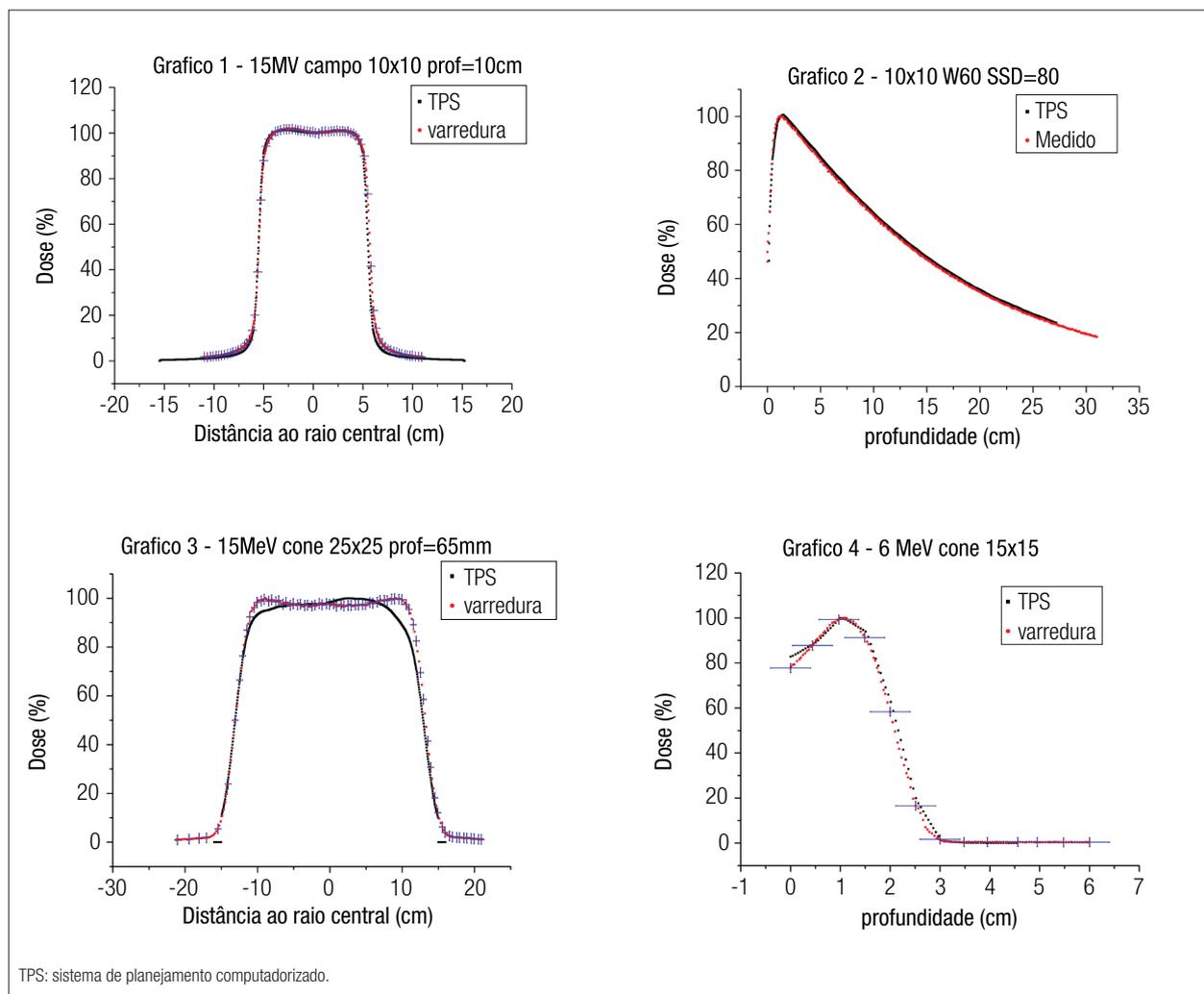


Figura 2. Algumas das curvas analisadas.

Tabela 3. Análise das curvas do aparelho Varian 2100C.

| Energia | total de pontos | % falha | | % falha δ^1 | | % falha δ^2 | | % falha δ^3 | | % falha δ^4 | | % falha δ^5 | | % falha δ^6 | |
|---------|-----------------|--------------------|-------------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|
| | | critério distância | diferença de dose | distância | dif. de dose |
| 6MeV | 637 | 10 | 13 | 33 | 0 | 0 | 30 | 0 | 37 | 22 | 17 | 14 | 54 | 0 | 1 |
| 15MeV | 656 | 20 | 22 | 52 | 41 | 0 | 50 | 0 | 38 | 41 | 35 | 11 | 25 | 5 | 2 |
| 6MV | 490 | 21 | 14 | 0 | 50 | 0 | 0 | 27 | 54 | 0 | 0 | 0 | 65 | 72 | 27 |
| 15MV | 505 | 22 | 8 | 0 | 8 | 0 | 0 | 9 | 50 | 4 | 0 | 0 | 48 | 73 | 5 |

os índices de aprovação foram baixos para a região de *build up*.

Já para os feixes de elétrons, obtiveram-se bons índices de aprovação do teste empregado nas regiões de umbra. Entretanto, nas regiões planas do feixe, para energias mais altas e campos maiores, notou-se um comportamento dos cálculos do TPS diferente das medidas com câmara de ionização. Acredita-se que o algoritmo utilizado para elétrons extrapola da mesma forma o comportamento das curvas de perfis de dose para cones pequenos e cones grandes, independentemente da energia empregada, ou seja, o comportamento encontrado para altas energias em cones 15x15 cm² e 25x25 cm² seriam esperados somente para cones pequenos. Esta observação baseia-se no fato do conjunto de dados usados para alimentar o TPS não incluir os perfis de dose necessitando somente as PDPs. Porém, as diferenças de dose obtidas não têm implicações clínicas, uma vez que as maiores diferenças foram encontradas para profundidades além do alcance terapêutico.

A análise qualitativa permitiu verificar que a inserção de dados no sistema de planejamento foi correta, pois qualquer erro grosseiro seria notado nesta etapa.

A comparação entre as medidas absolutas e o cálculo manual (Tabelas 1 e 2) visa avaliar o desempenho do TPS no cálculo da dose. Os desvios encontrados foram menores que 1,5 % em casos simples e menores que 4% em casos complexos, e, portanto, estão dentro do aceitável⁴.

A medida absoluta da dose no objeto simulador com um planejamento envolvendo campos utilizados rotineiramente foi satisfatória, desvios menores que 1,7%.

Pôde-se entender e avaliar as limitações do sistema de planejamento nos cálculos de dose. Verificou-se seu correto funcionamento, tanto quanto a inserção correta de dados dosimétricos obtidos em dosimetrias.

Referências

1. Fraass B, Doppke K, Hunt M, Kutcher G, Starkschall G, Stern R, et al. American Association of Physicists in Medicine Radiation Therapy Committee Task Group 53: quality assurance for clinical radiotherapy treatment planning. *Med Phys.* 1998;25(10):1773-829.
2. International Atomic Energy Agency – IAEA. Technical Report Series n° 430: Commissioning and quality assurance of computerized planning system for radiation treatment of cancer. Vienna, Austria; 2004.
3. Mijnheer B, Olszewska A, Hartmann G, Knoös T, Rosenwald JC, Welleweerd H. Quality assurance of treatment planning systems – practical examples for non-IMRT photons beams. *European Society for Therapeutic Radiology and Oncology – ESTRO. Booklet n° 7 (Physics for Radiotherapy).* Brussels: ESTRO; 2004.
4. Bruinvis IAD, Keus RB, Lenglet WJM, Meijer BJ, Van't Veld AA, Venselaar JLM, et al. Quality assurance of 3-D treatment planning systems for external photon and electron beams. *Netherlands Commission on Radiation Dosimetry, Subcommittee of Treatment Planning Systems;* 2005.
5. Swiss Society of Radiobiology and Medical Physics. Quality control of treatment planning systems for teletherapy. *Recommendations n° 7, SSRPM;* Fribourg;1999. Disponível em: <http://www.sgsmp.ch/r07tps-e.htm> Acesso em: agosto de 2012.
6. Camargo PR, Rodrigues LN, Furnari L, Rubo RA. Implementation of a quality assurance program for computerized treatment planning systems. *Med Phys.* 2007;34(7):2827-36.