

## Avaliação do Algoritmo Analítico Anisotrópico (AAA) no cálculo de dose para campos com fluência não uniforme considerando correção de heterogeneidade

Evaluation of the Analytical Anisotropic Algorithm (AAA) in dose calculation for fields with non-uniform fluences considering heterogeneity correction

P. Bornatto, M. Funchal, F. Bruning, H. Toledo, J. Lyra, T. Fernandes, F. Toledo, C. Marcião

Hospital Erasto Gaertner/LPCC, Departamento de Radioterapia, Curitiba, Brasil

### Resumo

O objetivo deste trabalho é avaliar o cálculo de distribuição de dose do AAA (*Varian Medical Systems*) para campos com fluência não uniforme considerando correção de heterogeneidade. Para isso foram utilizados 5 Objetos Simuladores (OS) diferentes com materiais de diferentes densidades. Estes foram tomografados no CT Brightspeed (GE Healthcare) sobre a matriz de detectores MAPCHECK2™ (*Sun Nuclear Corporation*) e irradiados em um acelerador linear 600CD (*Varian Medical Systems*) 6 MV e taxa de dose de 400MU/min em setup isocêntrico. Foram utilizadas fluências exportadas de planejamentos de IMRT, calculados pelo sistema de planejamento Eclipse™ (*Varian Medical Systems*), além de um campo 10x10 cm<sup>2</sup> para avaliar a correção de heterogeneidade para fluência uniforme. A distribuição de dose medida foi comparada com a calculada através da análise gama com critérios de aprovação de 3%/3mm e threshold de 10%. A avaliação foi feita através do software SNCPatient (*Sun Nuclear Corporation*) considerando dose absoluta e normalizado no ponto de máximo. Os OS com melhores resultados foram aqueles com materiais de baixa densidade, com uma média de 99,2% de aprovação. Já os OS com placas de material de maior densidade apresentaram diversas fluências com menos de 95% dos pontos aprovados, o valor médio chegou a 94,3%. Foi observada uma dependência entre a fluência e a porcentagem de pontos aprovados, visto que para uma mesma fluência, 100% dos pontos foram aprovados em todos os OS. O critério de aprovação para planos de IMRT preconizado na maioria dos centros é de 3%/3mm com pelos menos 95% de pontos aprovados, deste modo, conclui-se que, nestas condições, os planejamentos de IMRT com correção de heterogeneidade podem ser realizados, porém o controle de qualidade deve ser bastante rigoroso visto que, considerando todo o processo, existe uma limitação em prever precisamente a distribuição de dose em determinadas situações.

**Palavras-chave:** AAA, heterogeneidade, IMRT, avaliação gama, fluência não uniforme.

### Abstract

The purpose of this study is to evaluate the calculation of dose distribution AAA (*Varian Medical Systems*) for fields with non-uniform fluences considering heterogeneity correction. Five different phantoms were used with different density materials. These phantoms were scanned in the CT BrightSpeed (©GE Healthcare) upon the array of detectors MAPCHECK2™ (*Sun Nuclear Corporation*) and irradiated in a linear accelerator 600 CD (*Varian Medical Systems*) 6MV and rate dose 400MU/min with isocentric setup. The fluences used were exported from IMRT plans, calculated by ECLIPSE™ planning system (*Varian Medical Systems*), and a 10x10 cm<sup>2</sup> field to assess the heterogeneity correction for uniform fluence. The measured dose distribution was compared to the calculated by Gamma analysis with approval criteria of 3% / 3 mm and 10% threshold. The evaluation was performed using the software SNCPatient (*Sun Nuclear Corporation*) and considering absolute dose normalized at maximum. The phantoms best performers were those with low density materials, with an average of 99.2% approval. Already phantoms with plates of higher density material presented various fluences below 95% of the points approved. The average value reached 94.3%. It was observed a dependency between fluency and approved percentage points, whereas for the same fluency, 100% of the points have been approved in all phantoms. The approval criteria for IMRT plans recommended in most centers is 3% / 3mm with at least 95% of points approved, it can be concluded that, under these conditions, the IMRT plans with heterogeneity correction can be performed, however the quality control must be careful because the difficulty of the system to accurately predict the dose distribution in certain situations.

**Keywords:** AAA, heterogeneity, IMRT, Gamma analysis, non-uniform fluencies.

## 1. Introdução

O uso de planos de IMRT frequentemente resulta em pequenos campos, gerando novos desafios na precisão dos cálculos de dose, tanto para meios homogêneos quanto heterogêneos<sup>1</sup>. Quando tais feixes atravessam um meio de baixa densidade eletrônica como, por exemplo, a região de tórax ou uma cavidade de ar (região de cabeça e pescoço) ocorre uma perda do equilíbrio eletrônico ao longo do eixo central do feixe. O aumento do alcance dos elétrons combinado com o espalhamento de elétrons secundários causa um número significativo de elétrons deixando a trajetória do feixe. Isso gera uma penumbra maior na região de pulmão e subdosagem na interface tecido ar. Ao desconsiderar as heterogeneidades dos tecidos nos volumes irradiados originam-se discrepâncias entre a distribuição de dose computacional e a distribuição de dose real<sup>2</sup>.

Correções de heterogeneidade são comumente utilizadas em planejamentos de tratamentos computadorizados, sendo que o grau de precisão com que o sistema calcula a distribuição de dose nas regiões adjacentes às heterogeneidades depende do algoritmo utilizado. Os algoritmos baseados no método de convolução ou Monte Carlo são conhecidos por serem mais precisos, pois permitem melhorar a distribuição de dose estimada, particularmente na ausência de equilíbrio eletrônico<sup>3</sup>.

O Algoritmo Analítico Anisotrópico – AAA (*Varian Medical Systems*) utiliza o modelo de convolução e superposição que representa a heterogeneidade do tecido de forma anisotrópica em todas as três dimensões do local de interação usando kernels de fótons espalhados em múltiplas direções laterais<sup>4</sup>.

Este trabalho apresenta uma avaliação do cálculo de distribuição de dose executado pelo AAA para campos de fluência não uniforme em meio heterogêneo. A análise foi feita comparando a distribuição de dose planar calculada pelo sistema de planejamento Eclipse™ (*Varian Medical Systems*) e a distribuição medida, utilizando como ferramenta a análise gama.

## 2. Material e Métodos

Foram confeccionados 5 Objetos Simuladores (OS) com placas de água sólida RW3 Slab Phantom (*Sun Nuclear Corporation*) e materiais de diferentes densidades. Os materiais com suas respectivas densidades e HU e as dimensões são apresentados na Tabela 1. Já a Tabela 2 apresenta a configuração de cada OS. Os OS foram escaneados sobre a matriz planar de detectores MAPCHECK2™ (*Sun Nuclear Corporation*) no CT Brightspeed (®GE Healthcare) com cortes de espessura de 3 mm. Os arranjos e as respectivas imagens tomográficas podem ser visualizados na Figura 1.

Tabela1: Materiais utilizados para confecção dos OS e suas densidades.

Material	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	HU médio	Dimensões (cm <sup>3</sup> )
Cortiça	0.30	-524	30x30x0,5
PVC	1,49	1268	30x30x0,5 (placas) 6x1cm <sup>2</sup> (discos)
Espuma	0.08	-737	30x30x2

Para os cálculos de distribuição de dose, foram utilizadas 10 fluências não uniformes. Destas 10 fluências, 9 foram exportadas a partir de planejamentos de IMRT propostos pelo TG 119. Estes planejamentos simulam os tratamentos de IMRT de cabeça e pescoço, próstata e coluna. Uma fluência foi exportada de um planejamento de IMRT de mama. Todos os planos foram calculados no sistema de planejamento Eclipse™ 8.6 na técnica “sliding window” utilizando o algoritmo AAA versão 8.9.17 com uma grade de cálculo de 2,5 mm.

Tabela 2: Descrição de cada um dos OS.

OS	Material	Descrição
01	Água + PVC	3 placas Água + 4 placas de PVC + 1 placa Água
02	Água + cortiça	3 placas Água + 6 placas cortiça + 1 placa Água
03	Água + espuma	3 placas Água + 1 placa espuma + 1 placa Água
04	Água + PVC + cortiça	3 placas Água + 2 placas PVC + 4 placas cortiça + 1 placa Água
05	Água + espuma + PVC	3 placas Água + 1 placa espuma com 4 discos PVC + 1 placa Água

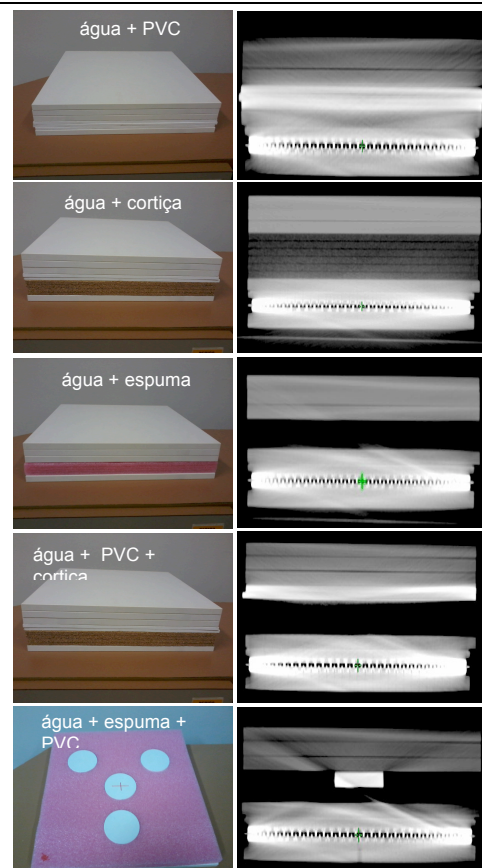


Figura 1. Objetos simuladores e suas imagens tomográficas.

As distribuições de dose foram calculadas para os OS heterogêneos aplicando a correção de heterogeneidade e também em meio homogêneo sem correção. Cada fluência foi medida individualmente em OS homogêneo de placas de água sólida e nos OS heterogêneos. Todas as medidas foram feitas campo a campo com o gantry a 0°. Além disso, foram feitas medidas com um campo 10x10 cm<sup>2</sup> para avaliar a correção de heterogeneidade para fluências simples.

Para validar as medidas da matriz de detectores recomenda-se realizar a calibração de dose absoluta comparando com as medidas feitas com câmara de ionização<sup>5</sup>. Isso foi feito irradiando um campo 10x10cm<sup>2</sup> com 100 UM, com o plano dos detectores posicionado no isocentro a 7cm de profundidade, ou seja, 2 cm inerente da própria matriz mais cinco placas de água sólida de 1 cm cada. Após isso a dose correspondente foi informada ao sistema MAPCHECK (*Sun Nuclear Corporation*)<sup>6</sup>. A dose informada foi baseada nas medidas de calibração do equipamento, que foram feitas com câmara de ionização em uma fantoma de água seguindo o protocolo TRS 398 da IAEA.<sup>7</sup>

Os OS foram irradiados em um acelerador linear 600CD (Varian Medical Systems) com energia de 6MV, taxa de dose de 400 MU/min, em setup isocêntrico, que possui colimador multilâminas (MLC) Millennium 120 com lâminas centrais de 0,5 cm e lâminas de extremidades de 1,0 cm. Os planos de dose medidos foram comparados com os calculados pelo TPS através de análise gama com critérios de aprovação de 3%/3mm e threshold de 10%. A dose no eixo central para os campos 10x10 cm<sup>2</sup> também foi verificada. A avaliação foi feita através do software SNCPatient (*Sun Nuclear Corporation*) considerando dose absoluta e normalizada no ponto de dose máxima. Visto que não houve um controle rigoroso no processo de fabricação dos materiais utilizados para a confecção dos OS, principalmente o PVC, todos foram irradiados exatamente na mesma posição em que foram escaneados, para diminuir a influência da falta de homogeneidade das placas.

### 3. Resultados

Na avaliação gama do campo 10x10 cm<sup>2</sup> considerando correção de heterogeneidade 100,0% dos pontos foram aprovados no critério 3%/3mm para todos os OS heterogêneos. Com relação a dose no eixo central, as maiores diferenças entre medida e cálculo foram de +2,0% para o OS água+PVC e +1,1% para o OS água+PVC+cortiça. Para todos os outros essa diferença foi menor que +1,0%.

Já a avaliação das fluências não uniformes em meio homogêneo com mesmo critério gama apresentou aprovação variando na faixa de 98,8 a 100,0%, o que é considerado um bom resultado, visto que, de acordo com pesquisa, grande parte das instituições adota como critério de aceite de um planejamento, um índice mínimo de aprovação entre 90 e 95% dos pontos avaliados com o critério

3%/3mm<sup>8</sup>. Apenas uma das dez fluências selecionadas obteve percentual de aprovação de 95,8%. A Tabela 2 apresenta os percentuais de aprovação para análise gama de cada uma das fluências para os OS, considerando correção de heterogeneidade e os respectivos desvios padrão.

Foi observada uma dependência da porcentagem de pontos aprovados com a fluência, visto que para um mesmo OS e diferentes fluências houve uma variação de até 21,4% no percentual de aprovação. No OS água+cortiça e água + espuma nenhuma das fluências analisadas obteve um valor de aprovação abaixo de 95,0%. Os OS água+PVC e água+cortiça+PVC apresentaram grandes variações nos resultados, em muitas das fluências a porcentagem de aprovação foi menor que 95,0%, enquanto algumas delas chegaram a 100,0%. O caso mais crítico foi o OS água+PVC+cortiça com seis das dez fluências avaliadas Com aprovação abaixo de 95%. A Figura 2 mostra a avaliação de uma das fluências no OS água+cortiça.

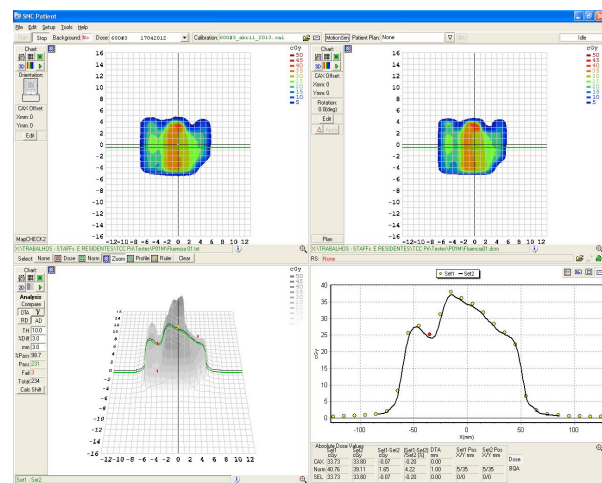


Figura 2. Avaliação feita no software SNCPatient para uma das fluências no OS água+cortiça.

### 4. Discussão e Conclusões

Os resultados encontrados para as medidas dos campos 10x10 cm<sup>2</sup> demonstraram que o algoritmo é preciso na previsão da distribuição de dose de campos de fluência simples em meios heterogêneos.

Diversos autores mencionam a precisão de cálculo de correção de heterogeneidade do AAA para meios de baixa densidade em caso de campos SBRT, e campos de fluência uniforme. O *Institut Català D'Oncologia* da Espanha avaliou oito planejamentos de SBRT de pulmão utilizando um OS feito placas RW3 e cortiça. A média de pontos aprovados na avaliação gama, com critério 3%/3mm foi de 98,3%± 1,3.<sup>9</sup> Já a avaliação gama de um campo de fluência uniforme 25x25 cm<sup>2</sup> irradiado em um objeto simulador heterogêneo de tórax, realizado no Instituto Nacional do Câncer, no Brasil, mostrou que, para o mesmo critério gama, o índice de pontos aprovados foi de 95,7%<sup>10</sup>. Os resultados encontrados neste trabalho são

bastante coerentes com os encontrados na literatura, já que o índice de pontos reprovados na análise gama, com critério 3%/3mm ficou abaixo de 5% para praticamente todas as fluências nos

OS água+cortiça e água+espuma, ou seja, nos OS com materiais de baixa densidade.

Tabela 2. Percentual de pontos aprovados na análise gama considerando o critério 3%/3mm para cada uma das 10 fluências em cada OS considerando correção de heterogeneidade e seus respectivos desvios padrão.

F	OS 1	$\sigma$ 1	OS2	$\sigma$ 2	OS 3	$\sigma$ 3	OS 4	$\sigma$ 4	OS 5	$\sigma$ 5
1	99,7	0,18	95,7	1,28	99,68	0,18	96,2	1,37	98,36	1,50
2	99,4	0,55	99,2	0,45	97,64	1,15	99,2	0,44	97,8	1,30
3	100	0	100	0	100	0	100,0	0	100	0
4	100	0	91,6	0,95	99,36	0,36	83,3	1,21	99,04	0,36
5	98,6	0	96,0	1,63	98,6	0	95,0	0,58	96,98	1,48
6	96,3	0,54	82,2	0,54	98,54	0,58	78,6	1,00	93,18	0,66
7	100	0	99,2	1,15	100,0	0	91,6	1,25	98,6	0,86
8	99,3	0	95,0	0	99,3	0	93,3	1,41	97,3	1,56
9	96,1	0,63	93,0	0,58	96,4	1,25	86,7	1,36	91,6	0,22
10	99,4	0,13	93,7	1,34	99,7	0,21	92,2	0,83	98,1	1,01

As médias dos percentuais de aprovação para os OS contendo placas de PVC foram inferiores a 95,0%, sendo que o OS água+PVC+cortiça, onde o grau de dificuldade é aumentado pela presença de três materiais diferentes apresentou o pior resultado. O mesmo não foi observado para os campos 10x10 cm<sup>2</sup> em meio heterogêneo e para as fluências não uniformes em meio homogêneo.

Os resultados apontam a necessidade de avaliações complementares da modelagem do algoritmo, para verificar o motivo das discrepâncias. Eles podem apontar uma possível limitação do algoritmo em prever a distribuição de dose para determinadas fluências não uniformes em meios de alta densidade com configurações específicas, já que a média de aprovação para o OS água+discos de PVC+espuma foi de 98,4%. Para confirmar esta hipótese é necessário uma série de outras medidas e testes que não são o objetivo deste trabalho.

Outra possível razão para os resultados observados pode estar na curva de calibração do tomógrafo, visto que a ferramenta de correção de heterogeneidade dos algoritmos em geral se baseia na densidade eletrônica ou de massa que está associada ao HU através da curva de calibração.<sup>11</sup> A região mais crítica pode estar faixa da densidade do PVC, onde para os campos 10x10 cm<sup>2</sup> as diferenças entre as doses calculadas e medidas no eixo central, apesar de pequenas, foram maiores nos OS contendo placas de PVC.

Um controle de qualidade mais rigoroso em tratamentos de IMRT que necessitem de correção de heterogeneidade deve ser considerado, visto que uma fluência pode apresentar resultados satisfatórios para um meio homogêneo, mas o mesmo pode não ser observado quando as fluências são avaliadas em meio heterogêneo.

### Agradecimentos

Agradeço à equipe de Física Médica do Hospital Erasto Gaertner pelo apoio ao trabalho e à cedência dos equipamentos para a realização das medidas.

### Referências

- Alaei P, Higgins PD. The accuracy of inhomogeneity corrections in Intensity Modulated Radiation Therapy planning in Philips Pinnacle systems. *Medical Dosimetry*.36(3), 240-245 (2011).
- Vergote K, et al. Application of monomer/polymer gel dosimetry to study the effects of tissue inhomogeneities on intensity-modulated radiation therapy (IMRT) dose distributions. *Radiotherapy and Oncology*. 67, 119-128 (2003).
- Bragg CM, Wingate K, Conway J. Clinical implications of the Anisotropic Analytical algorithm for IMRT treatment planning and verification. *Radiotherapy and Oncology*. 86, Issue 2 276-284 (2008).
- Fogliata A, et al. The Anisotropic Analytical Algorithm for photon dose calculation. Validation measurements in heterogeneous phantoms. *Third International Conference on Translational Research and Pre-Clinical Strategies in Radiation Oncology*; (2006).
- ICRU. International Commission on Radiation Units and Measurements. Prescribing, Recording and Reporting Photon Beam IMRT. ICRU Report 83 (International Commission on Radiation Units and Measurements, Geneva, Switzerland); (2010).
- Jursinic PA and Nelms BE. A 2-D diode array and analysis software for verification of intensity modulated radiation therapy delivery. *Medical Physics*.30, 870-879. (2003).
- IAEA. International Atomic Energy Agency. Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy: An International Code of Practice for Dosimetry Based on Absorbed Dose to Water. IAEA TRS-398 (International Atomic Energy Agency, Vienna); (2000).
- Nelms BE and Simon JA. A survey on planar QA analysis. *Journal of Applied Clinical Medical Physics*, 8(3), 1-15 (2007).
- Pino F, et al. Measurement of dose distributions in a heterogeneous phantom for SBRT lung treatments; comparison of AAA and PB algorithms. 10th Biennial ESTRO Conference on Physics and Radiation Technology for Clinical Radiotherapy; 2009; Elsevier; 2009.
- Silva LFO, Batista DVS, Fortes SS. Testes dosimétricos do Algoritmo Analítico Anisotrópico implementado no sistema de planejamento Eclipse/Varian. *Rev Brasileira de Física Médica*. 4(1), 31-35 (2010).
- Cozzi L, et al. Dosimetric impact of computed tomography calibration on a commercial treatment planning system for external radiation therapy. *Radiotherapy and Oncology*. 48, 335-338. (1998).

### Contato:

Pricila Bornatto

[pricila\\_bornatto@yahoo.com.br](mailto:pricila_bornatto@yahoo.com.br)