

Impacto Dosimétrico de Curvas CT-to-ED em Irradiações de Próteses e Heterogeneidades de Alto Número Atômico

Bruno L. Rodrigues¹, Carlos B. Maistro², Adriana A. Flosi², Victor A. Bertotti², Hélio Yoriyaz³ e Maira G. Nunes³

¹Faculdade de Medicina FMUSP, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.

²Hospital das Clínicas HCFMUSP, São Paulo, Brasil.

³Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, Brasil.

Resumo: A presença de próteses em radioterapia normalmente está associada a limitações no planejamento e a imprecisão no cálculo de dose. Embora existam algoritmos precisos de correção de heterogeneidade, a principal dificuldade está no estabelecimento de curvas de correção CT-to-ED para altos valores de HU. A maioria dos tomógrafos trabalha em 12 bits, saturando em torno de 3070 HU, no entanto já existem equipamentos de 16 bits que não saturam na presença de materiais de alto número atômico (Z). O objetivo deste trabalho foi avaliar, em irradiações de heterogeneidades de alto Z, o ganho dosimétrico quando são utilizadas curvas de correção que incluem altos valores de HU. Os resultados indicaram uma dependência significativa das curvas com o tomógrafo avaliado, impactando diretamente na correção de heterogeneidades e causando desvios de até 11,3% em termos de atenuação.

Palavras-chave: heterogeneidade; CT-to-ED; prótese; radioterapia; dose; 16 bits.

Abstract:

In Radiotherapy treatment, patients with prostheses have a limitation in planning and inaccuracies in dose calculation. Although precise algorithms in heterogeneities corrections exist, the primal difficulty lies on the establishment of CT-to-ED correction curves to high values of HU. On 12 bits CT scans, the saturation occurs around 3070 HU; however, 16 bits CT scans that don't saturate with high Atomic Numbers (Z) are already implemented. The objective of the present work is to evaluate the dosimetric gain in irradiations of heterogeneities of high Z when correction curves with high HU units are used. The results indicates a significant dependence of the curves of high HU with the evaluated tomograph, directly impacting the correction of heterogeneities and causing deviations up to 11.3% in terms of attenuation.

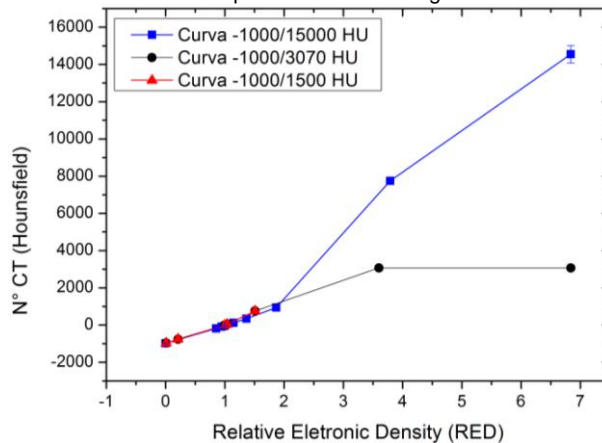
Keywords: heterogeneity; CT-to-ED; prosthesis; radiotherapy; dose; 16 bits.

Introdução: Tumores pélvicos constituem uma das maiores casuísticas de câncer no Brasil, sendo a radioterapia uma das suas principais linhas de tratamento. Todavia, a presença de próteses pélvicas pode ser um fator limitante no tratamento, aumentando a complexidade do planejamento. A prótese introduz incertezas no cálculo de dose no volume alvo e, portanto, é recomendado evitar entradas de campo e deposições de dose próximas ao material de alta densidade¹. Os atuais algoritmos de cálculo apresentam alta acurácia na correção de heterogeneidades, e são dependentes de curvas que relacionam o número de CT ou HU (do inglês – *Hounsfield Unit*) e a densidade eletrônica relativa à água (CT-to-ED). A maioria dos serviços de radioterapia utilizam curvas que são limitadas pela saturação do valor de HU dos tomógrafos e que não correspondem aos altos valores de próteses metálicas. A introdução de tomógrafos de 16 bits possibilita a construção de curvas em intervalos maiores, bem como a correção mais adequada de heterogeneidades². O objetivo deste trabalho é avaliar o impacto que curvas CT-to-ED, com altos valores de HU, no cálculo de dose em heterogeneidades de alto Z. Os resultados indicarão a magnitude do erro introduzido na dose devido à s limitações dos sistemas de aquisição de imagem.

Métodos: Para o levantamento das curvas CT-to-ED foram utilizados dois tomógrafos: de 12 e 16 bits. Com o objetivo de simular heterogeneidades foram usados três fantasmas: o *CatPhan® 503*, *PTW Inhomogeneity Phantom®* e o *Scanditronix Wellhöfer I'mRT phantom®*, com *insert* de titânio. Além dos fantasmas também foram utilizados uma prótese femoral de Cr-Co (Cromo-Cobalto) e um recipiente com água. Foram obtidas imagens de tomografia de todo o conjunto de simuladores, sendo adquiridas em um protocolo específico para aquisições de imagens pélvicas (120 kVp e 250 mAs). Para a análise da imagem foi utilizado o software *ImageJ®*, definindo regiões de interesse (ROI's) de área fixa e avaliando o número de Hounsfield mínimo, máximo e médio, além do desvio padrão³. A partir dos resultados obtidos foram construídas três curvas CT-to-ED, cada uma com um respectivo intervalo de HU e representando os intervalos mais utilizados atualmente na radioterapia. As curvas foram introduzidas no sistema de planejamento *Eclipse®*, versão 13.6 com algoritmo AAA (Anisotropic Analytical Algorithm) da Varian Medical Systems, e então foram planejados três casos com a finalidade de avaliar o impacto das diferentes curvas no espalhamento, no retroespalhamento e na atenuação. A dose foi verificada em um pequeno volume definido a cerca de 10 mm da extremidade do *insert* de titânio representando o volume de uma câmara 0,01cc. Os planos foram calculados para as três curvas com unidades monitoras fixas (500 UM) e a com energia de 6 MV.

Resultados: A prótese de Cr-Co não possui especificações técnicas relacionadas a parâmetros dosimétricos e, desta forma, foi utilizado um valor médio de densidade eletrônica definida em literatura⁴. Durante a aquisição das imagens ficou evidente a não homogeneidade da estrutura física da prótese, isto é, embora seja composta de uma mesma liga metálica, a mesma é parcialmente oca. A região de interesse e de medição de HU ficou definida próxima à cabeça femoral, local em que a prótese é maciça e homogênea. O levantamento das curvas CT-to-ED evidenciou uma discrepância entre os tomógrafos, demonstrando a saturação do tomógrafo de 12 bits em altas densidades. Os resultados obtidos para as três curvas estão ilustrados na Figura 1, sendo a azul para o tomógrafo de 16 bits e as demais para o tomógrafo de 12 bits.

Figura 1 – Curvas CT-to-ED para diferentes tomógrafos e valores de HU.



Fonte: Rodrigues, B.L. (2019).

Os resultados obtidos indicam que introduzir curvas com maiores intervalos de HU possui uma relevância dosimétrica em um plano de tratamento. A prótese de Cr-Co foi a única heterogeneidade cujo desvio padrão foi significativo, provavelmente associado ao intenso artefato de imagem obtido durante as aquisições. Para avaliar o impacto na dose planejada, três planos de tratamento foram avaliados em termos de espalhamento, retroespalhamento e atenuação. Os resultados estão indicados na tabela 1.

Tabela 1 – Avaliação de dose em diferentes curvas CT-to-ED

Curvas	Espalhamento (cGy) 10 mm do <i>insert</i>	Retroespalhamento (cGy) 10 mm a frente do <i>insert</i>	Atenuação (cGy) 10 mm após o <i>insert</i>
-1000 a 1500 HU	416,5	410,7	392,9
-1000 a 3070 HU	416,5	410,6	360,7
-1000 a 15000 HU	416,5	410,6	352,8

Fonte: Rodrigues, B.L. (2019).

A comparação de dose utilizando as três curvas não resultou em diferenças significativas em termos de espalhamento e retroespalhamento, todavia, na atenuação os resultados indicaram variações de até 11,3%. Desta forma é possível inferir que curvas de alto valor de HU provocam significativas mudanças nas distribuições de dose sendo, portanto, essencial a sua inclusão no sistema de planejamento.

Discussão e Conclusões: As curvas correção CT-to-ED possuem comportamentos significativamente diferentes em tomógrafos de 12 ou 16 bits, principalmente quando materiais de alto número atômico são avaliados. A diferença em comportamento se reflete na distribuição de dose, evidenciando a limitação de curvas com baixo valor de HU principalmente quanto à atenuação. O impacto no espalhamento e no retroespalhamento do material de alto número atômico podem ser reavaliados com outras metodologias que sejam capazes de evidenciar variações considerando, principalmente, a dose depositada em regiões mais próximas ao material⁵. Uma etapa posterior do projeto será o levantamento de curvas de dose em profundidade (PDP), perfis de dose e validações experimentais com câmaras e filmes radiocrômicos.

Referências:

1. Reft C, Alecu R, Das IJ, Gerbi BJ, et al. Dosimetric considerations for patients with HIP prostheses undergoing pelvic irradiation. Report of the AAPM Radiation Therapy Committee Task Group 63. Medical Physics. 2003
2. Liugang G, Hongfei S, Xinye N, Mingming F, Tao L. Effects of 16-bit CT imaging scanning conditions for metal implants on radiotherapy dose distribution. Oncology Letters. 2017.
3. Mamta Mahur et al. Evaluation of effect of different computed tomography (CT) scanning protocols on Hounsfield units (HU) and its impact on dose calculations by treatment planning system (TPS). Iran Jour Med Phys. 2017.
4. Sibata CH, et al. Influence of hip prostheses on high energy photon dose distributions. International Journal of Radiation Oncology Biology Physics. 1990 fev;18(2):455–61.
5. Nelson V. et al. Changes in CT number of high atomic number materials with field of view when using an extended CT number to electron density curve and a metal artifact reduction reconstruction algorithm. The Royal Australian and New Zealand College of Radiologists.