

Estudo de diferentes materiais para realização de radioterapia conformacional com feixes de elétrons utilizando o código de simulação Monte Carlo PENELOPE

Study of different materials for conformational radiotherapy with electron beams through PENELOPE Monte Carlo simulation code

Thatiane A. Pianoschi¹, Mirko Alva¹, Patrícia Nicolucci¹

¹Departamento de Física e Matemática, Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo (USP) - Ribeirão Preto (SP), Brasil

Resumo

Tratamentos radioterápicos conformacionais 3D com feixes de fótons têm obtido melhores resultados em comparação aos tratamentos convencionais, porém, para feixes de elétrons, a utilização dessa técnica pode ser aprimorada se houver estudos a respeito de outros materiais que poderiam ser empregados como colimadores. Assim, o objetivo desse estudo foi avaliar os parâmetros dosimétricos dessa técnica com colimadores adicionais de acrílico comparando aos colimadores convencionais de cerrobend, utilizando simulação Monte Carlo PENELOPE. Ao se compararem os resultados obtidos com os dois materiais, verificou-se que as diferenças encontradas nas curvas de porcentagem de dose profunda foram menores que 1,2 e 1,5% para as energias de 6 MeV e 15 MeV, respectivamente. Para o perfil de campo na profundidade de tratamento (isodose de 85%), essas diferenças foram de 2,5 e 3,2% para as energias de 6 MeV e 15 MeV, respectivamente. Os resultados obtidos para os dois tipos de materiais para colimadores adicionais se mostraram equivalentes; assim, o colimador adicional pode ser confeccionado de ambos os materiais, notando-se porém que a confecção em cerrobend apresenta uma menor espessura.

Palavras-chaves: Radioterapia, Feixe de elétrons, Monte Carlo PENELOPE.

Abstract

3D conformal radiotherapy with photon beams has obtained better results than conventional treatments. However, this technique with electron can be improved with any studies regarding from others materials that would be use like collimators. The purpose of this study was to evaluate the dosimetric parameters for this technique with additional collimators of acrylic, comparing this with the conventional collimator of cerrobend, using PENELOPE simulation code. Comparisons between the results obtained with the two materials presented differences less than 1.2 and 1.5% in the percentage depth dose curves for beams of 6 MeV and 15 MeV, respectively. For beam profiles at the treatment depth, differences of 2.5 and 3.2% were found for beams of 6 MeV and 15 MeV, respectively. The results obtained for both kinds of materials for additional collimators were similar for each beam energy. It can be inferred therefore that the additional collimator for the proposed technique can be manufactured using a material of high atomic number, conserving irradiation condition already established, with the advantage of lower thickness.

Key words: Radiotherapy, Electrons beams, Monte Carlo PENELOPE.

Introdução

O uso de técnicas conformacionais para feixes de fótons corresponde aos procedimentos mais modernos em radioterapia, tendo como exemplo a radioterapia com modulação de intensidade de feixe (IMRT, do inglês *Intensity Modulated Radiation Therapy*)¹. Para

fótons, campos irregulares são obtidos por meio do uso de blocos de blindagens de alto número atômico, confeccionados especialmente para cada paciente, ou por meio de acessórios próprios das unidades de tratamento, como os colimadores multifolhas. Como possibilita uma melhor segmentação do volume-alvo do tratamento, protegendo tecidos sadios adjacentes, o uso de

Correspondência: Thatiane Pianoschi, FFCLRP-USP: Departamento de Física, Faculdade de Filosofia Ciência e Letras de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Av. Bandeirantes, 3.900, Monte Alegre, CEP 14040-901 – Ribeirão Preto (SP), Brasil, E-mail: thatianealves@pg.ffclrp.usp.br

técnicas conformacionais em radioterapia com feixes de fótons tem possibilitado o aumento das doses prescritas em comparação com aquelas utilizadas em técnicas convencionais.

Para o caso de feixes de elétrons, atualmente a maioria das unidades de terapia são dotadas de acessórios específicos para técnicas conformacionais. Há trabalhos recentes que têm estudado diferentes possibilidades de realização dessa técnica radioterápica, como a construção de colimadores multifolhas específicos para feixes de elétrons², ou o uso dos colimadores multifolhas já presentes nos acelerados lineares e utilizados somente para feixes de fótons³ ou ainda o desenvolvimento de colimadores adicionais acoplados aos aplicadores padrões de feixes de elétrons – essa última possibilidade mantendo a característica padrão de tratamento com elétrons e a conformação do campo de irradiação próximo à superfície irradiada^{4,5}. Para essa modalidade de radioterapia conformacional 3D com elétrons, a maior limitação é a espessura dos colimadores adicionais utilizados, devido à curta distância entre o aplicador padrão e a superfície irradiada, sendo necessárias investigações sobre a confecção desses colimadores adicionais⁶.

Assim, a otimização desses colimadores adicionais pode ser determinada utilizando simulação computacional, que é uma alternativa conveniente em relação aos métodos experimentais, pois apresenta a vantagem de propiciar estudos detalhados e, em diferentes condições, sem envolver metodologias experimentais demoradas e de alto custo⁷. Dessa forma, dados a respeito das distribuições de dose em diferentes geometrias de irradiação podem ser convenientemente determinados.

A proposta desse estudo é avaliar o acrílico comparativamente com o cerrobend⁸, utilizando simulação Monte Carlo com código PENELope (acrônimo de *PENatration and Energy LOss of Positrons and Electrons*) na análise das distribuições de dose, das porcentagens de dose profunda (PDP) e dos perfis de dose obtidos utilizando colimadores adicionais com esses materiais.

Materiais e métodos

As diferentes respostas dosimétricas para os colimadores adicionais para o tratamento de radioterapia conformacional 3D com elétrons foram avaliadas por meio de simulação Monte Carlo com o código PENELope, versão 2008⁹, com uma incerteza estatística menor que 1% e a energia de absorção para fótons e elétrons foi de 10 keV para todas as simulações realizadas.

A Figura 1 representa a geometria de simulação: a estrutura de cor lilás representa o objeto simulador 20 x 20 x 20 cm³, preenchido com água; a estrutura de cor azul representa o colimador adicional; e a estrutura de cor laranja representa o tamanho do campo de irradiação 1 x 1 cm², escolhido como um *pencil beam* para cálculos conformacionais. Os materiais utilizados para os colimadores adicionais foram: cerrobend (50% de bismuto, 26,7% de chumbo, 13,3% de estanho e 10% de cádmio) com densidade de 9,64 g/cm³ e acrílico (60% de carbono, 8% de hidrogênio e 32% de oxigênio) com densidade de 1,19 g/cm³.

Nesse estudo, foram utilizados espectros de feixe de elétrons de 6 e 15 MeV, como mostrado na Figura 2, obtidos da literatura e validados por meio de comparações com medidas experimentais¹⁰. Um objeto simulador de 20 x 20 x 20 cm³ preenchido com água foi utilizado em todas as simulações. A distância fonte-superfície utilizada foi de 100 cm, com um campo de radiação de 10 x 10 cm², sendo colimado, pelos aplicadores adicionais, em um campo de 1 x 1 cm².

As curvas de PDP e os perfis de campo, na profundidade de tratamento (isodose de 85%), foram determinadas por meio do PENELope, para ambos os materiais e energias, com resolução espacial de 1 mm ao longo do eixo central do campo de radiação. Também foram determinadas as distribuições de doses depositadas em planos paralelos e perpendiculares ao eixo central dos feixes de radiação utilizados.

As espessuras dos colimadores adicionais de cerrobend e acrílico foram determinadas para se obter a mesma

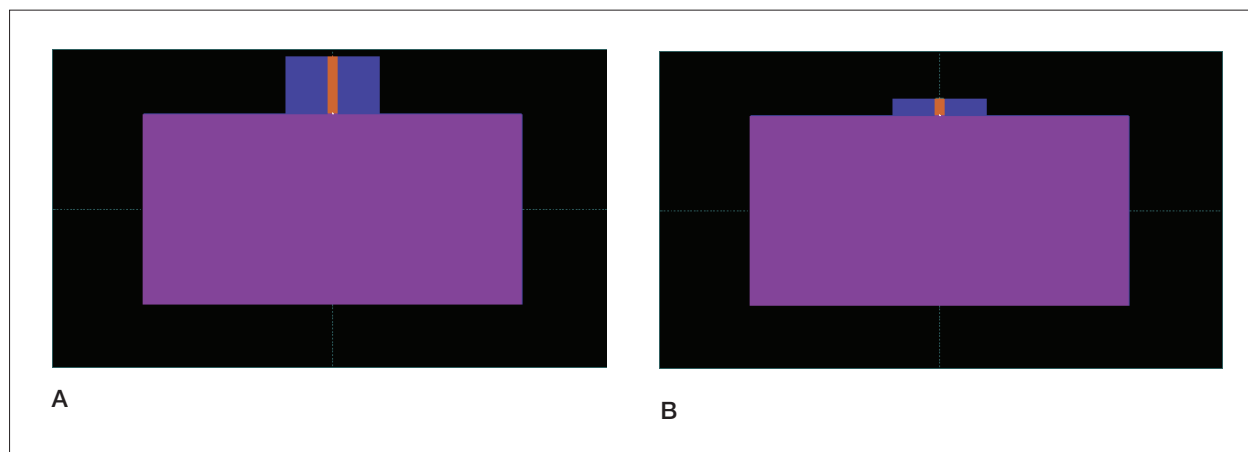


Figura 1. Geometria simulada para os diferentes materiais de colimadores adicionais: (A) acrílico, (B) cerrobend.

atenuação com esses diferentes materiais nas diferentes energias. Na Tabela 1 estão apresentadas as espessuras utilizadas na simulação, apesar de, na prática, usarem-se espessuras menores, da ordem de 1,5 cm.

Resultados e discussão

As distribuições de doses depositadas no objeto simulador, em um plano paralelo ao eixo central do feixe de radiação, são representadas na Figura 3, que mostra, qualitativamente, a diferença na distribuição de dose obtida para o mesmo material de colimador adicional, acrílico, em feixes de radiação de 6 e 15 MeV.

As respostas dosimétricas encontradas para os diferentes materiais e energias são apresentadas nas Figuras 4 e 5.

A Tabela 2 mostra, quantitativamente, as maiores diferenças encontradas nos parâmetros dosimétricos, PDP e perfil de campo, na profundidade de tratamento, com os colimadores de cerrobend e acrílico nas energias de 6 MeV e 15 MeV.

Pelas características dosimétricas de um feixe de elétrons, era esperado que o colimador de cerrobend produzisse contaminação do feixe pela produção de fótons de *Bremsstrahlung*. Porém, os resultados das Figuras 4 e 5 não mostram a presença dessa contaminação, indicando que os fótons produzidos foram atenuados pelo próprio colimador. Assim, materiais de alto número atômico podem ser usados para blindagem de feixes de elétrons, desde que tenham a espessura adequada para atenuar os fótons produzidos.

A pequena distância entre o aplicador padrão de elétrons e a superfície a ser irradiada, em torno de apenas 5 cm, privilegia a utilização de um colimador de maior número atômico, com espessura reduzida, que permite

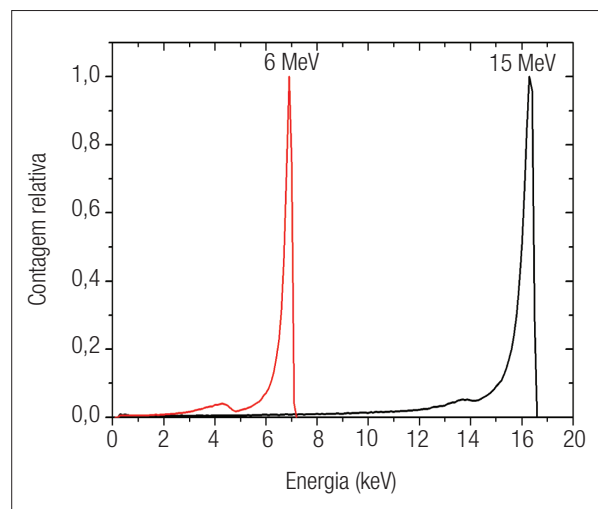


Figura 2. Espectros de energias utilizados na simulação (Jin).

Tabela 1. Espessuras dos colimadores adicionais.

Energia (MeV)	Espessura do colimador adicional (cm)	
	Cerrobend	Acrílico
6	1,8	6,0
15	3,3	10,9

Tabela 2. Variação percentual máximas na comparação dos parâmetros dosimétricos para os colimadores adicionais de cerrobend e acrílico, nas energias de 6 MeV e 15 MeV.

Energia (MeV)	Variação percentual da PDP (%)	Variação percentual do perfil de campo (%)
6	1,2	2,5
15	1,5	3,2

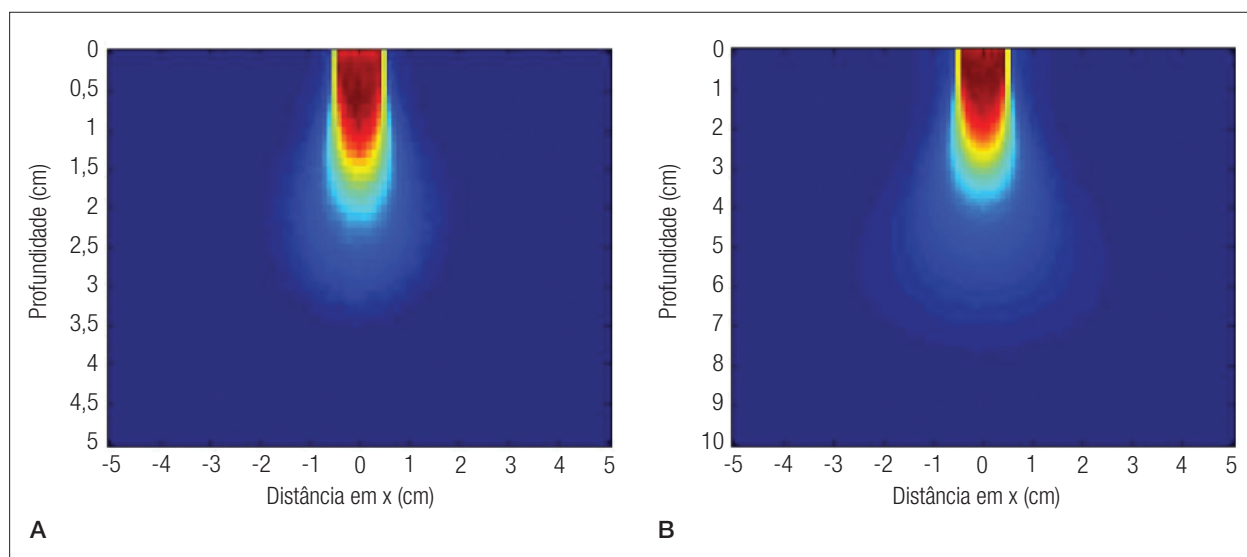


Figura 3. Distribuição de dose com o colimador de acrílico para as energias de: (A) 6 MeV, (B) 15 MeV.

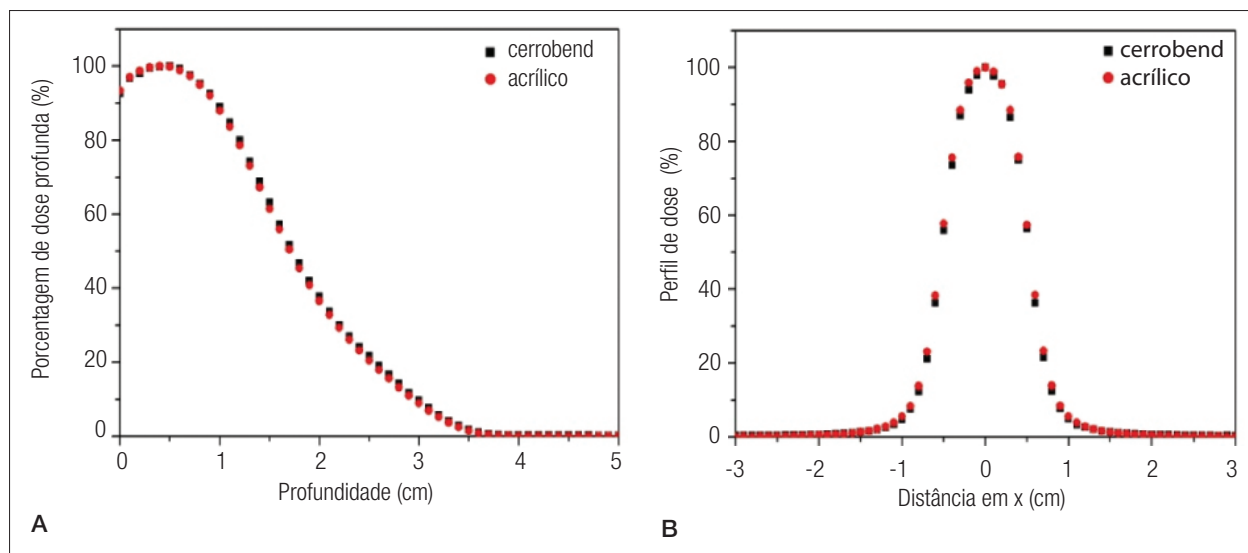


Figura 4. Comparação dos resultados com colimadores de cerrobend e acrílico para a energia de 6 MeV: (A) PDP, (B) perfil de campo.

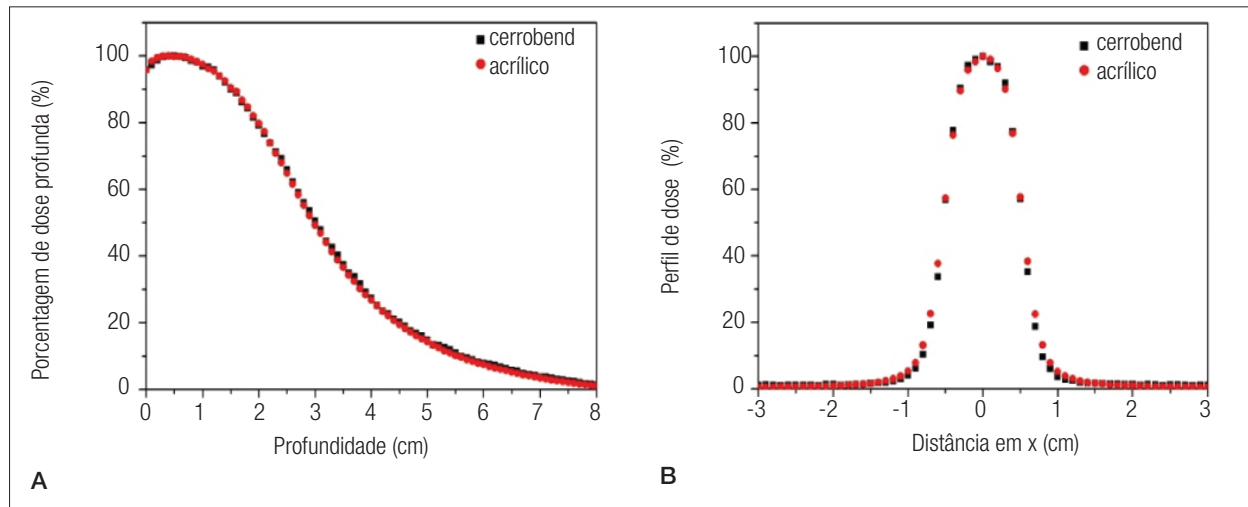


Figura 5. Comparação dos resultados com colimadores de cerrobend e acrílico para a energia de 15 MeV: (A) PDP, (B) perfil de campo.

manter a distância fonte-superfície padrão de 100 cm sem aumentar a dose em profundidade por contaminação do feixe primário.

Conclusão

Os resultados mostraram que, para a técnica de radioterapia 3D com elétrons, o colimador adicional pode ser confeccionado com cerrobend ou acrílico, porém o primeiro tem a vantagem de possuir uma menor espessura em relação ao segundo, resolvendo o problema da curta distância entre o aplicador padrão de elétrons e a superfície irradiada, e não alterando as condições padrão de irradiação. Assim, sugere-se que, novos estudos sobre a escolha de outros materiais sejam feitos, no sentido de se avaliarem materiais que produzam o efeito desejado com espessuras menores.

Referências

1. Yovino S, Poppe M, Jabbour S, David V, Garofalo M, Pandya N, et al. Intensity-modulated radiation therapy significantly improve acute gastrointestinal toxicity in pancreatic and ampullary cancers. *Int J Radiation Oncology Biol Phys.* 2011;79(1):158-62.
2. Gauer T, Albers D, Cremers F, Harmansa R, Pellegrini R, Schmidt R. Design of a computer-controlled multileaf collimator for advanced electron radiotherapy. *Phys Med Biol.* 2006;51(23):5987-6003.
3. Jin L, Ma CM, Fan J, Eldib A, Price RA, Chen L, et al. Dosimetric verification of modulated electron radiotherapy delivered using a photon multileaf collimator for intact breasts. *Phys Med Biol.* 2008;53(21):6009-25.
4. Al-Yahya K, Verhaegen F, Seuntjens J. Design and dosimetry of a few leaf electron collimator for energy modulated electron therapy. *Med Phys.* 2007;34(12):4782-79.
5. Vatanen T, Traneus E, Lahtinen T. Dosimetric verification of a Monte Carlo electron beam model for an add-on eMLC. *Phys Med Biol.* 2008;53(2):391-404.

6. Sempau J, Acosta E, Baró J, Fernández-Varea JM, Salvat F. An algorithm for Monte Carlo simulation of coupled electron-photon transport. *Nucl Instr Meth B*. 1997;132(3):377-90.
7. Taherkhani A, Mohammadi M, Saboori MS, Changizi V. Evaluation of the physical characteristic of Cerrobend blocks used for radiation therapy Iran. *J Radiat Res*. 2010;8(2):93-101.
8. Brualla L, Palanco-Zamora R, Wittig A, Sempau J, Sauerwein W. Comparison between PENELOPE and electron Monte Carlo simulations of electron fields used in the treatment of conjunctival lymphoma. *Phys Med Biol*. 2009;54(18):5469-81.
9. Salvat F, Fernández-Varea JM, Sempau J. PENELOPE-2008: A Code System for Monte Carlo Simulation of Electron and Photon Transport. (Issyles-Moulineaux: OECD Nuclear Energy Agency); 2009.
10. Ding GX, Rogers DWO. Energy spectra, angular spread and dose distributions of electron beams from various accelerators used in radiotherapy. PIRS-0439. Institute for National Measurement Standards, National Research Council of Canada. Ottawa, Canada; 1995.