

Determinação dos coeficientes de conversão para dose equivalente e efetiva de um profissional em um procedimento de implantação de sementes para braquiterapia de próstata

Determination of the conversion coefficients for equivalent and effective dose of a professional in a seed implantation procedure for prostate brachytherapy

**Paula de Cássia Justino¹, Otávio Joaquim Tavares², William Souza Santos²,
Lucio Pereira Neves^{1,2}, Ana Paula Perini^{1,2}**

¹Pós Graduação em Engenharia Biomédica, Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Brasil;

²Instituto de Física, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Brasil

E-mail: paulajustino@ufu.br

Resumo: A braquiterapia utilizando fontes radioativas de baixa taxa de dose é um dos tipos de tratamento de câncer de próstata, e para sua implantação, o médico precisa de imagens para guiar na correta fixação, por meio de ultrassom e/ou fluoroscopia. Levando em consideração que este profissional fica próximo ao feixe de raios X, neste trabalho, foram determinados os coeficientes de conversão para dose equivalente $CC[H_T]$ e efetiva $CC[E]$ deste profissional. Os resultados mostraram que órgãos próximos ao paciente (radiação espalhada) e ao feixe de raios X (estômago, gônadas, fígado, mamas e cólon) obtiveram os maiores valores de $CC[H_T]$.

Palavras-chave: Método Monte Carlo; braquiterapia; fluoroscopia; proteção radiológica.

Abstract: Brachytherapy using low dose radioactive sources is one of the types of treatment for prostate cancer, and for its implantation, the physician needs images to guide the correct fixation, using ultrasound and/or fluoroscopy. Taking into account that this professional is close to the X-ray beam, in this work, the conversion coefficients for equivalent $CC[H_T]$ and effective doses $CC[E]$ of this professional were determined. The results showed that organs close to the patient (scattered radiation) and the X-ray beam (stomach, gonads, liver, breast and colon) obtained the highest values for $CC[H_T]$.

Keywords: Monte Carlo method; brachytherapy; fluoroscopy; radiation protection.

1. INTRODUÇÃO

O câncer de próstata no mundo é o segundo mais frequente nos homens, atrás apenas do câncer de pulmão (BRAY, F; *et al.*, 2018). No Brasil, este tipo de câncer ocupa a primeira posição de maior incidência, sem considerar os tumores de pele não melanoma, estimando-se para o triênio 2020-2022, 66 mil novos casos para cada ano (INCA, 2019). Dentre os fatores de risco de desenvolver o câncer de próstata estão a idade acima de 50 anos, histórico familiar, tabagismo e obesidade (AMERICAN CANCER SOCIETY, 2016). Como formas de tratamento são indicados a prostatectomia radical, radioterapia externa, uso de medicamentos e a braquiterapia (EUROPEAN ASSOCIATION OF UROLOGY, 2017).

A braquiterapia é uma modalidade de tratamento em que fontes radioativas seladas são colocadas em uma curta distância do tumor, onde uma dose alta de radiação deve ser entregue, preservando assim os tecidos sadios adjacentes. O uso deste tipo de técnica para tratamento de câncer de próstata pode ser utilizando sementes de alta taxa de dose (HDR – *High Dose Rate*) ou de baixa de taxa de dose (LDR – *Low Dose Rate*) (KHAN, 2010).

Na braquiterapia LDR, as fontes radioativas são implantadas permanentemente, sendo empregadas cerca de 60 a 90 sementes. Este procedimento é realizado com o auxílio de imagem por ultrassom e/ou fluoroscopia. Por meio de um pulso na fluoroscopia é possível observar a profundidade das agulhas com as sementes inseridas e, posteriormente, é operada em modo contínuo durante toda a implantação das fontes e extração de todas as agulhas, para que as sementes sejam fixadas nos locais de planejamento dosimétrico feitos anteriormente. Neste procedimento, o médico (urologista/oncologista) ficará exposto ao feixe da fonte de raios X da unidade de fluoroscopia e, por estar próximo do paciente, que é um meio espalhador de radiação, existe a preocupação sobre as doses de radiação recebidas pelo médico, principalmente no cristalino (PENFOLD *et al.*, 2012).

O cristalino é um órgão radiosensível, que tem um limiar de dose recomendado pela ICRP (*International Commission on Radiological Protection*) de 20 mSv anuais, na média de 5 anos, não ultrapassando 50 mSv em nenhum desses anos (ICRP, 2011). Em procedimentos de fluoroscopia, há alguns fatores que fazem com que a dose no cristalino seja mais alta, como o biotipo do paciente, o equipamento e sua configuração, além da experiência do médico e, se este está usando equipamentos de proteção individual e coletivo (IAEA, 2011). Uma consequência que pode ser causada por uma dose maior que 0,5 Gy no cristalino é a catarata (ICRP, 2011). A cataratogênese induzida por radiação é considerada um efeito tecidual, sendo alvo de muitos estudos, considerando-se profissionais envolvidos em procedimentos intervencionistas utilizando raios X (IAEA, 2011).

Com o avanço do número de procedimentos de radiologia intervencionista e avanço na área computacional, o método Monte Carlo passou a ser um importante instrumento, capaz de calcular doses absorvidas e sua distribuição na matéria, entre outras grandezas de interesse, a fim de avaliar diagnósticos e tratamentos de câncer por radiação, sendo aplicada em todas as áreas da física médica (YORIYAZ, H, 2009).

Sabendo da grande incidência do câncer de próstata estimada para o próximo triênio, verificando a preocupação do médico no cenário deste procedimento, pelo fato de estar próximo à unidade de fluoroscopia, e a versatilidade do código Monte Carlo, o objetivo deste trabalho foi avaliar computacionalmente os valores de coeficientes de conversão de dose equivalente ($CC[H_T]$) e efetiva ($CC[E]$) para um objeto antropomórfico virtual masculino, utilizado para simular um profissional envolvido com a implantação de sementes de braquiterapia, utilizando um equipamento de fluoroscopia para guiar o procedimento.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho, foram empregados os seguintes materiais: o software de simulação de Monte Carlo MCNP 6.2, as informações sobre a fonte de raios X de fluoroscopia e um objeto simulador antropomórfico virtual masculino MASH3.

2.1. Software Monte Carlo MCNP 6.2

O software MCNP 6.2 (Werner, CJ, 2017) pode simular o transporte de nêutrons, fótons, elétrons, prótons e íons pesados na matéria, por meio de experimentos probabilísticos, caracterizado por processos estocásticos. É necessário que um grande conjunto de partículas seja gerado para garantir incertezas menores, em que estas mudarão aleatoriamente suas trajetórias no material de interesse, a fim de o maior número de eventos individuais sejam simulados e por meio desses comportamentos, estimar as grandezas dosimétricas (YORIYAZ, H, 2009).

Estes eventos individuais de cada partícula são chamados de história da partícula, em que é simulado desde a emissão da partícula até sua morte, ou seja, quando é absorvida ou escapa do material. Esta partícula por meio de interações com o sistema pode produzir partículas secundárias, perder energia e mudar sua direção de propagação no material (YORIYAZ, H, 2009).

O código de Monte Carlo MCNP foi aplicado para estimar os coeficientes de conversão para dose equivalente para diferentes órgãos e tecidos de um objeto simulador computacional antropomórfico masculino MASH3, representando um médico. Para isso foi utilizado o *tally* F6, sendo geradas um total de $1E09$ histórias de partículas, com o intuito de obter resultados com precisão e satisfatórios. Os valores de $CC[H_T]$ foram determinados utilizando a equação 1 (SANTOS *et al.*, 2020). Para a determinação do produto kerma-área (PKA) foi modelada uma câmara de ionização, e esta foi posicionada na linha do feixe e na saída do tubo de raios X para determinar o produto kerma-área simulado.

$$CC[H_T] = \frac{\text{tally } F6 \text{ (MCNP)}}{PKA_{\text{simulado}}} \quad (1)$$

Para obtenção do valor do $CC[E]_{\text{MASH3}}$ para o objeto antropomórfico virtual MASH3 foi utilizada a equação 2 (SANTOS *et al.*, 2020).

$$CC[E]_{MASH3} = \sum_T w_T \times CC[H_T] \quad (2)$$

sendo w_T os valores de ponderação teciduais obtidos na (ICRP 103, 2007).

2.2. Software gerador de espectro de raios X *SpekCalc*

Para gerar o espectro da fonte de raios X do aparelho de fluoroscopia Philips BV Libra C-Arm (PHILIPS MEDICAL SYSTEMS NETHERLAND B.V, 2004) neste estudo, foi utilizado um programa chamado *SpekCalc*, que tem como propósito a simulação de espectros de raios X emitidos de tubos com ânodo de tungstênio (POLUDNIOWSKI, G, *et al.*, 2009).

O software *SpekCalc* é usado principalmente em pesquisas em física médica, principalmente no radiodiagnóstico, em que houve necessidade de avaliar parâmetros de emissão de raios X em determinados equipamentos, como a camada semirredutora e energias espectrais. O programa abrange tensões do tubo de 40 a 300 kVp, uma gama de ângulos do ânodo 6 a 30 graus, além de vários materiais para filtração como ar, água, Be, Al, Cu, Sn e W (POLUDNIOWSKI, G, *et al.*, 2009).

Para este estudo, foram inseridos no software para obtenção do espectro, uma tensão no tubo de 100 kV, ânodo fixo de tungstênio com angulação de 12° e uma filtração de 0,6 mm Al.

2.3. Objeto Simulador Antropomórfico Virtual Masculino MASH3

O simulador antropomórfico virtual masculino MASH3 foi modelado em conformidade com a ICRP 89, baseado em superfícies de malha de polígonos, na Universidade Federal de Pernambuco. Este possui em sua estrutura 113 órgãos, ossos e tecidos (CASSOLA, VF, *et al.*, 2010).

Foi empregado neste estudo, um objeto simulador computacional masculino MASH3, adulto, com aproximadamente 72,701 kg e 1,75 m de altura e em pé Este foi colocado na simulação à frente do paciente (representado na simulação como um cilindro constituído de material *soft tissue*, equivalente ao tecido humano). O paciente foi colocado em posição ginecológica para o procedimento e a 20 cm de distância do intensificador de imagem, como mostra a figura 1.

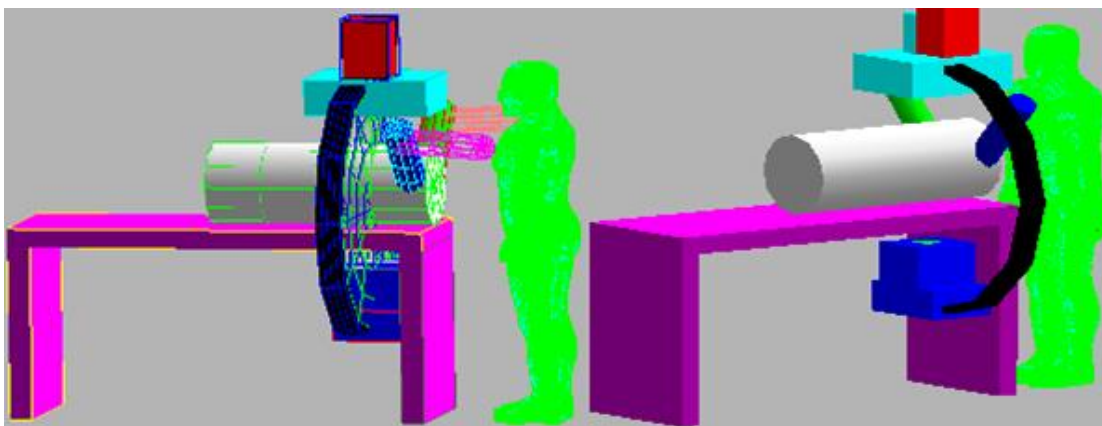


Figura 1. Cenário de simulação no MCNP6.2 contendo a mesa, o paciente, o equipamento de fluoroscopia e um objeto simulador virtual masculino MASH3.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio das simulações de Monte Carlo, foram determinados os coeficientes de conversão para dose equivalente em vários órgãos/tecidos do objeto antropomórfico virtual masculino, os resultados são apresentados na tabela 1. O MASH3 está simbolizando o médico realizando um procedimento de implantação de sementes de braquiterapia de próstata com a orientação de uma unidade fluoroscópica. As sementes de ^{125}I utilizadas neste procedimento são de baixa taxa de dose (LDR) e por isso, sua dose é considerada insignificante e, não foram consideradas neste cenário.

Tabela 1. Valores de $\text{CC}[\text{H}_\text{T}]$ e $\text{CC}[\text{E}]$ ($\mu\text{Sv}/\text{Gy}\cdot\text{cm}^2$) para um objeto simulador masculino implantando sementes de braquiterapia usando um equipamento de fluoroscopia

Órgão/Tecido	$\text{CC}[\text{H}_\text{T}]$ ($\mu\text{Sv}/\text{Gy}\cdot\text{cm}^2$)	Incerteza (%)
Medula óssea	3.6E+00	3
Cólon	2.3E+01	5
Pulmão	5.8E+00	7
Estômago	3.1E+01	7
Mamas	1.6E+01	19
Demais Tecidos	7.7E-01	1.7
Gônadas	2.7E+01	17
Bexiga	1.1E+01	16
Esôfago	3.6E+00	30
Fígado	2.3E+01	5
Tireoide	2.6E+00	49
Superfície óssea	3.1E+00	3
Cérebro	4.3E-01	33
Glândulas Salivares	1.8E+00	26
Pele	1.3E+01	1.6
Lentes dos Olhos	2.8E+00	100
Olhos	1.9E+00	71
$\text{CC}[\text{E}]_{\text{MASH3}}$ ($\mu\text{Sv}/\text{Gy}\cdot\text{cm}^2$)	1.4E+01	4

*Glândulas adrenais, laringe, faringe, vesícula biliar, rins, nódulos linfáticos, músculo, mucosa oral, pâncreas, intestino delgado, baço, timo, coração.

Observando os resultados apresentados na tabela 1, os órgãos que obtiveram os maiores valores de $\text{CC}[\text{H}_\text{T}]$ foram: estômago, as gônadas, o fígado, as mamas e o cólon em comparação com os outros órgãos. Isso se deve ao fato de estarem localizados mais próximos do feixe de raios X e do paciente durante o procedimento, visto que na fluoroscopia, o paciente se torna a principal fonte de radiação espalhada, que atingirá a equipe médica, no qual, o tamanho do paciente e sua posição são fatores significativos no espalhamento da radiação.

Para os órgãos que estão localizados acima do tórax, como esôfago, tireoide, glândulas salivares, olhos, cristalino e cérebro, tiveram menores valores de $CC[H_T]$, uma vez que a distância em relação ao paciente e o feixe de raios X são maiores. Em destaque para o cérebro, que obteve o menor valor de $CC[H_T]$ em relação aos órgãos individuais analisados.

Quando levamos em consideração a pele, um órgão distribuído por todo o corpo humano, o valor de $CC[H_T]$ também foi elevado, visto que apresenta um maior volume em comparação com os demais tecidos e órgãos.

4. CONCLUSÕES

Neste trabalho, foram determinados os valores de $CC[H_T]$ e $CC[E]$ para um médico ocupacionalmente exposto em um procedimento de implantação de fontes de braquiterapia sendo guiado por fluoroscopia, empregando o objeto simulador virtual MASH3. Os resultados mostraram que órgãos próximos ao paciente e ao feixe de raios X, como o estômago, as gônadas, as mamas, o fígado e o cólon, obtiveram valores maiores que os outros órgãos e tecidos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Dr. Richard Kramer por fornecer os objetos simuladores virtuais e a Agência de Fomento Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Projetos APQ-03049-15 e APQ-02934-15). A aluna Paula de Cássia Justino recebe bolsa de Mestrado da FAPEMIG.

REFERÊNCIAS

AMERICAN CANCER SOCIETY. Prostate Cancer Risk Factors. Last Revised: March 11, 2016. Available at: <https://www.cancer.org/cancer/prostate-cancer/causes-risks-prevention/risk-factors.html>. Accessed March 22, 2020.

BRAY, F; *et al.* Global cancer statistics 2018: GLOBOCAN estimates of incidence mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. CA: a cancer journal for clinicians, Hoboken: Nov 2018, v.68, n.6, p. 394-424.

CASSOLA, VF; DE LIMA, VJ; KRAMER, R; KHOURY, HJ. FASH and MASH: Female and male Adult human phantoms based on polygon meSH surfaces. Part I. Development of the anatomy. 2010; 55: 133.

EUROPEAN ASSOCIATION OF UROLOGY. Guidelines on Prostate Cancer. 2017. Consultado em março de 2020, Disponível em https://uroweb.org/wp-content/uploads/09-Prostate-Cancer_2017_web.pdf.

INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER JOSÉ ALENCAR DA SILVA. Estimativa 2020: incidência de câncer no Brasil / Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva. — Rio de Janeiro: INCA, 2019.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Radiation Protection of Patients, Radiation and Cataract. 2011. (available online <https://www.iaea.org/resources/rpop/health-professionals/radiology/cataract/staff>). Accessed March, 2020.

INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. Statement on tissue reactions. 2011. ICRP Ref 4825-3093-1464.

INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION 103. Recommendations of the ICRP publication 103. Elsevier, 37, 61-62, 2007.

KHAN, FM. The Physics of Radiation Therapy, Baltimore, Maryland USA; Williams & Wilkins, 2010.

PELOWITZ, DB. MCNPX User's Manual, Version 2.7.0, Report LA-CP-11-00438. Los Alamos National Laboratory; 2011.

PENFOLD, SN; MARCU, L; LAWSON, JM; ASP, J. Evaluation of physician eye lens doses during permanent seed implant brachytherapy for prostate cancer. Journal of Radiological Protection. 2012. 32(3), 339.

PHILIPS MEDICAL SYSTEMS NETHERLAND B.V. Philips BV Libra C- Arm Mobile X- Ray Unit Instructions for use. Document number: 9896 001 92273. Koninklijke Philips Electronics N.V. 2004.

POLUDNIOWSKI, G; LANDRY, G; DEBLOIS, F; EVANS, PM; VERHAEGEN, F. SpekCalc: a program to calculate photon spectra from tungsten anode x-ray tubes, Physics in Medicine and Biology, 2009. Vol. 54(19), N433-N438. Disponível <https://publications.icr.ac.uk/8840/>.

SANTOS, W. S.; SOUZA, L.W.G.; NEVES, L. P.; PERINI, A.P.; SANTOS, C. J. ; BELINATO, W.; CALDAS, L.V.E. Evaluation of fetal, medical and occupational exposure in ERCP procedures using Monte Carlo simulation and virtual anthropomorphic phantoms. Aceito para Publicação: Radiation Physics and Chemistry, 2020.

WERNER, CJ (editor). MCNP Users Manual - Code Version 6.2, Report LA-UR-17-29981. Los Alamos National Security, LLC. 2017.

YORIYAZ, H. Método de Monte Carlo: princípios e aplicações em Física Médica. Revista Brasileira de Física Médica. 2009; 3: 141-9.