

# Dosimetria Numérica durante uma radiografia periapical: estudo por simulação Monte Carlo

## Numeric Dosimetry during a periapical radiography: study by Monte Carlo Simulation

Ariadny T. Machado<sup>1</sup>, Guilherme B. Guimarães<sup>1</sup>, William S. Santos<sup>1,2</sup>, Ana P. Perini<sup>1,3</sup>, Lucio P. Neves<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-graduação em Engenharia Biomédica, FEELT, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Brasil

<sup>2</sup>Departamento de Física, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Brasil

<sup>3</sup>Instituto de Física, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Brasil

### Resumo

Na odontologia, a radiografia é crucial para visualizar estruturas dentárias e maxilofaciais. A radiografia periapical intraoral destaca-se por revelar raízes, coroas dentárias e osso alveolar, sendo essencial para diagnóstico e planejamento. Contudo, a exposição à radiação ionizante traz riscos, especialmente para tecidos sensíveis como o cristalino, tireoide e glândulas salivares. Este estudo visa calcular os coeficientes de conversão de dose absorvida (CC[D]) para os principais tecidos da região de cabeça e pescoço, usando simulações Monte Carlo para os principais ângulos da técnica de radiografia periapical. Os resultados mostraram que nem o cristalino nem a tireoide foram os tecidos mais afetados, mas sim a glândula parótida, com CC[D] de  $1,53E-1$  (0,7%) MeV/g/source-particle. O principal motivo para esta ser a estrutura mais exposta é sua posição em relação ao feixe primário.

**Palavras-chave:** simulação Monte Carlo; radiodiagnóstico, radiografia intraoral, técnica periapical.

### Abstract

*Radiography is an indispensable tool in dentistry for the visualization of dental and maxillofacial structures. Because it makes roots, dental crowns, and alveolar bone visible, intraoral periapical radiography is unique and crucial for diagnosis and planning. Ionizing radiation exposure, however, carries hazards, particularly for sensitive tissues including the thyroid, salivary glands, and eye lens. The purpose of this work is to use Monte Carlo simulations to compute the conversion coefficients of absorbed dose (CC[D]), in the main angles of the periapical radiography technique, for the major tissues in the head and neck area. The parotid gland, with a CC[D] of  $1.53E-1$  (0.7%) MeV/g/source-particle, presented the highest values, more than the lens or thyroid, according to our results. The main reason for this being the most exposed structure is its position in relation to the primary beam.*

**Keywords:** Monte Carlo simulation; radiodiagnosis, intraoral radiography, periapical technique.

### 1. Introdução

A radiografia intraoral odontológica é uma ferramenta fundamental no diagnóstico e acompanhamento de condições dentárias e bucomaxilofaciais, permitindo a visualização detalhada das estruturas ósseas e dos tecidos moles associados (1). Existem três modalidades de raios X intraorais: a radiografia oclusal, a radiografia interproximal e a radiografia periapical. Essas técnicas, cada uma com sua aplicação específica, são essenciais para o diagnóstico preciso e o planejamento de tratamentos odontológicos (2).

A radiografia periapical é uma das modalidades mais utilizadas devido à sua capacidade de fornecer imagens detalhadas de todo o dente, da coroa até a raiz, incluindo as estruturas ósseas circundantes. É amplamente empregada no diagnóstico de doenças periapicais, como abscessos e cistos. O exame é realizado posicionando o filme radiográfico dentro da boca, próximo ao dente a ser analisado, permitindo a obtenção de uma imagem precisa (3).

Apesar das vantagens da radiografia, a alta exposição à radiação ionizante apresenta riscos à saúde do paciente, devido ao efeito estocástico, que

se manifesta em pessoas expostas à radiação e não possuem um limiar de dose para ocorrer. No entanto, quanto maior a dose de radiação, maior a probabilidade desses efeitos se manifestarem. Considerando que as radiografias periapicais podem ser realizadas várias vezes ao ano em um mesmo paciente, para acompanhar o progresso de um tratamento, é fundamental utilizar essa técnica com cautela, visando otimizar sua aplicação (4).

Alguns tecidos são mais radiosensíveis que outros, possuindo um limiar de dose menor para o surgimento de reações teciduais e efeitos estocásticos, entre esses tecidos estão o cristalino e as glândulas tireoide, parótida, sublingual e submandibular, tecidos esses que estão próximos às áreas irradiadas durante uma radiografia odontológica (1,4).

A fim de estimar a dose de radiação nos tecidos, pode-se aplicar simulações numéricas. Um método amplamente utilizado para simular o transporte da radiação ionizante nos tecidos é o Método Monte Carlo (MMC) (5).

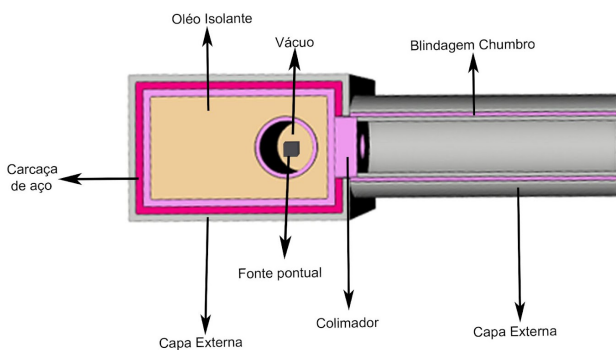
Este estudo tem como propósito, em continuidade ao trabalho de Machado, A. T. *et al.* (2022) (6), calcular o coeficiente de conversão de dose absorvida simulada (CC[D]), nos tecidos de interesse

radiológico da região de cabeça e pescoço (cristalino, tireoide e principais pares de glândulas salivares), utilizando simulações Monte Carlo para os seis principais ângulos da técnica de radiografia periapical.

**2. Materiais e Métodos**

O objeto simulador antropomórfico de cabeça desenvolvido por Machado *et al.* (2022) (6) foi empregado neste estudo.

A geometria do equipamento de raios-X foi desenvolvida no software Gxsview (7), para representar os ângulos utilizados na técnica periapical. O modelo utilizado neste estudo foi o equipamento de raios-X Odontológico D700 Max (Alliage S/A Indústrias Médico Odontológica) (8) ilustrado na Figura 1.

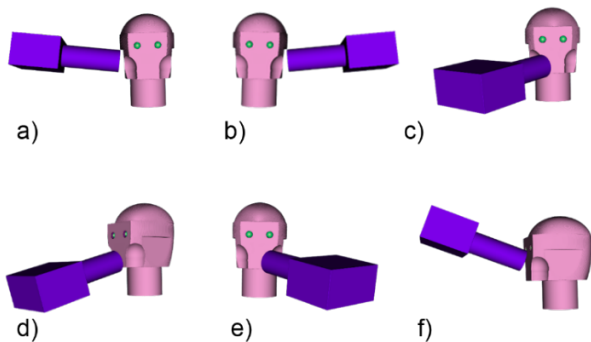


**Figura 1.** Geometria do raio-X utilizada na simulação.

O espectro de radiação X foi modelado com o software SpekCalc (9,10,11), com ângulo anódico de 16°, tensão de 70 kVp e filtração total de 1,7 mm Al.

A configuração e os ajustes do equipamento de raios-X foram elaborados com o auxílio do software Gxsview (7), enquanto as posições típicas das técnicas foram derivadas do livro *Essentials of Dental Radiography and Radiology* (12).

Para os cenários da técnica periapical, foram montados 6 posicionamentos com angulações do aparelho de raio-X pertinentes para o estudo da dose nos tecidos de interesse. Os posicionamentos utilizados são representados na Figura 2.



**Figura 2.** Cenários representando a técnica radiográfica periapical.

A figura 2a representa o ângulo molar superior direito; a 2b representa o molar superior esquerdo; a 2c o canino inferior direito; a 2d o incisivo central

inferior; o 2e o canino inferior esquerdo e o 2f representa o incisivo central superior.

Foram calculados os CC[D] para cada posição, relacionando os valores gerados pela simulação da energia depositada nos órgãos e tecidos de interesse radiológico com a energia depositada em uma esfera de água. Esta esfera representava uma câmara de ionização virtual. Os valores foram expressos em MeV/g/source-particle.

Para calcular o transporte de radiação foi utilizado o software *Monte Carlo N-Particle Transport, versão 6.2* (MCNP 6.2) (13), considerando 1E9 partículas, com a energia de corte para fótons de 1 eV (14).

Para a determinação desses valores, é necessário considerar os resultados da dose absorvida simulada em cada tecido ( $D_{dt}$ ) e da dose absorvida simulada na câmara de ionização virtual ( $D_{ci}$ ), conforme a equação (1).

$$CC[D] = \frac{D_{dt}}{D_{ci}} \tag{1}$$

Esses CC[D] são utilizados como fatores de conversão, que possibilitam converter os valores encontrados a partir das simulações em valores de dose para uso nas clínicas. No caso deste trabalho, os valores da dose absorvida, em cada tecido de interesse radiológico, podem ser obtidos multiplicando os valores de CC[D] pelos valores encontrados experimentalmente utilizando uma câmara de ionização, posicionada a 25 cm do tubo de raio-X intraoral, e seguindo os mesmos parâmetros descritos anteriormente.

**3. Resultados**

Com este valor foram calculados os CC[D] para os 6 posicionamentos escolhidos para representar a radiografia intraoral periapical, obtidos pela equação 1. Os resultados são listados na Tabela 1.

Com o propósito de comparação com a literatura, a partir do *tally F6* na simulação, obteve-se a dose de entrada na pele (DEP), do ângulo molar esquerdo da maxila, que foi de 7,14E-5 (1,4%) MeV/g/source-particle.

**4. Discussão**

Com os valores de CC[D] da Tabela 1, observa-se que em nenhuma das 6 técnicas estudadas o cristalino ou a tireoide foram os órgãos mais afetados. Isso deve-se pela distância que esses tecidos estão da região irradiada, e pelas camadas de tecido circundantes.

Nas posições espelhadas, Figuras 2a e 2b, o tecido que apresentou maior valor de CC[D] foi a glândula parótida. O valor de CC[D] foi 1,53E-1 (0,7%) para as glândulas direita e esquerda.

Em todas as outras técnicas, as glândulas sublinguais, foram expostas à maior dose, tendo valores de CC[D] muito próximos ou iguais, para as projeções complementares.

**Tabela 1.** Valores de CC[D] para a simulação dos diferentes ângulos estudados. Incertezas são mostradas em (%).

Tecido	molar superior direito	molar superior esquerdo	canino inferior direito	canino inferior esquerdo	incisivo central inferior	incisivo central superior
Lente dos olhos direita	2,97E-3 (1)	5,29E-4 (3)	1,57E-3 (2)	1,34E-3 (2)	1,23E-3 (2)	7,25E-3 (1)
Lente dos olhos esquerda	4,98E-4 (3)	3,01E-3 (1)	1,32E-3 (2)	1,52E-3 (2)	1,26E-3 (2)	7,29E-3 (1)
Glândula Parótida esquerda	2,48E-3 (0,8)	1,53E-1 (0,7)	3,92E-3 (0,7)	1,37E-3 (0,8)	1,93E-3 (0,7)	1,46E-3 (0,8)
Glândula Parótida direita	1,53E-1 (0,7)	2,48E-3 (0,8)	1,36E-3 (0,8)	3,93E-3 (0,7)	1,95E-3 (0,8)	1,46E-3 (0,8)
Glândula Submandibular direita	1,61E-2 (0,7)	1,01E-2 (0,7)	2,81E-2 (0,7)	4,34E-2 (0,7)	6,55E-2 (0,7)	1,23E-2 (0,7)
Glândula Submandibular esquerda	1,01E-2 (0,7)	1,61E-2 (0,7)	4,33E-2 (0,7)	2,82E-2 (0,7)	6,55E-2 (0,7)	1,23E-2 (0,7)
Glândula Sublingual direita	4,54E-2 (0,7)	2,74E-2 (0,7)	6,12E-2 (0,7)	5,13E-2 (0,7)	7,79E-2 (0,7)	5,77E-2 (0,7)
Glândula Sublingual esquerda	2,71E-2 (0,7)	4,58E-2 (0,7)	5,12E-2 (0,7)	6,14E-2 (0,7)	7,79E-2 (0,7)	5,75E-2 (0,7)
Glândula Tireoide	1,81E-3 (0,8)	1,81E-3 (0,8)	6,79E-3 (0,7)	6,79E-3 (0,7)	7,28E-3 (0,8)	1,99E-3 (0,8)

Fonte: O autor (2024).

O valor da DEP do ângulo molar esquerdo da maxila, pôde-se comparar com a publicação de Da Silva *et al.* (2020) (15), que apresenta um estudo sobre a estimativa da Dose de Entrada na Pele (DEP) em pacientes submetidos a diferentes técnicas de radiografias intraorais, incluindo o ângulo molar da maxila da técnica periapical. O valor encontrado da DEP para essa técnica foi de 7,63E-5 (1,6%) MeV/g/source-particle. Com isso, verifica-se que o valor encontrado neste estudo, da DEP, é próximo ao da literatura, com uma diferença de 6,4%.

Esses resultados obtidos para a técnica periapical podem ser comparados aos apresentados para a técnica interproximal no estudo complementar Machado *et al.* (2022) (6). Na técnica interproximal, para os ângulos em que o feixe foi direcionado aos molares, as glândulas parótidas apresentaram o maior valor de CC[D], com 1,55E-1, assim como observado para os ângulos direcionados aos molares superiores na técnica periapical.

## 5. Conclusões

Dentre todas as exposições, os valores mais elevados de CC[D] foram observados nas glândulas parótidas e submandibulares. Esses valores elevados são atribuídos à exposição desses órgãos ao feixe primário. Diante disso, é fundamental otimizar o uso da radiografia periapical, realizando exames apenas quando clinicamente necessários, a fim de prevenir possíveis complicações relacionadas à exposição de órgãos sensíveis à radiação ionizante.

## Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 (A.T.M.). Os autores também agradecem ao apoio financeiro da UFU e das agências de fomento Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) por meio das bolsas de Produtividade em Pesquisa 312124/2021-0 (A.P.P.), 312160/2023-2 (L.P.N.) e 309675/2021-9 (W.S.S), pelo Projeto UNIVERSAL

407493/2021-2; e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), por meio dos projetos APQ-04215-22, APQ-01254-23 e APQ-04348-23. Este trabalho é parte do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Instrumentação Nuclear e Aplicações na Indústria e Saúde (INAIS) 406303/2022-3.

## Referências

- Okuno E, Yoshimura E. Física das radiações. Oficina de Textos. 2010.
- Chauhan V, Wilkins R. A comprehensive review of the literature on the biological effects from dental X-ray exposures. *International Journal of Radiation Biology*. 2019; 95(2):107-119. DOI: <https://doi.org/10.1080/09553002.2019.1547436>.
- Gupta A, Devi P, Srivastava R, Jyoti B. Intraoral periapical radiography – basic yet intrigue: A review. *Jornal de Pesquisa e Educação Odontológica de Bangladesh*. 2014.
- Biaggi G. Expressão da proteína  $\gamma$  H2AX e 8-OHdG em glândula salivar parótida de ratos expostos a radiação X. Trabalho de Conclusão de Curso, Faculdade de Odontologia de Araçatuba da Universidade Estadual "Júlio de Mesquita Filho" – UNESP. 2018.
- Yoriyaz H. Método de Monte Carlo: princípios e aplicações em Física Médica. *Revista Brasileira de Física Médica*. 2009; 3(1):141-9. DOI: <https://doi.org/10.29384/rbfm.2009.v3.n1.p141-149>.
- Machado, A. T, Guimarães, G. B, de Souza Santos, W, Perini, A. P, Neves, L. P. Avaliação das doses em tecidos durante radiografia interproximal: estudo por simulação de Monte Carlo. *Revista Brasileira de Física Médica*. 2022; 16: 684-684. DOI: <https://doi.org/10.29384/rbfm.2022.v16.19849001684>.
- Ohnishi S. Gxsview: Geometry and cross section viewer for calculating radiation transport. *SoftwareX*. 2021; 1(14):100681. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.softx.2021.100681>.
- Manual do proprietário do aparelho de Raios-X Odontológico D700 Max. Alliage S/A Indústrias Médico Odontológica. Rev. 08. 2021.
- Poludniowski G.G, Evans P. M. Calculation of x-ray spectra emerging from an x-ray tube. Part I. Electron penetration characteristics in x-ray targets. *Medical physics*. 2007; 34(6Part1):2164-74.19. DOI: <https://doi.org/10.1118/1.2734725>.
- Poludniowski G. G. Calculation of x-ray spectra emerging from an x-ray tube. Part II. X-ray production and filtration in x-ray targets. *Medical physics*. 2007; 34(6Part1):2175-86.20. DOI: <https://doi.org/10.1118/1.2734726>.
- Poludniowski G. G, Landry G, Deblois F, Evans P. M, Verhaegen F. SpekCalc: a program to calculate photon spectra from tungsten anode x-ray tubes. *Physics in Medicine & Biology*. 2009; 54(19):433. DOI: <https://doi.org/10.1088/0031-9155/54/19/N01>

12. Whaites E, Drage N. Essentials of dental radiography and radiology. Elsevier Health Sciences. 2013.
13. Werner C. J, Little R. C. MCNP6. 2 Release Notes. Los Alamos National Lab. (LANL), Los Alamos, NM (United States).
14. Detwiler R. S, McConn R. J, Grimes T. F, Upton S. A, Engel E. J. Compendium of Material Composition Data for Radiation Transport Modeling. Pacific Northwest National Lab. (PNNL), Richland, WA (United States). 2021. DOI: <https://doi.org/10.2172/1782721>.
15. Da Silva L. M, Silva G, Santos W. D. Determinação da dose de entrada na pele devido a raio-X odontológico utilizando método de Monte Carlo. Congresso Brasileiro de Metrologia das Radiações Ionizantes. 2020.

**Contato:**

*Ariadny Thayla Machado*  
*Instituto de Física, Universidade Federal de*  
*Uberlândia*  
*Bloco 1E, Campus Santa Mônica – Sala 06, Av. João*  
*Naves de Ávila 2121, CP 593, Uberlândia, MG, CEP*  
*38.400-902*  
*E-mail: [ariadny.machado@ufu.br](mailto:ariadny.machado@ufu.br)*