

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE FÍSICA**

Ariadny Thayla Machado

**Análise da dose absorvida em tecidos de interesse radiológico
durante as principais técnicas de radiografia intraoral odontológica**

**Uberlândia
2023**

Ariadny Thayla Machado

Análise da dose absorvida em tecidos de interesse radiológico durante as principais técnicas de radiografia intraoral odontológica

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Física Médica da Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos para a obtenção do título de bacharel em Física Médica.

Orientador: Prof. Dr. Lucio Pereira Neves

Uberlândia
2023



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
 Coordenação do Curso de Graduação em Física Médica
 Av. João Naves de Ávila, 2121, Bloco 1A, Sala 1A207B - Bairro Santa Mônica, Uberlândia-MG, CEP
 38400-902
 Telefone: (34) 3239-4418 - www.infis.ufu.br - cfmed@infis.ufu.br



ATA DE DEFESA - GRADUAÇÃO

Curso de Graduação em:	Física Médica				
Defesa de:	Trabalho de Conclusão de Curso - INFIS39029				
Data:	27/01/2023	Hora de início:	15:00	Hora de encerramento:	15:30
Matrícula do Discente:	11911FMD026				
Nome do Discente:	Ariadny Thayla Machado				
Título do Trabalho:	Análise da dose absorvida em tecidos de interesse radiológico durante as principais técnicas de radiografia intraoral odontológica				
A carga horária curricular foi cumprida integralmente?	(X) Sim () Não				

Reuniu-se no Auditório 1X, Campus Santa Mônica, da Universidade Federal de Uberlândia, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Curso de Graduação em Física Médica, assim composta: Prof. Dr. Lucio Pereira Neves - INFIS/UFU - orientador(a) do(a) candidato(a); Profa. Dra. Ana Paula Perini - INFIS/UFU e Guilherme Brilhante Guimarães - PPGEB/UFU.

Iniciando os trabalhos, o(a) presidente da mesa, Dr. Lucio Pereira Neves, apresentou a Comissão Examinadora e o(a) candidato(a), agradeceu a presença do público, e concedeu ao/à discente a palavra, para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do(a) discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do curso.

A seguir o(a) senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(às) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

Aprovado. Nota: 95

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Lucio Pereira Neves, Professor(a) do Magistério Superior**, em 27/01/2023, às 15:34, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ana Paula Perini, Professor(a) do Magistério Superior**, em 27/01/2023, às 15:35, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Guilherme Brilhante Guimarães, Usuário Externo**, em 27/01/2023, às 15:35, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **4195351** e o código CRC **051BF21B**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por todas as bênçãos concedidas.

Aos meus pais, Celma Mendes e Josiel Patrocínio, à minha avó materna, Zenira Medes Betim, e ao meu irmão, Ayrton Theylor Patrocínio Mendes, pelo suporte, incentivo e por me apoiar em todas as minhas escolhas.

Às minhas amigas de apartamento, Beatriz, Giovanna e Gabriela, ao Murilo e aos meus amigos e colegas de curso, que cumpriram esta jornada ao meu lado, pelo apoio durante a graduação.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Lucio Pereira Neves, pela dedicação e paciência durante a minha jornada, e pelos conselhos e apoio.

Aos professores Dr. William de Souza Santos e Dra. Ana Paula Perini, pelas contribuições nas correções e sugestões durante todo o trabalho no código do MCNP.

À Monique França e Guilherme Brilhante pelo apoio no projeto, simulações e coleta de dados no Hospital Odontológico da UFU.

A todos os professores e membros do Instituto de Física, que colaboraram de alguma forma para a minha formação.

À Universidade Federal de Uberlândia, pela contribuição ao desenvolvimento acadêmico e científico.

Este trabalho foi realizado com o apoio financeiro da UFU, e pelas agências de fomento Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) por meio das bolsas de Produtividade em Pesquisa 314520/2020-1 (Lucio Pereira Neves), 312124/2021-0 (Ana Paula Perini), pelo Programa MAI DAI 403556/2020-1, pelo Projeto UNIVERSAL 407493/2021-2 e Projeto INCT 406303/2022-3; e FAPEMIG, por meio dos projetos APQ-02934-15, APQ-03049-15 e APQ-04215-22.

“Nada na vida deve ser temido, apenas compreendido. Agora é a hora de entender mais, para que tenhamos menos medo”

Marie Curie

RESUMO

As radiografias intraorais são utilizadas para diagnosticar doenças da região bucal e realizar acompanhamento de tratamentos odontológicos. A radiografia intraoral é dividida nas técnicas interproximal, periapical e a oclusal, cada técnica é utilizada para visualizar uma região da cavidade bucal. Os pacientes odontológicos podem ser submetidos a várias radiografias durante o ano, para acompanhamento de um tratamento, por exemplo, e, dependendo da técnica e das variações do posicionamento do aparelho de raios-X, alguns desses exames podem submeter estruturas radiosensíveis ao feixe primário do raio X. O objetivo deste trabalho é determinar a dose absorvida nos tecidos de interesse radiológico, lente dos olhos, glândula tireoide e as principais glândulas salivares, parótida, submandibular e sublingual, utilizando dosimetria numérica através de simulações de Monte Carlo e a dosimetria experimental, para converter os valores de dose absorvida simulada em valores reais que consideram o tempo de exposição, em cenários de radiografias intraorais do Hospital Odontológico da Universidade Federal de Uberlândia. Os resultados demonstraram que as glândulas sublinguais foram as que receberam a maior dose absorvida no panorama geral das radiografias intraorais, possuindo a maior dose absorvida em 17 dos 27 ângulos considerados. Em alguns cenários simulados, a tireoide e o cristalino apresentaram maiores valores de dose absorvida, devido ao posicionamento do aparelho de raio-X, já que, os órgãos que estão próximos do feixe primário do raio X interagem mais com a radiação, o que leva um maior valor de dose.

Palavras-chave: Método Monte Carlo; radiografias intraorais; dosimetria; dose absorvida

ABSTRACT

Intraoral radiographs are used to diagnose diseases in the oral region and to monitor dental treatments. Intraoral radiography is divided into interproximal, periapical and occlusal techniques, each technique is used to visualize a region of the oral cavity. Dental patients may be submitted to several radiographs during the year, to follow up a treatment, for example, and, depending on the technique and variations in the positioning of the X-ray apparatus, some of these exams may submit radiosensitive structures to the primary beam of the X-ray. The objective of this work is to determine the absorbed dose in the tissues of radiological interest, eye lens, thyroid gland and the main salivary, parotid, submandibular and sublingual glands, using numerical dosimetry through Monte Carlo simulations and experimental dosimetry, to convert the simulated absorbed dose values into real values that consider the exposure time, in scenarios of intraoral radiographs at the Dental Hospital of the Universidade Federal de Uberlândia. The results showed that the sublingual glands received the highest absorbed dose in the general panorama of intraoral radiographs, having the highest absorbed dose in 17 of the 27 angles considered. In some simulated scenarios, the thyroid and lens presented higher values of absorbed dose, due to the positioning of the X-ray device, since the organs that are close to the primary beam of the X-ray interact more with the radiation, which leads to a higher dose value.

Keywords: Monte Carlo method; intraoral radiographs; dosimetry; absorbed dose

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Objeto antropomórfico virtual de cabeça utilizado para representar o paciente nos cenários das técnicas de radiografia intraoral.....	16
Figura 2 - Dimensões da estrutura craniana do objeto simulador.....	17
Figura 3 - Distância entre os dentes da arcada dentária superior e inferior.....	17
Figura 4 - Região do pescoço do objeto simulador utilizado nos cenários das simulações.....	18
Figura 5 - Posicionamento e composição da geometria que representa a glândula tireoide do objeto simulador.....	19
Figura 6 - Posicionamento das Glândulas Salivares no Objeto simulador.....	19
Figura 7 - Estruturas dos globos oculares do Objeto simulador.....	20
Figura 8 - Representação esquemática dos componentes do aparelho de Raio-X TIMEX 70 da empresa GNATUS equipamentos médico-odontológicos LTDA.....	21
Figura 9 - Cenários com as angulações representando a técnica interproximal.....	21
Figura 10 - Cenários com as angulações representando a técnica periapical, para visualização da arcada dentária superior, região da maxila.....	22
Figura 11 - Cenários com as angulações representando a técnica periapical, para visualização da arcada dentária inferior, região da mandíbula.....	22
Figura 12 - Cenários com as angulações representando a técnica oclusal.....	23
Figura 13 - Posicionamento do detector RED PIRANHA.....	24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Diâmetro dos dentes superiores utilizados na modelagem do objeto simulador.....	18
Tabela 2 - Diâmetro dos dentes inferiores utilizados na modelagem do objeto simulador.....	18
Tabela 3 - Largura dos arcos da Arcada Dentária do objeto simulador.....	18
Tabela 4 - Dimensões das estruturas oculares.....	20
Tabela 5 - CC[D] das radiografias interproximais e suas incertezas.....	34
Tabela 6 - CC[D] das radiografias periapicais para visualização da região da maxila e suas incertezas.....	34
Tabela 7 - CC[D] das radiografias periapicais para visualização da região da mandíbula e suas incertezas.....	35
Tabela 8 - CC[D] das radiografias oclusais para visualização da região da maxila e suas incertezas.....	35
Tabela 9 - CC[D] das radiografias oclusais para visualização da região da mandíbula e suas incertezas.....	36
Tabela 10 - Dose absorvida para cada tecido de interesse radiológico das radiografias interproximais.....	38
Tabela 11 - Dose absorvida para cada tecido de interesse radiológico das radiografias periapicais para a região da maxila.....	38
Tabela 12 - Dose absorvida para cada tecido de interesse radiológico das radiografias periapicais para a região da mandíbula.....	39
Tabela 13 - Dose absorvida para cada tecido de interesse radiológico das radiografias oclusais para a região da maxila.....	39
Tabela 14 - Dose absorvida para cada tecido de interesse radiológico das radiografias oclusais para a região da mandíbula.....	40

SUMÁRIO

Lista de ilustrações.....	7
Lista de tabelas.....	8
1. Introdução	11
1.1 Justificativa.....	11
1.2 Objetivos.....	12
1.1.1 Objetivo Geral.....	12
1.1.2 Objetivos Específicos	12
2. Fundamentos Teóricos	13
2.1 Radiações Ionizantes	13
2.2 Interação da radiação ionizante com a matéria biológica.....	13
2.3 Grandezas Dosimétricas	14
2.4 Radiografias Odontológicas.....	14
2.5 Tecidos Radiossensíveis	15
3. Metodologia.....	16
3.1 Código Monte Carlo N-Particle	16
3.2 Objetos simuladores antropomórficos virtuais	16
3.2.1 Tireoide	19
3.2.2 Glândulas Salivares.....	19
3.2.3 Globos Oculares.....	20
3.3 Simulação.....	21
3.3.1 Cenários para a Técnica Interproximal.....	22
3.3.2 Cenários para a Técnica Periapical	22
3.3.3 Cenários para a Técnica Oclusal	23
3.4 Espectro do Raio X.....	24
3.5 Coeficientes de Conversão de dose absorvida	24
3.6 Câmara de Ionização	25
3.7 Análise dos resultados	26
4. Resultados e Discussões.....	27
4.1 Avaliação do $C[Q]$ nas simulações	27
4.2 Resultados da coleta de dados com a câmara de ionização.....	27
4.3 Análise da dose absorvida nos tecidos de interesse radiológico	28
5. Considerações Finais.....	29
REFERÊNCIAS.....	30

APÊNDICES	33
Apêndice A – Valores do CC[D]	34
Apêndice B – Valores da dose absorvida	38
ANEXOS	42
Anexo A - Produções Científicas	43

1. Introdução

A primeira radiografia foi realizada por Wihelms Röntgen em 1895, quando expôs por aproximadamente 15 minutos a mão de Anna Bertha Röntgen, sua esposa, posicionada em um chassi com um filme fotográfico, a sua recém-descoberta, o raio X. Röntgen descobriu os raios X enquanto observava um fenômeno no seu trabalho com raios catódicos [1, 2]. Essa descoberta revolucionou a medicina, pois, através da radiografia, era possível visualizar o interior do corpo humano [2].

Na odontologia, o raio X foi utilizado pela primeira vez para visualizar os dentes cerca de 20 dias após a sua descoberta. Esse feito foi realizado por um cientista alemão, conhecido como Dr. Giesel, que utilizou uma placa de emulsão fotográfica envolvida em papel preto e radiografou a cavidade oral do dentista Otto Walkhoff, registrando assim a primeira radiografia odontológica da história [3].

Atualmente, as radiografias odontológicas são utilizadas para diagnosticar doenças orais e realizar acompanhamento de tratamentos, pois auxiliam os dentistas na visualização de estruturas bucais do paciente [4, 5]. Existem diversas técnicas radiográficas disponíveis na odontologia, como as radiografias intraorais, panorâmicas, cefalométricas e a tomografia dentária [6].

As radiografias intraorais apresentam diferentes angulações e técnicas que fornecem imagens de diversas estruturas da cavidade bucal. Existem três técnicas de radiografia intraoral: a radiografia interproximal, a periapical e a oclusal [7]. Os procedimentos de cada técnica são definidos em *Guidelines* [8, 9, 10] e *Safety Reports* [11], que determinam os parâmetros, de tensão e filtração, e os posicionamentos e ângulos do tubo de raio-X necessários para o exame.

O *Guideline Radiation Protection in Dental Radiology da International Atomic Energy Agency* define alguns processos e testes de qualidade em radiografia intraoral e definições de proteção radiológica que visam garantir a utilização da radiação ionizante de forma responsável e segura [12].

Considerando que na prática odontológica, as radiografias são mais realizadas do que nas práticas médicas, é necessário atentar-se à proteção radiológica do paciente, já que, devido às diferentes angulações, órgãos radiossensíveis como a lente dos olhos e a tireoide podem receber a radiação do feixe primário do raio X [1, 13]. Pode-se então, realizar dosimetria numérica por meio de simulações para avaliar a exposição desses órgãos de interesse radiológico, estudar essas técnicas garantindo a proteção radiológica dos pacientes e a otimização do exame.

1.1 Justificativa

Os pacientes odontológicos podem ser submetidos a várias radiografias durante o ano, para acompanhamento de um tratamento, por exemplo [14]. Além disso, o número de radiografias vem aumentando como mostra o Banco de Dados Integrados da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), a estimativa do número de exames odontológicos de radiografias periapicais anuais aumentaram de 6717 exames (2015)

para 8398 exames (2017) [15]. Devido as variações do posicionamento e angulação do aparelho de raios-X, alguns desses exames podem submeter estruturas radiosensíveis ao feixe primário do raio X [14].

Devido a isso, algumas circunstâncias demandam a avaliação das doses nos tecidos de interesse radiológico. Para estimar a dose absorvida nesses tecidos indiretamente, pode-se utilizar simulações computacionais. Um dos métodos mais utilizados para obter os dados de dose absorvida simulada de forma não invasiva é o método de Monte Carlo (MMC) [16].

1.2 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Determinar a dose absorvida nos tecidos de interesse radiológico (lente dos olhos, glândula tireoide e as principais glândulas salivares, parótida, submandibular e sublingual), utilizando dosimetria numérica através de simulações de Monte Carlo, calcular os coeficientes de conversão de dose absorvida $CC[D]$ e utilizar dosímetros (câmara de ionização e detector *Piranha*) para converter os valores de dose absorvida simulada em valores reais que consideram o tempo de exposição.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Montar diversos cenários, com o código Monte Carlo, utilizando um objeto simulador antropomórfico virtual e uma geometria aproximada do aparelho de raio-X odontológico do Hospital Odontológico da Universidade Federal de Uberlândia, que representem as principais técnicas e angulações utilizadas nas radiografias intraorais;
- Obter a dose absorvida simulada através do *Monte Carlo N-Particle Transport code* versão 6.2 (MCNP 6.2);
- Calcular os $CC[D]$ para os órgãos de interesse radiológico;
- Aferir utilizando um dosímetro elétrico, do tipo *Piranha*, a radiação total em que o paciente é exposto em cada técnica de radiografia intraoral;
- Converter os valores computacionais, obtidos através da simulação, em valores reais de dose absorvida a partir do $CC[D]$ e das medidas com a detector *Piranha*.

2. Fundamentos Teóricos

2.1 Radiações Ionizantes

Radiação é um processo físico de emissão e propagação de energia por um meio ou espaço, ou seja, é a energia em trânsito. As radiações podem ser classificadas em eletromagnéticas, que são as ondas eletromagnéticas, que não possuem carga e nem massa e propagam-se no vácuo à velocidade da luz; e em radiações corpusculares, que são partículas atômicas e subatômicas que se movimentam em alta velocidade, por isso possuem energia cinética, e podem ser originadas de materiais radioativos ou de equipamentos que aceleram partículas, como o raio-X [17].

Também, podemos classificar a radiação quanto à sua capacidade de ionizar o meio. As radiações não-ionizantes não possuem energia suficiente para arrancar elétrons, apesar de poderem produzir excitações; e as radiações ionizantes possuem a capacidade de ionizar o meio, pois sua energia é maior que a energia de ligação dos elétrons de um átomo, assim, retiram os elétrons do meio que atravessam [17].

As radiações ionizantes podem ser sub-classificadas em diretamente ionizante ou indiretamente ionizantes. As radiações diretamente ionizantes são partículas carregadas que interagem com o meio através de colisões de *coulomb* retirando os elétrons dos átomos do meio. Já as radiações indiretamente ionizantes não possuem cargas e transferem sua energia para uma partícula carregada do meio, que por sua vez irá colidir, através das colisões coulombianas, ionizando o meio [17, 18].

2.2 Interação da radiação ionizante com a matéria biológica

Existem dois efeitos biológicos principais que ocorrem com a interação da radiação com a matéria biológica: os efeitos estocásticos e reações teciduais, previamente conhecidas como efeitos determinísticos [17, 19].

Para o surgimento dos efeitos estocásticos não há um limiar de dose, ou seja, a probabilidade de ocorrência cresce com o aumento da dose absorvida pelo tecido. Esses efeitos podem ser somáticos, através da manifestação de tumores benignos e/ou malignos, ou hereditários, quando ocorrem mutações nas células germinativas ocasionando mutações nos descendentes da pessoa que sofreu a exposição à radiação [17, 19].

Já as reações teciduais ocorrem quando a dose excede um limiar específico. A gravidade dessas reações é proporcional à dose que o tecido recebe [17]. Na radiologia odontológica, é pouco provável que ocorram esses efeitos determinísticos, já que a dose utilizada é baixa, exceto em situações específicas relacionadas a acidentes devido ao mau funcionamento do equipamento ou erro operacional [19].

2.3 Grandezas Dosimétricas

Para a padronização do sistema de proteção radiológica, é necessário que grandezas dosimétricas quantifiquem a exposição à radiação ionizante dos seres humanos. Com isso, surgiram as grandezas da física das radiações e suas unidades específicas para quantificar essa exposição [17].

Para esse trabalho, duas grandezas numéricas são importantes: dose absorvida e kerma no ar. A dose absorvida (D_{ab}) é utilizada para todos os tipos de radiação ionizante, sendo definida como a energia média por unidade de massa transmitida pela radiação ionizante à matéria. A unidade no sistema internacional de D_{ab} é o Gray (Gy), definido como joule por quilograma. Já o Kerma (K), é a soma das energias cinéticas iniciais de todas as partículas carregadas liberadas, por partículas não carregadas, por unidade de massa. Na faixa de energia dos fótons de raios X utilizados no radiodiagnóstico odontológico, o Kerma no ar e a dose absorvida no ar são numericamente iguais [20, 21].

2.4 Radiografias Odontológicas

Como já mencionado no capítulo 1, as radiografias odontológicas intraorais são divididas em três técnicas: interproximal, periapical e oclusal. Cada técnica é utilizada para visualizar uma região bucal e diagnosticar diferentes tipos de lesões e doenças bucais [12].

A radiografia interproximal, também conhecida como raio X bitewing, é utilizada para visualizar a face distal e a coroa dos dentes posteriores, pré-molares e molares. Essa técnica é indicada para diagnosticar risco de cáries, alterações na camada pulpar, visualizar restaurações e próteses dentárias fixas, que acometam os dentes posteriores. A técnica bitewing é feita com o paciente em oclusão dentária com a película radiográfica posicionada no sulco lingual junto aos dentes posteriores [12,19].

A técnica periapical é indicada para avaliar a raiz dentária ou do osso alveolar circundante dos dentes de uma região específica. Os posicionamentos e ângulos do aparelho variam com a região que se deseja visualizar, porém, devem manter o receptor da imagem o mais próximo possível dos dentes que serão avaliados e o tubo de raio-X deve ser posicionado de forma que o feixe encontre o dente e o receptor em ângulos retos nos planos vertical e horizontal [12,22].

Já a radiografia oclusal, é utilizada para visualizar estruturas da maxila e da mandíbula, especialmente para despiste de raízes residuais, dentes supranumerários, dentes inclusos e para estudos de determinadas anomalias. Nessa técnica, o paciente fica em posição de oclusão com a película radiográfica posicionada entre os dentes superiores e inferiores. A incidência dos raios X é feita com uma variação de angulação de 45° a 110°, em relação à película, dependendo da região oral que se deseja obter a imagem [12,22].

2.5 Tecidos Radiossensíveis

Para efeitos de proteção contra as radiações ionizantes, é preciso minuciar alguns órgãos e tecidos que podem ser afetados devido à sua suscetibilidade a danos por radiação, seja em relação à gravidade ou extensão de danos [22].

Para essa classificação de danos, são considerados fatores de risco para diferentes tecidos. Esses fatores são baseados na probabilidade estimada de induzir alterações estocásticas, não estocásticas e defeitos genéticos consideráveis expressos em descendentes [22].

Órgãos como as mamas, gônadas, cristalino e tireoide são reconhecidos como órgão radiossensíveis que devem sempre ser considerados em trabalhos de dosimetria como tecidos de interesse radiológico. Portanto, as exposições à radiação ionizante nesses órgãos devem ser sempre controladas, visando a proteção radiológica e evitando danos futuros [22].

Os órgãos radiossensíveis que pertencem a região de cabeça e pescoço são o cristalino e a glândula tireoide. No cristalino, a exposição recorrente à radiação, pode provocar perda de visão parcial ou total e a catarata, já na tireoide, a exposição pode levar ao mau funcionamento da glândula, o que induziria doenças como hipotireoidismo ou hipertireoidismo, e até ao câncer de tireoide [17].

Outro tecido que pode ser considerado radiossensível, da região de cabeça e pescoço, são as glândulas salivares, conforme mostram os estudos de hipótese de radiossensibilidade de Peter *et al.* [23]. Nesse tecido, a radiação ionizante pode provocar mudanças na composição salivar e na taxa de fluxo da saliva, prejudicando a deglutição e digestão [23].

3. Metodologia

3.1 Código Monte Carlo N-Particle

O código *Monte Carlo N-Particle* (MCNP) [11], é uma ferramenta matemática utilizada para simular problemas que podem ser representados por processos estocásticos, como simulações do transporte de radiação [27]. Neste trabalho, as simulações foram realizadas empregando *software Monte Carlo N-Particle Transport versão 6.2* (MCNP 6.2) [27].

3.2 Objetos simuladores antropomórficos virtuais

Foi utilizado um objeto antropomórfico virtual de cabeça para compor os cenários das simulações, representando o paciente. Esse objeto simulador virtual foi construído para possuir as principais características físicas e químicas de cada órgão e tecido representado, como mostra a figura 1 [24, 25].

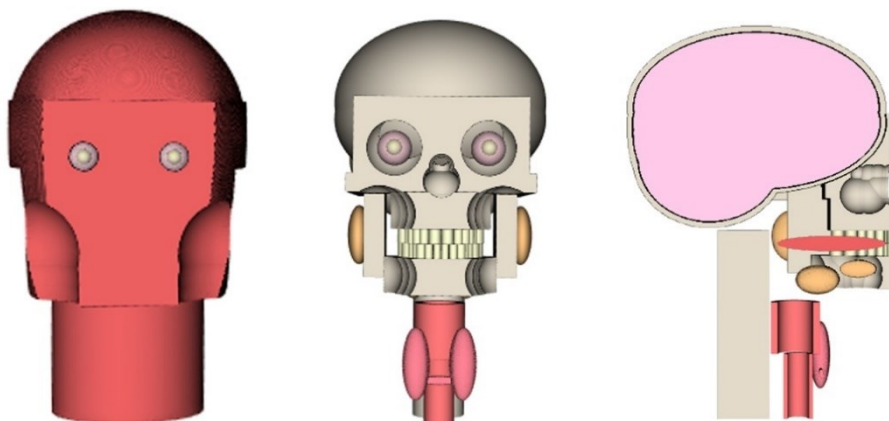


Fig. 1: Objeto antropomórfico virtual de cabeça utilizado para representar o paciente nos cenários das técnicas de radiografia intraoral. Figura reproduzida de Machado *et al.* (2022) [24].

O desenvolvimento desses órgãos foi feito por meio de combinações de estruturas geométricas modeladas no *software Gxsview* [26] e a verificação das geometrias foi feita utilizando o recurso de plotagem do MCNP 6.2 [27].

O objeto simulador foi baseado nas dimensões aproximadas de uma pessoa do sexo biológico masculino entre 18 e 35 anos. As medidas das estruturas da cabeça e pescoço tem como referência estudos das dimensões das estruturas representadas. As densidades e materiais das estruturas do objeto simulador foram retiradas do *Compendium of Material Composition data for Radiation Transport Modeling* [28].

As medidas do crânio foram baseadas no estudo Pereira *et al.* [29]. As dimensões do crânio foram: diâmetro fronto-occipital 20,06 cm, biparietal 12,46 cm, altura craniana 15,72 cm e o tamanho do crânio foi de 20,20 cm, como mostra a figura 2. A caixa craniana foi preenchida de material para representar o encéfalo, com largura

de 15,07 cm, comprimento de 19,07 cm e altura de 14,60 cm [25]. Além disso, foi representado a coluna vertebral cervical (da c1 a c7) com diâmetro de 4,0 cm e comprimento de 14,5 cm [25].

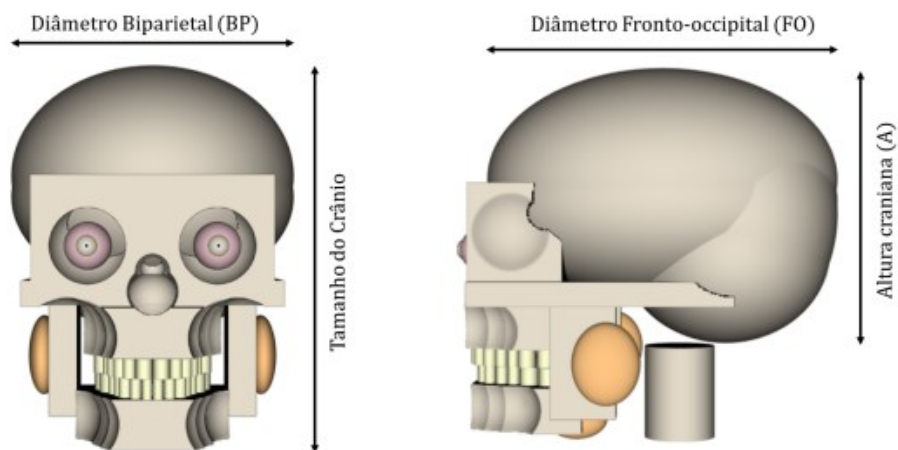


Fig. 2: Dimensões da estrutura craniana do objeto simulador. Figura reproduzida de Guimarães (2022) [25].

Como esse objeto simulador foi feito para simulações em radiologia odontológica, foi construído as arcadas dentárias, superior e inferior, com 14 dentes cada. Os dentes foram modelados como cilindros com altura de 2,0 cm, considerando 1,0 cm dentro do osso da arcada (raiz do dente) e 1,0 cm a mostra na cavidade bucal. Os diâmetros e distâncias entre os dentes foram baseados no estudo de Rengifo *et al.* [30], como mostra a figura 3. Os valores dos diâmetros dos dentes da arcada superior estão representados na tabela 1 e da arcada inferior na tabela 2. A distância entre os dentes estão representados na tabela 3.

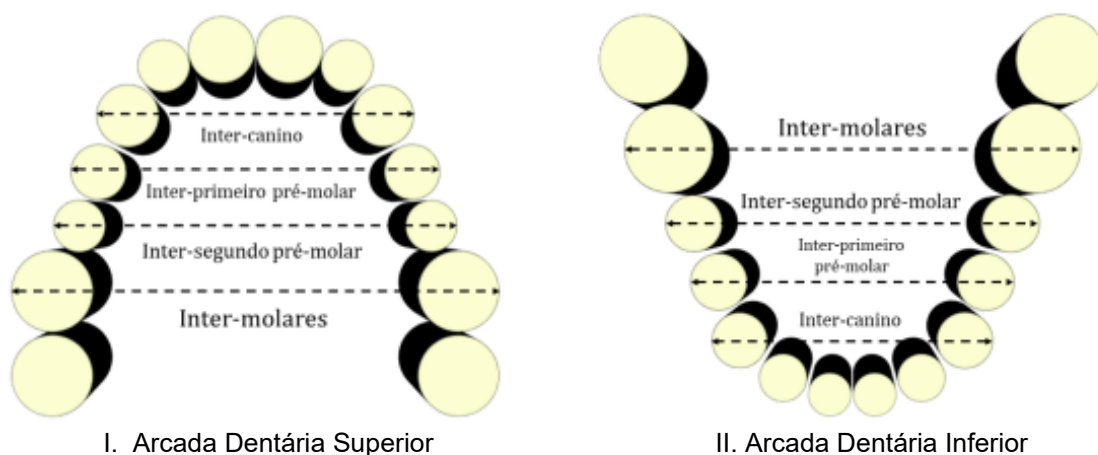


Fig. 3: Distância entre os dentes da arcada dentária superior e inferior. Figura reproduzida de Guimarães (2022) [25].

Tabela 1: Diâmetro dos dentes superiores utilizados na modelagem do objeto simulador. Dados reproduzidos de Pereira *et al.* [29].

Dentes da Arcada Superior	Lado Esquerdo (cm)	Lado Direito (cm)
Incisivo central	0,84	0,84
Incisivo lateral	0,65	0,66
Canino	0,77	0,78
Primeiro pré-molar	0,69	0,69
Segundo pré-molar	0,64	0,65
Molar	1,01	1,02

Tabela 2: Diâmetro dos dentes inferiores utilizados na modelagem do objeto simulador. Dados reproduzidos de Pereira *et al.* [29].

Dentes da Arcada Inferior	Lado Esquerdo (cm)	Lado Direito (cm)
Incisivo central	0,52	0,52
Incisivo lateral	0,58	0,58
Canino	0,68	0,67
Primeiro pré-molar	0,69	0,69
Segundo pré-molar	0,70	0,68
Molar	1,08	1,07

Tabela 3: Largura dos arcos da Arcada Dentária do objeto simulador. Dados reproduzidos de Pereira *et al.* [29].

Arcos da Arcada Dentária	Largura (cm)
Inter-canino (Superior/Inferior)	3,17
Inter-primeiro pré-molares (Superior/Inferior)	3,89
Inter-segundo pré-molares (Superior/Inferior)	4,37
Inter-molares (Superior/Inferior)	5,05

Para resultados mais precisos, foi construída uma língua, com 3,43 cm de largura, 7,0 cm de comprimento e 1,19 cm de espessura, para ocupar 1/3 da cavidade oral e o restante foi preenchido de ar. Também, foram construídos cilindros para representar a traqueia, com diâmetro interno de 1,6 cm, espessura de 0,3 cm e comprimento de 5,0 cm, e a laringe com diâmetro interno de 2,7 cm, espessura de 0,5 cm e comprimento de 4,0 cm, preenchidas de ar no seu interior [25].

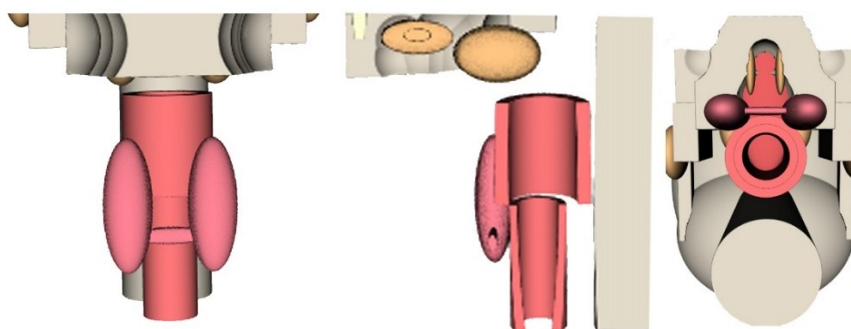


Fig. 4: Região do pescoço do objeto simulador utilizado nos cenários das simulações. Figura de autoria própria.

Os tecidos de interesse radiológico foram construídos com maiores graus de detalhes para melhorar os resultados das simulações, como são detalhados nas próximas secções.

3.2.1 Tireoide

A tireoide é um órgão radiosensível composto por dois lobos que são ligados pelo istmo. Para a geometria do objeto simulador as partes da tireoide foram representadas por elipsoides, os lobos com 5,0 cm de altura, 2,5 cm de largura e 1,5 cm de profundidade, e o istmo com 2,0 cm de comprimento, 0,5 cm de altura e 0,2 cm de profundidade [31], como mostra a figura 5.

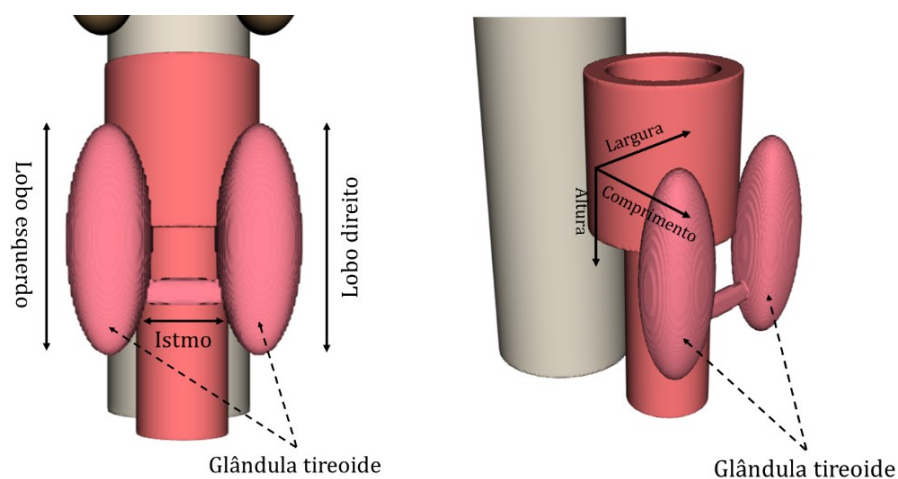


Fig. 5: Posicionamento e composição da geometria que representa a glândula tireoide do objeto simulador. Figura reproduzida de Guimarães (2022) [25].

3.2.2 Glândulas Salivares

As glândulas salivares estão localizadas na cavidade bucal, e, para esse estudo, foram representadas os 3 pares de glândulas principais: glândula parótida direita e esquerda, glândula submandibular direita e esquerda e as glândulas sublinguais direita e esquerda. O posicionamento das glândulas foi estimado a partir da anatomia do corpo humano e as dimensões foram baseadas no estudo de Fang *et al.* [32]. Essas glândulas foram representadas por elipsoide, como mostra a figura 6.

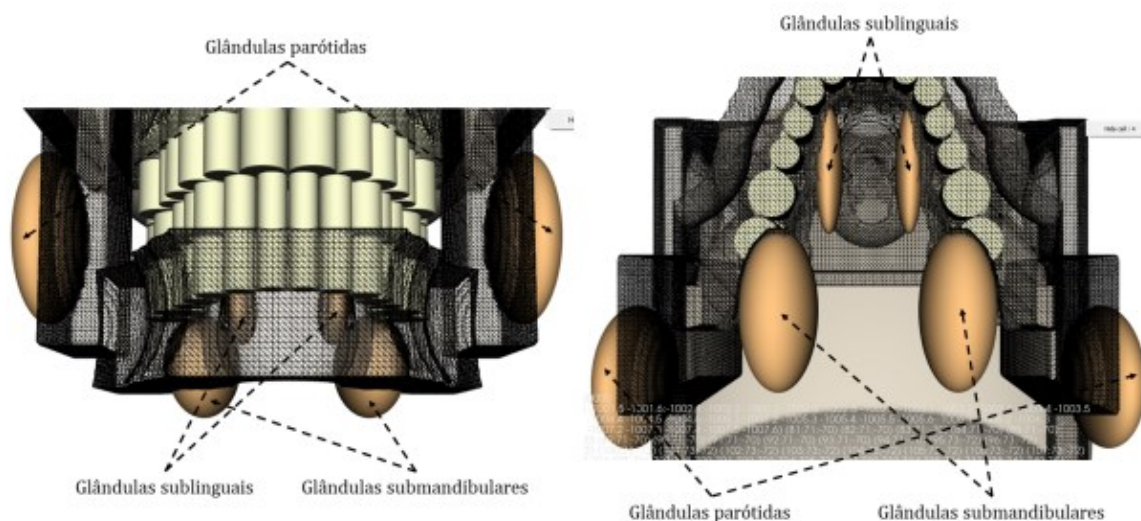


Fig. 6: Posicionamento das glândulas salivares no objeto simulador. Figura reproduzida de Guimarães (2022) [25].

3.2.3 Globos Oculares

Os olhos foram retratados com mais detalhes, devido à presença do cristalino que é uma estrutura muito sensível à radiação ionizante. As principais estruturas dos olhos, mostradas na figura 7, foram representadas a partir de esferas e elipsoides.

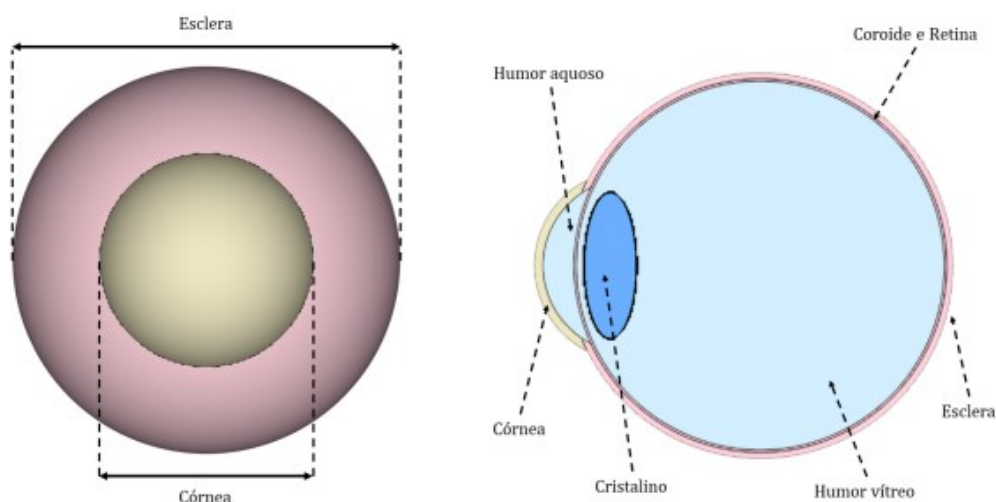


Fig. 7: Estruturas dos globos oculares do objeto simulador. Figura reproduzida de Guimarães (2022) [25].

Os valores das dimensões das estruturas oculares do cristalino, córnea, esclera, retina e coroide e os líquidos humor aquoso e humor vítreo [33], estão representados na tabela 4.

Tabela 4: Dimensões das estruturas oculares. Dados reproduzidos de Waiswol *et al.* (2001) [33].

Estruturas	Diâmetro (cm)	Espessura (cm)
Cristalino	0,89	3,17
Córnea	1,17	0,06
Esclera	2,37	0,04
Retina	2,29	0,01
Humor aquoso	1,06	-
Humor vítreo	2,26	-

3.3 Simulação

Os cenários das exposições foram construídos a partir da geometria que representa um aparelho de raio-X odontológico de radiografia intraoral e o objeto antropomórfico virtual descrito anteriormente.

A geometria representando a fonte de radiação X, foi baseada no aparelho de Raio-X *TIMEX 70* da empresa *GNATUS equipamentos médico-odontológicos LTDA* [34], como mostra a figura 8, que são os modelos disponibilizados para uso no hospital odontológico da UFU.

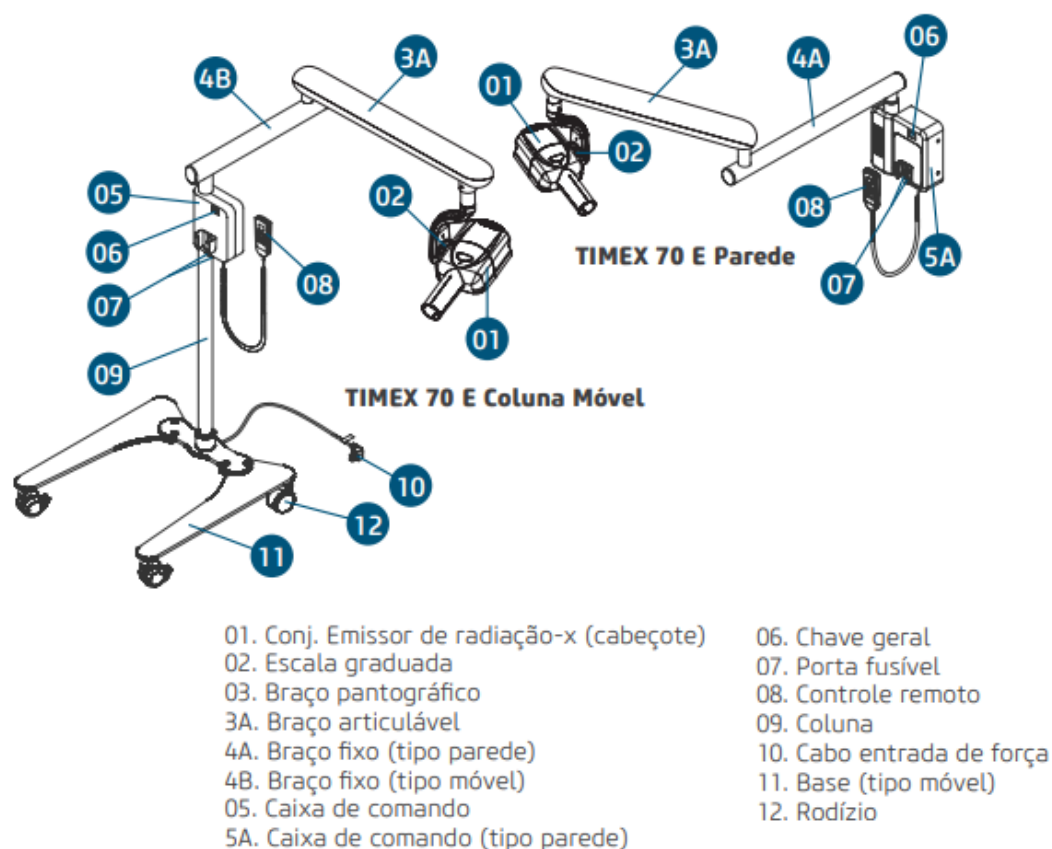


Fig. 8: Representação esquemática dos componentes do aparelho de Raio-X *TIMEX 70* da empresa *GNATUS equipamentos médico-odontológicos LTDA*. Figura reproduzida de GNATUS (2021) [34].

As simulações realizadas no MCNP 6.2, foram feitas a partir das configurações predefinidas [28]. Foi considerado nas simulações $1E9$ partículas e uma energia de corte para fótons de $1E-6$ MeV.

Foram posicionados o objeto simulador e o aparelho de forma que representasse, em cada cenário, as variações de angulações principais dentro das técnicas radiográficas intraorais (periapical, interproximal e oclusal).

3.3.1 Cenários para a Técnica Interproximal

No raio X bitewing é possível visualizar os dentes posteriores do arco superior e inferior juntos, por isso, essa radiografia é dividida em 4 ângulos. Para visualizar os posteriores do lado direito são feitos os posicionamentos pré-molar direito e molar direito, como mostram as figuras 9a e 9b respectivamente, já para visualização do lado esquerdo são feitos os posicionamentos pré-molar esquerdo (figura 9c) e molar esquerdo (figura 9d).

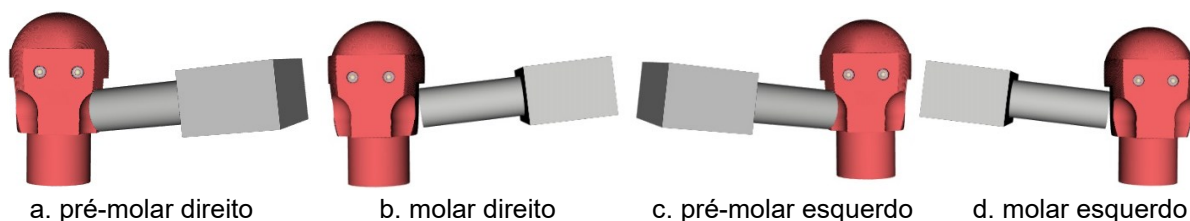


Fig. 9: Cenários com as angulações representando a técnica interproximal. Figura de autoria própria.

3.3.2 Cenários para a Técnica Periapical

Como os ângulos da técnica periapical precisam ser reproduzíveis, foram definidos 16 ângulos que compõem essa técnica, para visualizar diferentes regiões da cavidade oral [35]. Nesse trabalho, foram representados 14 posicionamentos do tubo de raio-X, que são os mais utilizados, para analisar a exposição no paciente.

Para visualização da região da maxila foram utilizados os posicionamentos: canino superior esquerdo, canino superior direito, incisivo central superior, pré-molar superior esquerdo, pré-molar superior direito, molar superior esquerdo, molar superior direito, como mostram as figuras 10a, 10b, 10c, 10d, 10e, 10f e 10g, respectivamente.

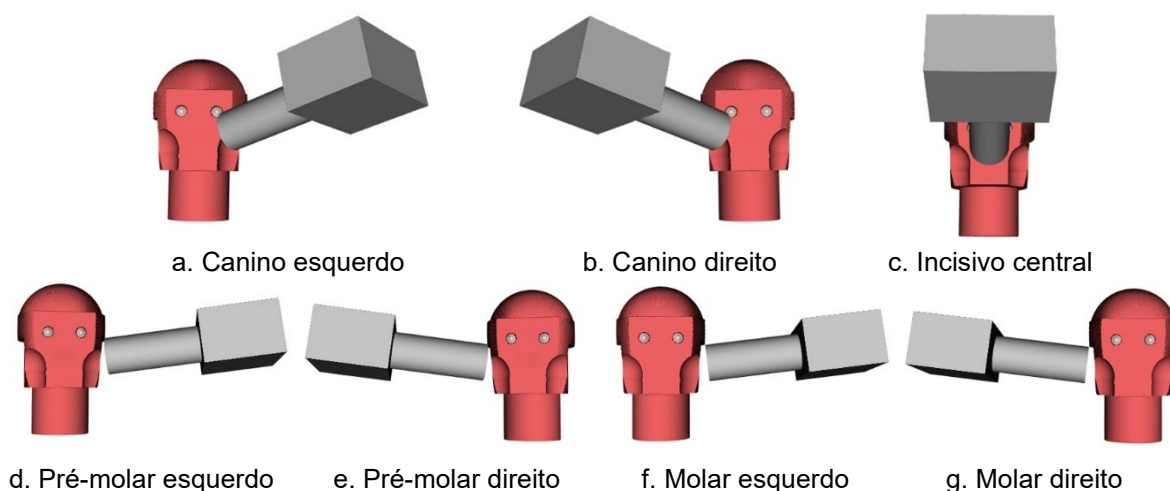


Fig. 10: Cenários com as angulações representando a técnica periapical, para visualização da arcada dentária superior, região da maxila. Figura de autoria própria.

Já para visualizar a região da mandíbula foram utilizados os posicionamentos: canino inferior esquerdo, canino inferior direito, incisivo central inferior, pré-molar inferior esquerdo, pré-molar inferior direito, molar inferior esquerdo e molar inferior direito, como mostram respectivamente as figuras 11a, 11b, 11c, 11d, 11e, 11f, 11g.

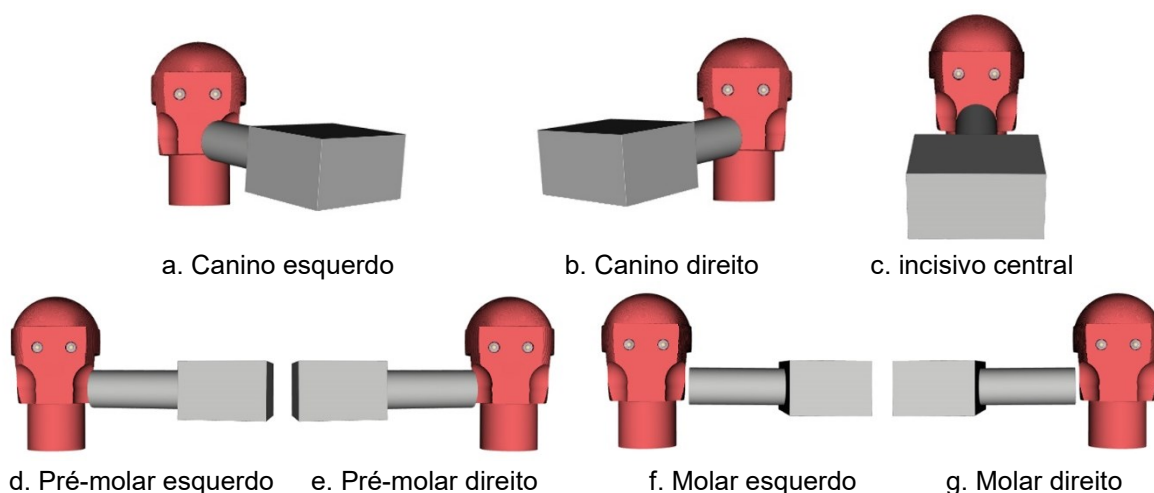


Fig. 11: Cenários com as angulações representando a técnica periapical, para visualização da arcada dentária inferior, região da mandíbula. Figura de autoria própria.

3.3.3 Cenários para a Técnica Oclusal

Para esse trabalho, foram representados 9 ângulos dessa técnica para as simulações. Para visualização da arcada superior foram utilizados os posicionamentos oclusais: superior 65° (fig. 12a), superior 70° (fig. 12b), *Vertex* (fig. 12c), oblíqua

superior esquerda (fig. 12f) e oblíqua superior direita (fig. 12g). Já para visualizar a arcada inferior foram utilizados os posicionamentos: inferior 90° (fig. 12d), inferior 45° (fig. 12e), oblíqua inferior esquerda (fig. 12h) e oblíqua inferior direita (fig. 112).

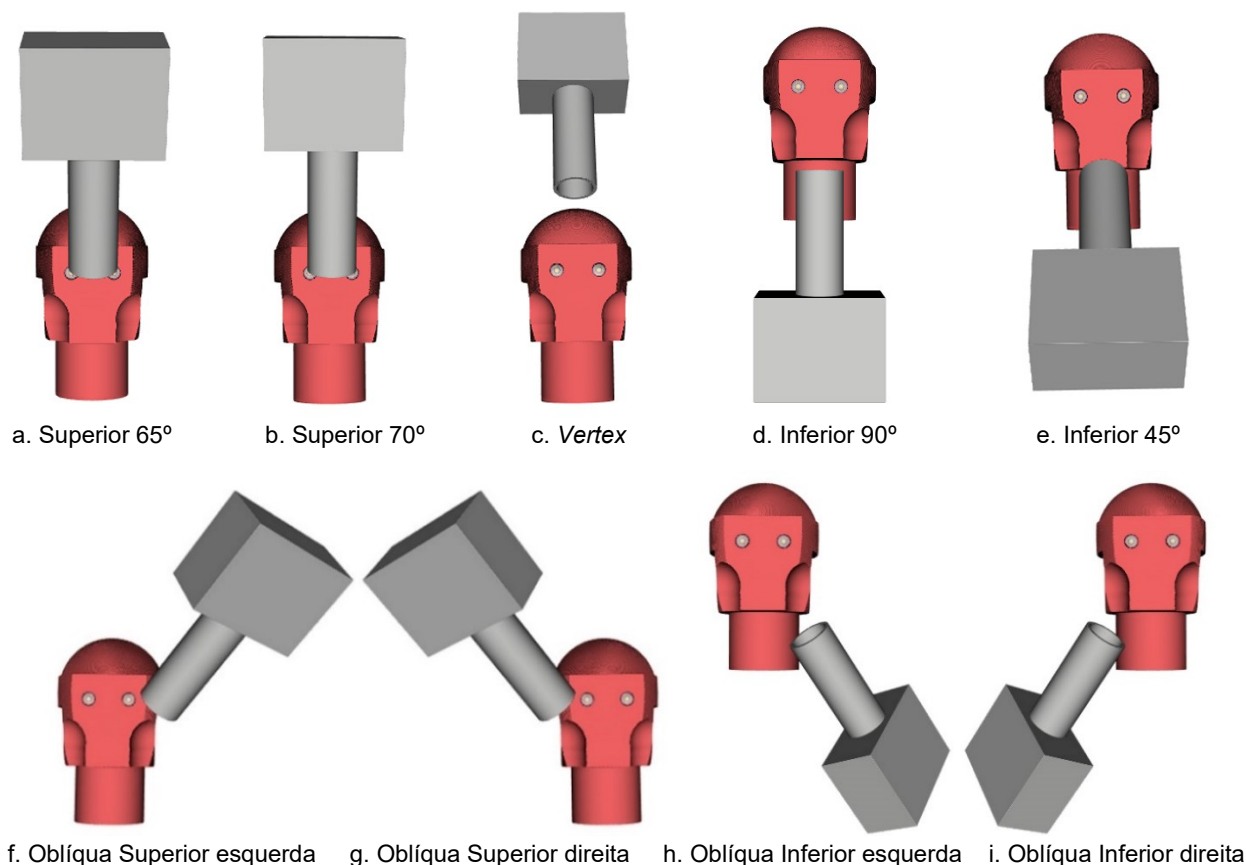


Fig. 12: Cenários com as angulações representando a técnica oclusal. Figura de autoria própria.

3.4 Espectro do Raio X

Para realizar as simulações no MCNP, é preciso definir as características do raio-X odontológico para gerar o espectro de raio X. As características usadas foram obtidas nas especificidades dos aparelhos de raio-X utilizados no HO-UFU, o *TIMEX 70* da *GNATUS* [34].

As características usadas foram uma tensão de tubo de 70 kV, filtração total de 3,22 mmAl, um ângulo anódico de 16° [34]. Com esses dados, foi utilizado o *software SpekCalc* [36, 37, 38] para gerar o espectro de raios X.

3.5 Coeficientes de Conversão de dose absorvida

Os coeficientes de conversão (CC) são utilizados como fator de correção para converter os valores simulados computacionalmente em valores reais.

Nesse trabalho, foram calculados os coeficientes de conversão para dose absorvida ($CC[D]$). Para isso, foram obtidos os valores de dose absorvida ($\text{MeV/g/source-particle}$), que são fornecidos por meio do *tally F6*, para cada tecido radiosensível, considerado nesse trabalho, em cada um dos cenários estudados. Também, foi realizada uma simulação irradiando, com os mesmos parâmetros do feixe de raio X, uma esfera d'água, representando uma câmara de ionização virtual, para obter a energia depositada. Com esses valores foi possível obter os valores de $CC[D]$, por meio da equação 1.

$$CC[D] = \frac{F6 \text{ tecido radiosensível}}{F6 \text{ câmara de ionização virtual}} \quad (1)$$

3.6 Câmara de Ionização

Foi utilizado um detector de estado sólido, que não tem a necessidade de compensar os resultados a partir da temperatura ou pressão, o *RED PIRANHA da RTI Electronics AB* [39], para aferir a energia depositada pelo aparelho de raio-X do Hospital Odontológico da Universidade Federal de Uberlândia.

Para aferir os resultados foi seguido o manual do usuário *Piranha & QABrowser Versão 5.5 C* [39]. O detector foi posicionado a 25 cm da saída do feixe raio X, como mostra a figura 13, da mesma forma que foi feito na simulação da câmara de ionização virtual.

Foi feita a aferição da dose (D_{exp}), em mGy, utilizando o tempo de exposição (t_{esp}) da recomendação fornecida pelo manual do aparelho de raio-X odontológico da *GNATUS* [34], que é utilizado no HO UFU, que foi 0,40 s.



Fig. 13: Posicionamento do detector *RED PIRANHA*. Figura de autoria própria.

3.7 Análise dos resultados

A partir dos valores do $CC[D]$ obtidos de cada órgão de interesse radiológico considerado para cada um dos cenários das três técnicas de radiografia intraoral e os valores obtidos da dose (D_{exp}), aferidos pela detector *Piranha*, no tempo de exposição utilizado pelos técnicos do HO UFU 0,4 s, foi encontrado o valor de dose absorvida real simulada (D_{abs}), utilizando a equação 2, que um paciente receberia durante um exame de radiografia odontológica, a partir de estimativa da dosimetria utilizando MMC.

$$D_{abs} = CC[D] * D_{exp} \quad (2)$$

4. Resultados e Discussões

4.1 Avaliação do $CC[D]$ nas simulações

A partir da simulação da câmara de ionização virtual, esfera d'água, foi obtido o resultado de $1,5E-5$ MeV/g/source-particle, com uma incerteza de 0,7%. Esse valor foi utilizado no cálculo dos valores de $CC[D]$, equação (1), para cada tecido de interesse radiológico em cada cenário retratado.

Os valores dos $CC[D]$ estão listados nas tabelas 5, 6, 7, 8 e 9, localizados no Apêndice A. Com esses valores, pode-se visualizar quais são os posicionamentos que depositam as maiores doses nos tecidos de interesse radiológico.

Os valores de $CC[D]$ para cada cenário da técnica interproximal estão na tabela 5. Pode-se concluir que as glândulas salivares parótida são as mais atingidas nessa técnica radiográfica quando usada para visualização dos dentes molares. Para a visualização da região do dente pré-molar, as glândulas sublinguais são as mais atingidas.

Os valores de $CC[D]$ para a radiografia periapical, de cada posicionamento, são apresentados nas tabelas 6 e 7. Nessa técnica, os posicionamentos do tubo de raio-X variam mais, com isso, analisando os órgãos radiosensíveis, percebe-se que as glândulas salivares são os órgãos mais atingidos, sendo as parótidas as mais atingidas nos posicionamentos molar superior esquerdo e molar superior direito, as submandibulares nos posicionamentos incisivo inferior central, molar inferior esquerdo e molar inferior direito e as glândulas sublinguais são os órgãos que possuem o maior $CC[D]$ nos demais posicionamentos.

Nas tabelas 8 e 9 são apresentados os valores de $CC[D]$ de cada cenário da técnica oclusal. Essa técnica também tem uma ampla variação de posicionamento do tubo de raio-X, portanto, cada cenário tem um tecido que obteve uma maior exposição. Para o cristalino o posicionamento *vertex* é o que mais deposita dose nesse órgão, a tireoide é a mais atingida nos posicionamentos oblíquo superior esquerdo e direito e as glândulas salivares submandibular e sublingual são as que possuem maior exposição nos demais ângulos.

4.2 Resultados da coleta de dados com a câmara de ionização

A partir do procedimento descrito no capítulo 3.6, utilizando o detector *RED PIRANHA*, foi aferido a possível dose que chega a um paciente no tempo de exposição 0,4 s, recomendado pelo padrão do aparelho utilizado no HO-UFU.

A exposição encontrada pelo detector foi de 1,363 mGy (já considerando o tempo de exposição total de 0,4 s). A partir desse resultado, foram convertidos os valores de dose absorvida computacional em valores clínicos (equação 2). Os resultados das doses absorvidas para cada ângulo das técnicas intraorais estão nas tabelas 10, 11, 12, 13 e 14 no apêndice B.

4.3 Análise da dose absorvida nos tecidos de interesse radiológico

Considerando todos os resultados da dose absorvida nas técnicas intraorais, pode-se analisar qual órgão é o mais atingido nas radiografias intraorais.

Como o cristalino e a tireoide estão mais distantes da região irradiada, a cavidade oral, a dose depositada sobre eles é menor. O cristalino só é o órgão mais atingido na técnica oclusal *vertex*, com uma dose absorvida de $9,2E-3$ mGy para a lente direita e $9,3E-3$ mGy para a esquerda. Já a tireoide é o órgão mais atingido nos posicionamentos oblíquo superior esquerda e oblíquo superior direita, também da técnica oclusal, com uma dose absorvida de $2,2E-1$ mGy.

Já as glândulas salivares, são as que receberam a maior dose absorvida na maioria dos posicionamentos. As glândulas parótidas foram as mais atingidas em 4 posicionamentos, no molar esquerdo e molar direito da técnica *bitewing* e molar superior esquerdo e molar superior direito da técnica periapical, com dose absorvida de $2,9E-1$ para os ângulos *bitewing* e $2,5E-1$ para os ângulos periapicais.

As glândulas submandibulares foram as mais atingidas em 3 ângulos diferentes, molar inferior esquerdo e molar inferior direito da técnica periapical e inferior 45° da técnica oclusal. Os valores de dose absorvida foram $1,2E-1$ mGy para os ângulos periapicais e $3,3E-1$ mGy para a técnica inferior 45° .

As glândulas sublinguais foram as que mais receberam dose no panorama geral das radiografias intraorais. Elas foram o tecido mais atingido em 17 dos 27 ângulos estudados e detêm o maior valor de dose absorvida, considerando todos os ângulos, que foi de $6,2E-1$ mGy, no posicionamento inferior 90° da oclusal. Os 17 ângulos são: pré-molar direito e pré-molar esquerdo da técnica interproximal; canino superior esquerdo, canino superior direito, incisivo superior central, pré-molar superior esquerdo, pré-molar superior direito, canino inferior esquerdo, canino inferior direito, incisivo inferior central, pré-molar inferior esquerdo, pré-molar inferior direito, da técnica periapical; e, superior 65° , superior 70° , inferior 90° , oblíquo inferior esquerda e oblíquo inferior direita, para a técnica oclusal. As doses absorvidas para as glândulas salivares são, respectivamente: $9,4E-02$ mGy, $9,5E-02$ mGy, $9,4E-02$ mGy, $9,4E-02$ mGy, $1,2E-01$ mGy, $1,1E-01$ mGy, $1,1E-01$ mGy, $1,3E-01$ mGy, $1,3E-01$ mGy, $1,6E-01$ mGy, $1,4E-01$ mGy, $1,4E-01$ mGy, $2,5E-02$ mGy, $2,1E-02$ mGy, $6,2E-01$ mGy, $3,1E-01$ mGy, $3,1E-01$ mGy.

5. Considerações Finais

Neste trabalho, foram analisados a dose absorvida nos tecidos de interesse radiológico: cristalino, tireoide e glândulas salivares, durante as técnicas de radiografia intraoral interproximal, periapical e oclusal, em várias angulações. A dose absorvida foi obtida através de simulações computacionais utilizando MMC e da dosimetria realizada com o detector *Piranha* no Hospital Odontológico da UFU. Verificando assim quais órgão radiosensíveis são mais expostos em cada um dos posicionamentos das técnicas.

Foi constatado que o cristalino foi o tecido com a maior dose absorvida no posicionamento *vertex* da técnica oclusal; a tireoide nos posicionamentos oblíquos superiores da oclusal; as glândulas submandibulares no molar inferior esquerdo e molar inferior direito da técnica periapical e inferior 45° da técnica oclusal; as glândulas parótidas nos ângulos molar esquerdo e molar direito da técnica interproximal e molar superior esquerdo e molar superior direito da técnica periapical; e por fim, as glândulas sublinguais possuem a maior dose absorvida nos outros 17 ângulos estudados.

As glândulas sublinguais foram as que receberam a maior dose absorvida no panorama geral das radiografias intraorais. Essas glândulas possuem a maior dose absorvida, entre os órgãos estudados, em 17 dos 27 ângulos considerados, e nos posicionamentos restantes são o segundo órgão com o maior valor de dose absorvida, com exceção do posicionamento oclusal *vertex*, onde é o terceiro órgão com maior D_{ab} . Além disso, considerando todos os posicionamentos e tecidos, a glândula sublingual recebeu a maior dose absorvida geral no posicionamento inferior 90° da técnica periapical.

A tireoide e a lente dos olhos recebem uma baixa dose na maior parte dos exames de radiografia intraoral, já que estão distantes da região bucal, que é a região irradiada, e com isso, interagem menos com a radiação. O valor de dose absorvida nos tecidos depende do posicionamento do aparelho de raio-X, os órgãos que estão próximos ao feixe primário do raio X interagem mais com a radiação o que leva um maior valor de D_{ab} .

Considerando os efeitos estocásticos, que não dependem de um limiar de dose, é importante ressaltar que os exames de radiografia intraoral devem ser feitos apenas sob indicação médica ou odontológica, assim como qualquer exame que utiliza radiação ionizante. Além disso, devem ser seguidos os protocolos de proteção radiológica do paciente, do profissional que realiza o exame e das recomendações do equipamento, a fim de garantir a segurança do paciente e do profissional e a otimização do exame, evitando a exposição à radiação além do necessário.

REFERÊNCIAS

- [1] Cirilo AN, Neto DP, Tessaro GC, Vilarim LT, Filgueiras PS. Radiação Ionizante: Uma Revisão De Literatura. Revista Acadêmica Novo Milênio. 2021; 3(4).
- [2] Santin FO. Breve histórico dos cem anos da descoberta dos raios X: 1895-1995. Química Nova. 1995;18:6.
- [3] Bolner RC. Contextualização Histórica Da Radiologia Odontológica. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/48925>>
- [4] Langland OE; Langlais RP. Princípios Do Diagnóstico Por Imagem Em Odontologia. São Paulo: Santos, 2002
- [5] Chaparian A, Dehghanzade F, Evaluation OF. Radiation-induced cancer risk to patients undergoing intra-oral and panoramic dental radiographies using experimental measurements and monte carlo calculations. International Journal of Radiation Research, V. 15, N. 2, P. 197, 2017.
- [6] Kanzaki T, Takahashi A, Yarita K. Absorbed dose to the eye lens during dental radiography. Oral Radiology, V. 33, N. 3, P. 246-250, 2017.
- [7] Whaites E, Drage N. Essentials Of Dental Radiography And Radiology. Elsevier Health Sciences; 2013 Jun 20.
- [8] Bozic ZD, Yepes JF, Jones JE, Sanders BJ, Vinson L, Johnson B. Pediatric phantom dosimetry using a hand-held portable dental radiology device. 2020
- [9] Aps J. Radiography in Pediatric Dental Practice. Clinical Dentistry Reviewed, Springer, V. 4, N. 1, P. 1–16, 2020.
- [10] White SC, Pharoah MJ. Oral Radiology-E-Book: Principles and Interpretation. Elsevier Health Sciences, 2014.
- [11] Werner CJ. *et al.* MCNP User's Manual - Code Version 6.2. Los Alamos National Laboratory, 2017.
- [12] IAEA. Radiation Protection In Dental Radiology. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2022. (Safety Reports Series, 108). ISBN: 978-92-0-138421-8.
- [13] Gregg EC. Radiation Risks With Diagnostic X-Rays. Radiology, 123(2), 447–453, 19 1977. Doi:10.1148/123.2.447
- [14] Silva LM, Silva G, Santos WD. Determinação da dose de entrada na pele devido a Raio-X Odontológico Utilizando Método De Monte Carlo 2020.
- [15] Banco de dados. Serviços Uberlândia. Universidade Federal de Uberlândia. Disponível em <http://servicos.uberlandia.mg.gov.br/uploads/cms_b_arquivos/20239.pdf>
- [16] Yoriyaz H. Método De Monte Carlo: Princípios e Aplicações em Física Médica. Revista Brasileira de Física Médica. 2009;3(1):141-9.
- [17] Okuno E, Yoshimura EM. Física das Radiações. Oficina De Textos, 2016.

- [18] Moreira JVA. Radiobiologia: Efeito das radiações ionizantes na célula e formas de proteção das Radiações Ionizantes. 2011. Tese de Doutorado. Universidade Da Beira Interior.
- [19] International Commission on Radiological Protection. The 2007 Recommendations of The International Commission on Radiological Protection. Publication 103, Elsevier, Oxford, 2007.
- [20] International Atomic Energy Agency. Dosimetry in Diagnostic Radiology: An International Code of Practice. Technical Reports Series No. 457, IAEA, Vienna, 2007.
- [21] International Commission on Radiation Units and Measurements. Patient Dosimetry For X Rays Used In Medical Imaging, ICRU Report 74, ICRU, Bethesda, Md, 2006.
- [22] Kim C, *et al.* ICRP Publication 145: Adult Mesh-Type Reference Computational Phantoms. Annals of the ICRP, Sage Publications Sage UK: London, England, V. 49, N. 3, P. 13–201, 2020.
- [23] Peter B, Van WM, Vissink A, Sgravenmade E, Konings A. The Role of Secretory Granules in Radiation Induced Dysfunction of Rat Salivary Glands. Radiat Res. 1995; 141: 176-182.
- [24] Machado AT, Guimarães GB, Santos WS, Perini AP, Neves LP. Avaliação das doses em tecidos durante radiografia interproximal: estudo por simulação de Monte Carlo. Anais do XXVI Congresso Brasileiro de Física Médica. 2022.
- [25] Guimarães GB. Desenvolvimento de um objeto simulador virtual para dosimetria em radiografias intraorais. 2022. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal De Uberlândia, Uberlândia, 2022
- [26] Ohnishi S. Gxview: Geometry and Cross Section Viewer For Calculating Radiation Transport. Softwarex, Elsevier, V. 14, P. 100681, 2021.
- [27] Goorley JT, *et al.* Initial MCNP6 Release Overview-Mcnp6 Version 1.0, 2013.
- [28] Detwiler RS, *et al.* Compendium of Material Composition Data for Radiation Transport Modeling, 2021.
- [29] Pereira IMR, *et al.* Determinação radiológica do índice e do tamanho craniano por mensuração dos diâmetros cranianos em uma população infantil brasileira. Radiologia Brasileira, Scielo Brasil, V. 41, P. 229–234, 2008.
- [30] Rengifo VR. Comparison of Dental Inclination in Digital Models Of Cases Treated With Self-Ligating or Conventional Fixed Appliances With And Without Rapid Maxillary Expansion. Dissertação de Mestrado. Universidade De São Paulo, 2016.
- [31] Tanriover O, *et al.* Morphometric Features of the Thyroid Gland: A Cadaveric Study of Turkish People. Folia Morphologica, V. 70, N. 2, P. 103–108, 2011.
- [32] Ang KM, *et al.* Ultrasonographic and Elastographic Biometry In Adult Major Salivary Glands: A Preliminary Case-Control Report. Scientific Reports, Nature Publishing Group, V. 9, N. 1, P. 1–7, 2019.

- [33] Waiswol M, Cursino JW, Cohen R. Variações nas dimensões do cristalino humano de acordo com a idade. *Arquivos Brasileiros De Oftalmologia*, Scielo Brasil, V. 64, P. 507–512, 2001.
- [34] GNATUS. Manual do Proprietário. Raios X TIMEX 70, São Paulo, 2021.
- [35] Whaites E, Drage N. *Essentials of Dental Radiography and Radiology E-Book*. Elsevier Health Sciences, 2020.
- [36] Poludniowski GG, Evans PM. Calculation of X-Ray Spectra Emerging From an X-Ray Tube. Part I. Electron Penetration Characteristics in X-Ray Targets. *Medical Physics*. Jun; 34 (6part1):2164-74. 19, 2007.
- [37] Poludniowski GG. Calculation of X-Ray Spectra Emerging From an X-Ray Tube. Part II. X-Ray Production and Filtration in X-Ray Targets. *Medical Physics*. Jun; 34 (6part1):2175-86. 20, 2007.
- [38] 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 & Biology*. Sep 1; 54(19): N433. 2009
- [39] Piranha Q.A. Browser. Manual do Usuário - Inglês - Versão 5.5c

APÊNDICES

Apêndice A – Valores do CC[D]

Tabela 5 – CC[D] das radiografias interproximais e suas incertezas

Tecidos / Ângulos	CC[D] / Incerteza (%)							
	Pré-molar direito		Molar direito		Pré-molar esquerdo		Molar esquerdo	
Cristalino direito	4,7E-3	1,5%	3,2E-3	1,6%	1,6E-3	2,3%	7,5E-4	2,9%
Cristalino esquerdo	1,5E-3	2,4%	7,0E-4	3,0%	4,8E-3	1,5%	3,3E-3	1,6%
Gl. Parótida esquerda	3,9E-3	0,7%	3,6E-3	0,7%	4,2E-3	0,7%	2,1E-1	0,7%
Gl. Parótida direita	4,2E-3	0,7%	2,1E-1	0,7%	3,9E-3	0,7%	3,6E-3	0,7%
Gl. Submandibular direita	5,6E-2	0,7%	3,5E-2	0,7%	3,3E-2	0,7%	1,7E-2	0,7%
Gl. Submandibular esquerda	3,3E-2	0,7%	1,7E-2	0,7%	5,6E-2	0,7%	3,5E-2	0,7%
Gl. Sublingual direita	6,9E-2	0,7%	6,5E-2	0,7%	5,4E-2	0,7%	3,6E-2	0,7%
Gl. Sublingual esquerda	5,4E-2	0,7%	3,6E-2	0,7%	7,0E-2	0,7%	6,6E-2	0,7%
Glândulas Salivares (Total)	2,0E-2	0,7%	7,8E-2	0,7%	2,0E-2	0,7%	7,8E-2	0,7%
Glândula Tireoide	8,0E-3	0,7%	3,9E-3	0,7%	8,0E-3	0,7%	3,9E-3	0,7%
Dose de Entrada na Pele (DEP)	1,2E	0,7%	1,3	0,7%	1,2	0,7%	1,3	0,7%

Tabela 6 – CC[D] das radiografias periapicais para visualização da região da maxila e suas incertezas

Tecidos / Ângulos Maxilar	CC[D] / Incerteza (%)													
	Canino esquerdo		Canino Direito		Incisivo central		Pré-molar esquerdo		Pré-molar direito		Molar esquerdo		Molar direito	
Cristalino direito	7,1E-03	1,3%	2,6E-02	0,92%	1,0E-02	1,17%	2,8E-03	1,8%	1,3E-02	1,1%	8,2E-04	2,7%	4,5E-03	1,4%
Cristalino esquerdo	2,6E-02	0,9%	7,2E-03	1,3%	9,9E-03	1,19%	1,3E-02	1,1%	2,9E-03	1,8%	4,4E-03	1,4%	7,9E-04	2,8%
Gl. Parótida esquerda	1,8E-03	0,8%	2,1E-03	0,8%	2,3E-03	0,75%	1,1E-02	0,7%	3,7E-03	0,7%	1,9E-01	0,7%	3,9E-03	0,7%
Gl. Parótida direita	2,1E-03	0,8%	1,8E-03	0,8%	2,3E-03	0,75%	3,7E-03	0,7%	1,1E-02	0,7%	3,9E-03	0,7%	1,9E-01	0,7%
Gl. Submandibular direita	2,4E-02	0,7%	8,4E-03	0,7%	1,9E-02	0,68%	2,1E-02	0,7%	1,6E-02	0,7%	1,6E-02	0,7%	2,5E-02	0,7%
Gl. Submandibular esquerda	8,4E-03	0,7%	2,4E-02	0,7%	1,9E-02	0,68%	1,6E-02	0,7%	2,1E-02	0,7%	2,5E-02	0,7%	1,6E-02	0,7%
Gl. Sublingual direita	4,6E-02	0,7%	6,9E-02	0,7%	8,8E-02	0,67%	5,1E-02	0,7%	8,1E-02	0,7%	4,2E-02	0,7%	6,9E-02	0,7%
Gl. Sublingual esquerda	6,9E-02	0,7%	4,6E-02	0,7%	8,8E-02	0,67%	8,1E-02	0,7%	5,1E-02	0,7%	7,0E-02	0,7%	4,2E-02	0,7%
Glândulas Salivares (Total)	9,7E-03	0,7%	9,6E-03	0,7%	1,3E-02	0,66%	1,4E-02	0,7%	1,4E-02	0,7%	6,9E-02	0,7%	6,9E-02	0,7%
Glândula Tireoide	2,9E-03	0,7%	2,9E-03	0,7%	3,1E-03	0,72%	2,6E-03	0,7%	2,6E-03	0,7%	2,7E-03	0,7%	2,7E-03	0,7%
Dose de Entrada na Pele	1,2E+00	0,7%	1,2E+00	0,7%	1,2E+00	0,66%	1,2E+00	0,7%	1,2E+00	0,7%	1,2E+00	0,7%	1,2E+00	0,7%

Tabela 7 – CC[D] das radiografias periapicais para visualização da região da mandíbula e suas incertezas

Tecidos / Ângulos Mandíbula	CC[D] / Incerteza (%)													
	Canino esquerdo		Canino Direito		Incisivo central		Pré-molar esquerdo		Pré-molar direito		Molar esquerdo		Molar direito	
Cristalino direito	2,0E-03	2,1%	2,3E-03	2,0%	1,8E-03	2,2%	7,8E-04	3,1%	2,3E-03	2,0%	4,8E-04	3,5%	1,9E-03	2,1%
Cristalino esquerdo	2,2E-03	2,1%	1,8E-03	2,1%	1,8E-03	2,2%	2,4E-03	2,0%	7,7E-04	3,1%	1,8E-03	2,1%	4,8E-04	3,6%
Gl. Parótida esquerda	2,1E-03	0,8%	6,0E-03	0,7%	3,0E-03	0,7%	7,2E-03	0,7%	5,9E-03	0,7%	6,3E-02	0,7%	4,0E-03	0,7%
Gl. Parótida direita	6,0E-03	0,7%	2,1E-03	0,8%	3,0E-03	0,7%	5,9E-03	0,7%	7,2E-03	0,7%	4,0E-03	0,7%	6,3E-02	0,7%
Gl. Submandibular direita	6,2E-02	0,7%	4,2E-02	0,7%	9,1E-02	0,7%	4,1E-02	0,7%	8,1E-02	0,7%	3,2E-02	0,7%	9,0E-02	0,7%
Gl. Submandibular esquerda	4,2E-02	0,7%	6,2E-02	0,7%	9,1E-02	0,7%	8,1E-02	0,7%	4,1E-02	0,7%	9,0E-02	0,7%	3,2E-02	0,7%
Gl. Sublingual direita	7,7E-02	0,7%	9,2E-02	0,7%	1,2E-01	0,7%	6,5E-02	0,7%	1,0E-01	0,7%	5,2E-02	0,7%	8,0E-02	0,7%
Gl. Sublingual esquerda	9,2E-02	0,7%	7,7E-02	0,7%	1,2E-01	0,7%	1,1E-01	0,7%	6,5E-02	0,7%	8,1E-02	0,7%	5,2E-02	0,7%
Glândulas Salivares (Total)	2,4E-02	0,7%	2,4E-02	0,7%	3,8E-02	0,7%	2,8E-02	0,7%	2,8E-02	0,7%	4,4E-02	0,7%	4,4E-02	0,7%
Glândula Tireoide	9,5E-03	0,7%	9,5E-03	0,7%	1,0E-02	0,7%	1,0E-02	0,7%	1,0E-02	0,7%	9,6E-03	0,7%	9,6E-03	0,7%
Dose de Entrada na Pele	1,2E+00	0,7%	1,2E+00	0,7%	1,2E+00	0,7%	1,2E+00	0,7%	1,2E+00	0,7%	1,2E+00	0,7%	1,2E+00	0,7%

Tabela 8 – CC[D] das radiografias oclusais para visualização da região da maxila e suas incertezas

Tecidos / Ângulos Maxila	CC[D] / Incerteza (%)									
	Superior 65°		Superior 70°		Vertex		Oblíqua Superior esquerda		Oblíqua Superior direita	
Cristalino direito	1,4E-02	1,1%	6,1E-03	1,4%	6,7E-03	1,1%	1,5E-03	2,5%	2,2E-02	1,0%
Cristalino esquerdo	1,4E-02	1,1%	6,1E-03	1,4%	6,8E-03	1,1%	2,2E-02	1,0%	1,5E-03	2,4%
Gl. Parótida esquerda	4,6E-04	1,1%	2,7E-04	1,3%	4,2E-04	1,1%	3,8E-03	0,7%	4,7E-04	1,0%
Gl. Parótida direita	4,6E-04	1,1%	2,7E-04	1,3%	4,1E-04	1,1%	4,7E-04	1,0%	3,8E-03	0,7%
Gl. Submandibular direita	3,6E-03	0,8%	1,8E-03	0,8%	8,3E-04	1,0%	8,7E-03	0,7%	2,9E-02	0,7%
Gl. Submandibular esquerda	3,6E-03	0,8%	1,8E-03	0,8%	8,3E-04	1,0%	2,9E-02	0,7%	8,7E-03	0,7%
Gl. Sublingual direita	1,8E-02	0,7%	1,6E-02	0,7%	5,8E-04	1,6%	2,4E-02	0,7%	3,5E-02	0,7%
Gl. Sublingual esquerda	1,8E-02	0,7%	1,6E-02	0,7%	5,9E-04	1,6%	3,5E-02	0,7%	2,5E-02	0,7%
Glândulas Salivares (Total)	2,5E-03	0,7%	1,6E-03	0,7%	5,6E-04	0,8%	9,1E-03	0,7%	9,0E-03	0,7%
Glândula Tireoide	5,9E-03	0,7%	4,4E-03	0,7%	1,4E-04	1,5%	1,7E-01	0,7%	1,6E-01	0,7%
Dose de Entrada na Pele	1,2E+00	0,7%	1,2E+00	0,7%	1,2E+00	0,7%	1,2E+00	0,7%	1,2E+00	0,7%

Tabela 9 – CC[D] das radiografias oclusais para visualização da região da mandíbula e suas incertezas

Tecidos / Ângulos Mandíbula	CC[D] / Incerteza (%)							
	Inferior 90°		Inferior 45°		Oblíqua Inferior esquerda		Oblíqua Inferior direita	
Cristalino direito	2,8E-02	0,9%	2,0E-03	2,0%	1,7E-03	2,1%	6,9E-02	0,7%
Cristalino esquerdo	2,9E-02	0,9%	1,9E-03	2,0%	6,9E-02	0,7%	1,8E-03	2,0%
Gl. Parótida esquerda	6,8E-04	0,9%	3,4E-03	0,7%	4,7E-03	0,7%	4,9E-04	1,0%
Gl. Parótida direita	6,8E-04	0,9%	3,4E-03	0,7%	4,9E-04	1,0%	4,7E-03	0,7%
Gl. Submandibular direita	1,4E-02	0,7%	2,5E-01	0,7%	9,9E-03	0,7%	9,4E-02	0,7%
Gl. Submandibular esquerda	1,4E-02	0,7%	2,5E-01	0,7%	9,4E-02	0,7%	9,9E-03	0,7%
Gl. Sublingual direita	4,6E-01	0,7%	2,3E-01	0,7%	2,3E-01	0,7%	1,6E-01	0,7%
Gl. Sublingual esquerda	4,6E-01	0,7%	2,3E-01	0,7%	1,6E-01	0,7%	2,3E-01	0,7%
Glândulas Salivares (Total)	3,1E-02	0,7%	9,3E-02	0,7%	2,9E-02	0,7%	2,9E-02	0,7%
Glândula Tireoide	6,2E-03	0,7%	1,2E-02	0,7%	7,9E-03	0,7%	7,9E-03	0,7%
Dose de Entrada na Pele	1,2E+00	0,7%	1,2E+00	0,7%	1,2E+00	0,7%	1,2E+00	0,7%

Apêndice B – Valores da dose absorvida

Tabela 10 – Dose absorvida para cada tecido de interesse radiológico das radiografias interproximais

Tecidos / Ângulos	Dose absorvida (mGy)			
	Pré-molar direito	Molar direito	Pré-molar esquerdo	Molar esquerdo
Cristalino direito	6,4E-03	4,4E-03	2,1E-03	1,0E-03
Cristalino esquerdo	2,0E-03	9,6E-04	6,5E-03	4,5E-03
Gl. Parótida esquerda	5,3E-03	4,9E-03	5,7E-03	2,9E-01
Gl. Parótida direita	5,7E-03	2,9E-01	5,4E-03	4,9E-03
Gl. Submandibular direita	7,6E-02	4,7E-02	4,5E-02	2,3E-02
Gl. Submandibular esquerda	4,5E-02	2,3E-02	7,6E-02	4,7E-02
Gl. Sublingual direita	9,4E-02	8,9E-02	7,4E-02	4,9E-02
Gl. Sublingual esquerda	7,3E-02	4,8E-02	9,5E-02	9,0E-02
Glândulas Salivares (Total)	2,7E-02	1,1E-01	2,7E-02	1,1E-01
Glândula Tireoide	1,1E-02	5,3E-03	1,1E-02	5,4E-03
Dose de Entrada na Pele (DEP)	1,7E+00	1,7E+00	1,7E+00	1,7E+00

Tabela 11 – Dose absorvida para cada tecido de interesse radiológico das radiografias periapicais para a região da maxila

Tecidos / Ângulos Maxila	Dose absorvida (mGy)						
	Canino esquerdo	Canino Direito	Incisivo central	Pré-molar esquerdo	Pré-molar direito	Molar esquerdo	Molar direito
Cristalino direito	9,7E-03	3,5E-02	1,4E-02	3,8E-03	1,7E-02	1,1E-03	6,1E-03
Cristalino esquerdo	3,5E-02	9,9E-03	1,4E-02	1,7E-02	3,9E-03	5,9E-03	1,1E-03
Gl. Parótida esquerda	2,5E-03	2,8E-03	3,1E-03	1,5E-02	5,1E-03	2,5E-01	5,4E-03
Gl. Parótida direita	2,8E-03	2,5E-03	3,1E-03	5,1E-03	1,5E-02	5,3E-03	2,5E-01
Gl. Submandibular direita	3,2E-02	1,1E-02	2,6E-02	2,8E-02	2,1E-02	2,1E-02	3,4E-02
Gl. Submandibular esquerda	1,1E-02	3,2E-02	2,6E-02	2,1E-02	2,8E-02	3,4E-02	2,1E-02
Gl. Sublingual direita	6,3E-02	9,4E-02	1,2E-01	7,0E-02	1,1E-01	5,7E-02	9,5E-02
Gl. Sublingual esquerda	9,4E-02	6,3E-02	1,2E-01	1,1E-01	6,9E-02	9,5E-02	5,7E-02
Glândulas Salivares (Total)	1,3E-02	1,3E-02	1,7E-02	1,9E-02	1,9E-02	9,4E-02	9,4E-02
Glândula Tireoide	4,0E-03	4,0E-03	4,2E-03	3,5E-03	3,5E-03	3,7E-03	3,7E-03
Dose de Entrada na Pele	1,7E+00	1,7E+00	1,7E+00	1,7E+00	1,7E+00	1,7E+00	1,7E+00

Tabela 12 – Dose absorvida para cada tecido de interesse radiológico das radiografias periapicais para a região da mandíbula

Tecidos / Ângulos Mandíbula	Dose absorvida (mGy)						
	Canino esquerdo	Canino Direito	Incisivo central	Pré-molar esquerdo	Pré-molar direito	Molar esquerdo	Molar direito
Cristalino direito	2,7E-03	3,1E-03	2,5E-03	1,1E-03	3,2E-03	6,5E-04	2,6E-03
Cristalino esquerdo	3,0E-03	2,5E-03	2,4E-03	3,2E-03	1,0E-03	2,5E-03	6,5E-04
Gl. Parótida esquerda	2,8E-03	8,1E-03	4,1E-03	9,8E-03	8,0E-03	8,6E-02	5,4E-03
Gl. Parótida direita	8,1E-03	2,8E-03	4,1E-03	8,1E-03	9,8E-03	5,4E-03	8,6E-02
Gl. Submandibular direita	8,4E-02	5,7E-02	1,2E-01	5,6E-02	1,1E-01	4,4E-02	1,2E-01
Gl. Submandibular esquerda	5,7E-02	8,4E-02	1,2E-01	1,1E-01	5,6E-02	1,2E-01	4,4E-02
Gl. Sublingual direita	1,0E-01	1,3E-01	1,6E-01	8,8E-02	1,4E-01	7,1E-02	1,1E-01
Gl. Sublingual esquerda	1,3E-01	1,0E-01	1,6E-01	1,4E-01	8,8E-02	1,1E-01	7,1E-02
Glândulas Salivares (Total)	3,3E-02	3,3E-02	5,1E-02	3,9E-02	3,9E-02	6,0E-02	6,0E-02
Glândula Tireoide	1,3E-02	1,3E-02	1,4E-02	1,4E-02	1,4E-02	1,3E-02	1,3E-02
Dose de Entrada na Pele	1,7E+00	1,7E+00	1,7E+00	1,7E+00	1,7E+00	1,7E+00	1,7E+00

Tabela 13 – Dose absorvida para cada tecido de interesse radiológico das radiografias oclusais para a região da maxila

Tecidos / Ângulos Maxila	Dose absorvida (mGy)				
	Superior 65°	Superior 70°	Vertex	Oblíqua Superior esquerda	Oblíqua Superior direita
Cristalino direito	1,9E-02	8,4E-03	9,2E-03	2,1E-03	3,0E-02
Cristalino esquerdo	2,0E-02	8,3E-03	9,3E-03	3,0E-02	2,0E-03
Gl. Parótida esquerda	6,3E-04	3,7E-04	5,7E-04	5,1E-03	6,4E-04
Gl. Parótida direita	6,2E-04	3,7E-04	5,6E-04	6,4E-04	5,1E-03
Gl. Submandibular direita	4,9E-03	2,4E-03	1,1E-03	1,2E-02	4,0E-02
Gl. Submandibular esquerda	4,9E-03	2,4E-03	1,1E-03	4,0E-02	1,2E-02
Gl. Sublingual direita	2,5E-02	2,1E-02	7,9E-04	3,3E-02	4,8E-02
Gl. Sublingual esquerda	2,5E-02	2,1E-02	8,0E-04	4,8E-02	3,3E-02
Glândulas Salivares (Total)	3,4E-03	2,2E-03	7,6E-04	1,2E-02	1,2E-02
Glândula Tireoide	8,1E-03	6,0E-03	2,0E-04	2,2E-01	2,2E-01
Dose de Entrada na Pele	1,6E+00	1,6E+00	1,7E+00	1,6E+00	1,6E+00

Tabela 14 – Dose absorvida para cada tecido de interesse radiológico das radiografias oclusais para a região da mandíbula

Tecidos / Ângulos Mandíbula	Dose absorvida (mGy)			
	Inferior 90°	Inferior 45°	Oblíqua Inferior esquerda	Oblíqua Inferior direita
Cristalino direito	3,8E-02	2,7E-03	2,4E-03	9,4E-02
Cristalino esquerdo	3,9E-02	2,7E-03	9,4E-02	2,4E-03
Gl. Parótida esquerda	9,3E-04	4,6E-03	6,4E-03	6,7E-04
Gl. Parótida direita	9,2E-04	4,7E-03	6,7E-04	6,3E-03
Gl. Submandibular direita	1,9E-02	3,3E-01	1,4E-02	1,3E-01
Gl. Submandibular esquerda	1,9E-02	3,3E-01	1,3E-01	1,4E-02
Gl. Sublingual direita	6,2E-01	3,1E-01	3,1E-01	2,1E-01
Gl. Sublingual esquerda	6,2E-01	3,1E-01	2,1E-01	3,1E-01
Glândulas Salivares (Total)	4,2E-02	1,3E-01	4,0E-02	4,0E-02
Glândula Tireoide	8,5E-03	1,7E-02	1,1E-02	1,1E-02
Dose de Entrada na Pele	1,7E+00	1,7E+00	1,6E+00	1,6E+00

ANEXOS

Anexo A - Produções Científicas

1. GUIMARÃES, GB; MACHADO, AT; PEREIRA, BHA; RODRIGUES, BB; TAVARES, OJ; SANTOS, WS; PERINI, AP; NEVES, LP. Mapa de Isodose em Radiografia Periapical Utilizando Simulação Monte Carlo. Anais do Congresso Brasileiro de Metrologia das Radiações Ionizantes, 2021. v.8.
2. MACHADO, AT; PEREIRA, BHA; GUIMARÃES, GB; SANTOS, WS; RIBEIRO, CA.; PERINI, AP; NEVES, LP; Avaliação das doses nos tecidos dos olhos de pacientes odontológicos expostos à radioterapia na região bucomaxilofacial: estudo por simulação de Monte Carlo. Anais I Simpósio de Física Aplicada à Medicina da Universidade Federal de Uberlândia, 2021. v. 1. p. 43-51.
3. MACHADO, AT; GUIMARÃES, GB; SANTOS, WS; PERINI, AP; NEVES, LP. Avaliação das doses em tecidos durante radiografia interproximal: estudo por simulação de Monte Carlo. *Revista Brasileira De Física Médica*, 2022. v. 16, 684. DOI: <https://doi.org/10.29384/rbfm.2022.v16.19849001684>