

A EVOLUÇÃO DA TECNOLOGIA NA RADIOLOGIA ODONTOLÓGICA E SEU IMPACTO PARA A RADIOBIOLOGIA

The evolution of technology in dental radiology and its impact on radiobiology

Rafaela FERLIN¹, Isabelle Cristina Garcia JÚLIO², Guilherme BITENCOURT³, José Lucas Gatti da Silva NÓBREGA⁴, Natalia Bortotti LOUREIRO⁵, Bruna Stuchi Centurion PAGIN⁶

RESUMO

Ao longo do tempo, a quantidade de radiação ionizante recebida pelos indivíduos, oriunda de exames radiográficos médicos e odontológicos, associada à ausência de proteção, podem ocasionar efeitos deletérios consideráveis e com grandes repercussões na saúde. A evolução tecnológica dos aparelhos radiográficos, de analógicos a digitais, trouxe uma diminuição expressiva da dose efetiva de radiação fornecida aos pacientes. Diante disso, o objetivo do presente estudo foi delinear a evolução da Radiologia Odontológica, verificando o impacto desses avanços para a Radiobiologia por meio de uma revisão de literatura narrativa. A pesquisa dos estudos incluídos foi realizada nas bases de dados MEDLINE/Pubmed, LILACS, SCOPUS, BBO e BVS, utilizando os descritores em inglês: “radiographic devices”; “effective dose” e “maxillofacial radiology”. Ressalta-se que a evolução tecnológica, desde os exames bidimensionais até os tridimensionais, contribuiu para o melhor diagnóstico, menor dose de radiação, além de imagens de melhor qualidade, receptores de imagens mais efetivos, sistemas de colimação dos Rx mais convergentes, filtração mais eficiente e diminuição do risco dos efeitos biológicos. Entretanto, considerando o efeito estocástico, o profissional deve ter sempre justificativa para a realização do exame e o benefício fornecido ao paciente deve ser sempre maior que o risco, considerando cada caso individualmente.

Palavras-chave: Proteção radiológica. Radiobiologia. Tecnologia em saúde.

ABSTRACT

Over time, the amount of ionizing radiation received by individuals from medical and dental radiographic exams, associated with the lack of protection, may cause considerable deleterious effects with great repercussions on health. The technological evolution of radiographic equipment, from analog to digital, has brought a significant decrease in the effective radiation dose delivered to the patients. Therefore, the objective of the present study was to outline the evolution of dental radiology, verifying the impact of these advances on radiobiology by means of a narrative literature review. The search for the included studies was carried out in MEDLINE/Pubmed, LILACS, SCOPUS, BBO and BVS databases, using the English descriptors: "radiographic devices"; "effective dose" and "maxillofacial radiology". It is noteworthy that the technological evolution, from two-dimensional to three-dimensional scans, has contributed to better diagnosis, lower radiation dose, besides better quality images, more effective image receptors, more convergent X-ray collimation systems, more efficient filtration, and decreased risk of biological effects. However, considering the stochastic effect, the professional should always have justification for the exam and the benefit provided to the patient should always be greater than the risk, considering each case individually.

Keywords: Radiation Protection; Radiobiology; Technology, Health Care.

¹ Mestre e Doutoranda em Ciências da Reabilitação pelo Hospital de Reabilitação de Anomalias Craniofaciais da Universidade de São Paulo, HRAC-USP

² Residente em Síndromes e Anomalias Craniofaciais do Hospital de Reabilitação de Anomalias Craniofaciais da Universidade de São Paulo, HRAC-USP.

³ Residente em Síndromes e Anomalias Craniofaciais do Hospital de Reabilitação de Anomalias Craniofaciais da Universidade de São Paulo, HRAC-USP

⁴ Residente em Síndromes e Anomalias Craniofaciais do Hospital de Reabilitação de Anomalias Craniofaciais da Universidade de São Paulo, HRAC-USP

⁵ Mestre em Ciências da Reabilitação pelo Hospital de Reabilitação de Anomalias Craniofaciais da Universidade de São Paulo, HRAC-USP

⁶ Seção de Diagnóstico Bucal do Hospital de Reabilitação de Anomalias Craniofaciais da Universidade de São Paulo (HRAC-USP). Doutorado e Mestrado em Estomatologia pela Faculdade de Odontologia de Bauru, FOB-USP. Especialização em Radiologia Odontológica e Imaginologia pelo HRAC-USP



INTRODUÇÃO

A história da Radiologia começou em novembro de 1895, com o físico alemão Wilhelm Conrad Röntgen, enquanto trabalhava com tubos de raios catódicos: quando os raios atingiram uma placa de bário, que é um material fluorescente, ela brilhou e, ao desligar o tubo, o brilho sumiu. Essa luminosidade persistiu quando ele colocou um livro e uma folha de alumínio entre o tubo e a placa. Dessa forma, por desconhecer a origem dos raios que formavam a luminescência, os denominou de raios X (LANGLAND; LANGLAIS; PREECE, 2002). A aplicabilidade dos raios X na Medicina e na Odontologia tem fins diagnósticos (radiografias e tomografias computadorizadas) e terapêuticos (radioterapia, braquiterapia e medicina nuclear) (FREITAS; ROSA; SOUZA, 2004). No diagnóstico de doenças, os exames de imagem são importantes métodos complementares para identificar diferentes situações. A radiografia dentária, por exemplo, é um meio eficaz para a identificação de cáries dentárias, infecções nos ossos, patologias radiculares, traumas e muitos outros problemas (CHAUHAN; WILKINS, 2019).

Os benefícios diagnósticos em Odontologia são significativos quando o exame radiográfico é indicado e usado apropriadamente, mas a exposição à Radiação Ionizante (RI) não é totalmente livre de riscos biológicos (CRANE; ABBOTT, 2016). Ainda na época do desenvolvimento inicial da Radiologia Odontológica, após a administração de incontáveis radiografias, com um tempo de exposição consideravelmente longo e sem nenhuma proteção, os efeitos deletérios da radiação começaram a aparecer. Röntgen foi um exemplo disso, sendo acometido por um tumor maligno no duodeno, possivelmente devido à grande quantidade de RI recebida na região (FREITAS; ROSA; SOUZA, 2004; BOLNER, 2011). Mais tarde, um estudo de populações expostas a altos níveis de RI, como as de Hiroshima e Nagasaki, que receberam bombas atômicas na Segunda Guerra Mundial, demonstrou que a radiação pode ser responsável por doenças, sendo o câncer uma delas (LUDLOW et al., 2008).

Por oportuno, com o passar dos anos, a Radiologia passou por um importante processo de transformação. Desde a descoberta dos raios X por Röntgen, em 1895, diversos equipamentos foram desenvolvidos, analógicos e digitais, assim como métodos de avaliação e interpretação de imagens (ALVARES; TAVANO, 2000). As tecnologias digitais trouxeram a evolução dos receptores de imagem, com o aprimoramento da qualidade de imagem, e consequente diminuição do tempo de exposição e das doses de radiação (OKANO; SUR, 2010).

Diante do exposto, o objetivo do presente estudo é realizar uma revisão de literatura narrativa, delineando a evolução tecnológica da Radiologia Odontológica, a fim de verificar seu impacto na Radiobiologia.

MATERIAL E MÉTODOS

Foi realizada uma revisão de literatura, do tipo narrativa, com busca nas bases de dados MEDLINE/Pubmed, LILACS, SCOPUS, BBO e BVS de acordo com a questão norteadora: “Quais as repercussões da evolução dos sistemas radiográficos para a radiobiologia?”. Posto isso, foram selecionados artigos publicados em português e inglês entre o período de 2002 a 2022. A busca foi feita até setembro de 2022. Os descritores utilizados na busca bibliográfica foram “radiographic devices”; “effective dose” e “maxillofacial radiology”, interceptados pelos operadores booleanos AND, OR e AND NOT.

Os critérios pré-estabelecidos para os artigos incluídos foram: acesso ao texto na íntegra, clareza, detalhamento metodológico e relevância à área de interesse, estudos comparativos de doses de radiação em aparelhos radiográficos odontológicos; estudos sobre dose efetiva de radiação ionizante de cabeça e pescoço; estudos dos últimos 20 anos (2002 a 2022); estudos sobre radioproteção; estudos em humanos e pertinentes ao tema: aparelhos radiográficos, radiologia odontológica e dose efetiva de radiação.

DESENVOLVIMENTO

Revisão de Literatura

A biologia das Radiações Ionizantes (RIs) traz à tona estudos dos seus diversos efeitos sobre as células e os tecidos vivos, tanto no seu potencial de gerar danos, quanto na sua finalidade terapêutica (TOLEDO; FERRAGUT; ALMEIDA, 2018). Os efeitos da radiação no corpo humano são complexos e dependem do tipo, da intensidade e da energia emitida. A radiação é chamada de ionizante pela elevada energia, uma vez que é capaz de penetrar na matéria, ionizar os átomos, romper ligações químicas e causar danos nos tecidos biológicos. A exposição às doses elevadas de RI pode resultar na destruição celular (efeito determinístico) e, a partir da ação somática de doses relativamente baixas, pode levar à indução do câncer (efeito estocástico) (ALVARES; TAVANO, 2000).

Dessa forma, a energia da radiação deve ser suficiente para que, durante a interação com o átomo, ela possa remover elétrons fortemente vinculados à sua órbita, fazendo com que o átomo se torne carregado ou ionizado. Há vários modos pelos quais o átomo instável pode desintegrar-se para uma configuração mais estável, variando em: partículas alfa, beta, radiação gama e raios X. Essas radiações podem interagir diretamente com os componentes celulares, sendo seu efeito considerado direto ou indireto (pela radiólise da água) (SEGRETO; SEGRETO, 2000).

A quantidade de atividades de um radioisótopo é expressa a partir do número de desintegrações que o núcleo sofre por unidade de tempo, e a exposição é uma medida da

capacidade dos fótons (raios X e gama) para produzir ionização no ar. Logo, deve-se levar em consideração o tempo de exposição do paciente aos raios X, bem como a dose recebida. Essa dose se refere à quantidade de energia absorvida ou depositada por unidade de massa. A partir disso, determina-se o fator de qualidade (FQ), que é usado para relacionar a dose absorvida de radiação com os danos biológicos causados nos tecidos expostos (MOREIRA, 2011).

Com o advento das tecnologias digitais, observou-se uma melhora significativa dos receptores de imagem de raios X, na qualidade da imagem, além de uma redução da dose efetiva e de resíduos radiográficos, o que, por sua vez, ocasionou um menor impacto ambiental (SANNOMIYA, 2009). A otimização das configurações nos aparelhos pode diminuir o tempo de exposição e, conseqüentemente, menores doses fornecidas ao paciente (OKANO; SUR, 2010). Contudo, mesmo com o uso de tecnologias aprimoradas e doses mais baixas, sabe-se dos riscos à saúde associados a uma alta frequência de exposição à RI nos exames odontológicos, principalmente, dos exames tridimensionais (CHAUHAN; WILKINS, 2019).

Os receptores de imagem digital (com receptor de imagens sólido ou de placas de fósforo), quando comparados ao método convencional (placas de fósforo), são mais sensíveis à RI, ou seja, são necessárias menores doses de exposição para se obter imagens com a mesma qualidade de diagnóstico ou até superiores que a radiografia convencional (HAITER-NETO; MELO, 2010).

Outro fator importante está em minimizar doses desnecessárias através do recurso de colimação nos aparelhos radiográficos, pois ao limitar a área de exposição, se a indicação de exame radiográfico permitir, a dose eficaz pode ser diminuída em aproximadamente 87%, dependendo do quadro clínico (BENCHIMOL *et al.*, 2018). A função de colimação pode ser ainda mais aplicável em crianças, uma vez que correm um risco potencialmente maior do que os adultos devido à maior expectativa de vida e à maior radiosensibilidade. O estudo de Benchimol *et al.* (2018), avaliou a dose efetiva para uma imagem panorâmica em tamanho real e nove protocolos panorâmicos diferentes, usando a função de colimação, evidenciando que esse recurso diminui a dose de RI e deve ser utilizada rotineiramente nas clínicas odontológicas. Logo, a otimização da dose é altamente desejável.

Os avanços tecnológicos trouxeram mudanças na tecnologia do sensor, um campo de visão menor (dependendo da aplicação) e técnica de radiação pulsada, seguindo o princípio de dosagem ALARA: "tão baixo quanto razoavelmente possível" (LUDLOW *et al.*, 2008). Além disso, vários protocolos de exposição foram elaborados pelos fabricantes, tais como: modo criança, modo adulto, modo de alta definição e modo endodôntico, o qual são personalizados com o intuito de facilitar para o técnico em radiologia a escolha dos parâmetros mais adequados, visando à exposição desnecessária ao paciente.

Diante do exposto, as tabelas 1 e 2 tipificam as principais evoluções nos sistemas radiográficos e seus impactos na radiobiologia.

Tabela 1: Fatos históricos evidenciando a evolução dos exames de imagem na Radiologia Odontológica e as vantagens para a Radiobiologia

Ano	Fato	Receptor de Imagem	Tempo de Exposição	Vantagens para Radiobiologia	Realizador
¹ 1895	1ª radiografia intrabucal da história	Usando uma placa de vidro com emulsão fotográfica, envolvida com papel preto e lenço de borracha	25 min	Não existia princípios de Radioproteção	Dr. Otto Walkhoff
¹ 1896	1ª radiografia dentária nos EUA – início de experimentos	Não mencionado	Não citado	Percepção dos efeitos deletérios da radiação	Dr. Edmund kells
¹ 1896	1ª radiografia dentária nos EUA com filme	Filme Radiográfico em Rolo “Eastman NC Rool Film, envolto em papel preto	Não citado	-	Dr. W. J. Morton
² 1898-1904	Surgimento dos princípios de Radioproteção Odontológica	Realizou experimentos em animais	-	Sugeriu uso de colimadores; inserção de chumbo no tubo de raios X; óculos radiopacos e irradiar apenas a área de interesse.	Dr. William Herbert Rollins.
¹ 1907	Surgimento da técnica da bisettriz	Não mencionado	Não citado	Dimensões verdadeiras dos dentes	Dr. Antoni Cieszyński
¹ 1913	Primeiro filme de RX	Filme emulsionado em uma só face-surgimento da base de nitrato de celulose	Não citado	-	Eastman Kodak

¹ 1919	Filme de RX moderno	Envelope mais fácil de abertura; cantos arredondados; maior conforto ao paciente	Não citado	Uma folha de chumbo para reduzir radiação secundária	Eastman Kodak
³ 1922	Surgimento da Radiografia Panorâmica - Panoramic X-Ray	Tentativa com filme intraoral	Não citado	Em um exame inclui arcada superior e inferior	Frank, Zulauf Alvin
¹ 1923	Surgimento filme com diferentes velocidades	Eastman Non Curling Dental X-Ray film	Velocidades regular e extrarrápido	Diminuir tempo de exposição aos Raios X	Eastman Kodak
¹ 1925	Surgimento da Técnica radiográfica interproximal	Filme interproximal lançado pela Kodak	Não citado	Melhor visualização das faces interproximais dentárias	Dr. Howard Rapper
³ Início déc de 1950	Surgimento da Radiografia Panorâmica Rotativa Extraoral	Filme extraoral	Não citado	Muitas aplicabilidades na odontologia	Dr. Paatero
⁴ 1972	Tomografia Computadorizada (TC) – 1ª geração	Um tubo de raio x.; um a três detectores e um feixe reto	5 min	Maior dose de radiação comparado aos exames bidimensionais	Dr. Godfrey Newbold Hounsfield & Allan Comark
¹ 1973	Ecrans Intensificadores nas radiografias extrabucais	Kodak X-Omatic Screens	Intensifica a ação dos Raios-X na faixa azul e ultravioleta	Redução do tempo de exposição e redução da dose de radiação	Kodak[BC1]
⁴ 1974	TC 2ª geração	30 detectores – feixe em leque	20 seg a 3min cada corte	Aquisição tomográfica mais rápida que a TC 1ª geração	Dr. Robert S. Ledley
⁴ 1975	TC 3ª geração	960 detectores – feixe em leque	2 a 10 seg por corte	Redução do tempo de exposição e redução da dose de radiação	Não citado
⁶ Início déc 80	Primeiras radiografias eletrônicas	Sistema intraoral com fibra ótica e tela	Não citado	Facilitou a aquisição dos exames de	Equipe de Paul Van de Stelt

		cintiladora		imagem	
⁶ 1987	1º sistema digital na odontologia- Tecnologia Sensor CCD intraoral RadioVisioGraphy (RGV)	Redimensionou a imagem de luz visível de uma tela intensificadora de 17 × 26mm até os 9 × 13 mm do sensor CCD, através de uma fibra óptica curta em forma de pirâmide truncada. Todo o detector, com 14 mm de espessura, poderia assim ser acomodado dentro da cavidade oral.	Reduziu o tempo de trabalho e aquisição das imagens	Praticidade, principalmente na endodontia; Exclui a necessidade de processamento químico;	Dr. Francis Mouyen
⁷ 1994	Primeiro sistema por placa de fósforo (PSP) na Odontologia	A base de funcionamento se dá através de um armazenamento de radiação, com liberação posterior de luminescência visível por fotoestimulação	0,1 seg	Exige menor dose de radiação em comparação com o filme radiográfico	Soredex (Digora Systems)
¹ 1995-2000	Surgimento dos filmes radiográficos de velocidade E/F	Filmes Ectaspeed Plus e Insight	Reduziu consideravelmente tempo de exposição	Redução do tempo de exposição e redução da dose de radiação	Kodak
⁵ 1998	Surgimento da Tomografia computadorizada de feixe cônico TCFC	Feixe em forma de cone; um detector e realiza um giro de 360° ao redor do paciente	3 a 6 seg	Alta acurácia das imagens e dose de radiação equivalente a 1/6 da liberada pela TC tradicional.	Pierluigi Mozzo & Yoshinori Arai

⁷ 2003	Fontes de raios X odontológicas portáteis	Tubo de raios X portátil	Não citado	Inicialmente dedicado a área forense- gera discussões e preocupações acerca da segurança de radiação.	Clark Turner
-------------------	---	--------------------------	------------	---	--------------

Fontes: ¹ (BOLNER, 2011); ² (KATHREN, 1964); ³ (HALLIKAINEN, 1996), ⁴(GOLDMAN, 2007); ⁵ (GARIB, 2007); ⁶ (MOLTENI, 2021); ⁷ (ROSS, 2018).

Tabela 2: Principais evoluções atribuídas aos exames de imagem mais utilizados na odontologia, com a finalidade de reduzir a dose efetiva de radiação ionizante

Aparelho Radiográfico	Evolução dos aparelhos para a Radiobiologia	Dose de radiação Dose Efetiva (µSv) ¹
Periapical	<ul style="list-style-type: none"> Filmes convencionais velocidades E/F; Receptores digitais; Sistemas de colimação e filtração dos Raios X; Cilindros localizadores de extremidade aberta; Permite ajuste de Tensão, mA e tempo de exposição; 	Colimação Retangular Boca inteira: PSP ou filme de velocidade F 35µSv[BC1]
Panorâmica	<ul style="list-style-type: none"> Filmes convencionais – Ecrans intensificadores; Grades antidifusoras; Receptores digitais; Telas intensificadoras; Permite ajuste de Tensão, mA e tempo de Exposição Aparelhos com opções de autoajuste (criança, adulto com diversas estaturas, edêntulos). 	9-24µSv
TC	<ul style="list-style-type: none"> Evoluiu para diversas gerações de tomógrafos, os quais buscaram reduzir o tempo de exposição e, conseqüentemente, a dose de radiação. Aplicabilidade médica e odontológica; 	Cabeça 850-1.500µSv
TCFC	<ul style="list-style-type: none"> Redução de tamanho Permite ajuste do FOV Desenvolvida para a região dentomaxilofacial; Menor dose de radiação em relação à TC. 	FOV Grande 68-1073µSv

Legenda: ¹Dose efetiva: medida da quantidade de radiação recebida por diversos órgãos radiosensíveis durante a execução de um exame radiográfico. Fonte: White e Pharoah, (2015).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram verificados 50 artigos correspondentes com os descritores utilizados, sendo que 14 se adequaram aos critérios de inclusão pré-estabelecidos (quadro 1).

Quadro 1: Estudos encontrados, em setembro de 2022, sobre aparelhos radiográficos e doses de radiação para a área da Radiologia Odontológica – objetivos e principais resultados

Autor/ Ano	Objetivo	Principais Resultados
Lee et al., 2021	Comparar as doses efetivas de radiografias ortodônticas (panorâmicas, Cefalometrias e TCFC) em crianças, adolescentes e adultos, por meio de dosímetros e ICRP 2003.	<ul style="list-style-type: none"> • Para as panorâmicas, a glândula parótida teve a maior dose absorvida na criança e as glândulas submandibulares tiveram a maior dose absorvida tanto no adolescente quanto no adulto. • Para a cefalometria, os órgãos e tecidos localizados mais próximos do tubo de raios X apresentaram os maiores valores de dose absorvida. • Para as TCFCs, as lentes dos olhos receberam a maior dose absorvida. • Doses efetivas com TCFC foram as maiores no adolescente, seguidas pelos adultos e crianças. • Pacientes mais jovens incorrem em maiores riscos de radiação.
Johnson et al., 2020	Avaliar doses efetivas de tomossíntese intraoral convencional (TIC) e estacionária (TIE) para exames interproximais.	<ul style="list-style-type: none"> • Para exames interproximais, a dose efetiva para TIE foi menor do que para TIC, com colimação circular, porém maior do que para radiografia convencional com colimação retangular. • O TIE, que produz um rendimento diagnóstico substancialmente maior com informações tridimensionais, produziu uma dose significativamente menor do que a TIC. • As aplicações potenciais da TIE na melhoria dos resultados diagnósticos são muito promissoras.
Jacobs et al., 2018	Recomendações do uso da TCFC para a implantodontia	<ul style="list-style-type: none"> • A TCFC é justificada para o diagnóstico, planejamento e transferência pré-operatória, na reabilitação com implantes orais.
Benchimol et al., 2018	Avaliar a dose efetiva para uma imagem panorâmica em tamanho real e nove protocolos panorâmicos diferentes usando a função de colimação.	<ul style="list-style-type: none"> • A dose efetiva de uma radiografia panorâmica em tamanho real foi de 17,6 μSv usando parâmetros de exposição de 8 mA e 66 kV. • A redução da dose para as imagens colimadas em comparação com uma radiografia panorâmica em tamanho real variou de 4,5 a 86,9%. • O recurso de colimação da imagem panorâmica deve ser aplicado rotineiramente quando a tarefa diagnóstica permitir.

Hedesiu et al., 2018	Estimar doses e riscos para exames radiológicos odontológicos (intraorais, cefalométricos, panorâmicas e TCFCs) em crianças.	<ul style="list-style-type: none"> • As doses efetivas médias e cumulativas para radiografias bidimensionais foram inferiores a 20 μSv e não variaram com a idade; • As crianças expostas à TCFC tiveram uma dose efetiva mediana mais alta (127,2 μSv) e dose cumulativa (156,5 μSv) com um aumento significativo da dose cumulativa entre 11 e 14 anos.
Jadu et al., 2018	Investigar mudanças na dose efetiva de radiação em relação às variações nas configurações de tamanho de voxel (VOX) – 02, 03 e 04mm - e a centralização do campo de visão (FOV) da TCFC.	<ul style="list-style-type: none"> • Uma relação inversa e indireta foi encontrada entre dose efetiva e a configuração de tamanho de voxel (voxel menor produz dose maior). • TCFC centrada na mandíbula resultaram em maior dose efetiva do que varreduras centradas na maxila. • As doses efetivas de radiação são afetadas por mudanças nas configurações de tamanho de voxel e opções de centralização de FOV, refletindo no risco potencial de radiação para os pacientes • Destaca a importância de escolher cuidadosamente os parâmetros de exposição.
Almashraqi et al., 2017	Avaliar a dose de radiação e a qualidade da imagem de diferentes protocolos de imagem com TCMD e TCFC em comparação com o protocolo padrão para imagens do seio maxilar.	<ul style="list-style-type: none"> • Os protocolos de TCMD e TCFC de baixa dose são métodos viáveis para o exame do seio maxilar que produzem uma boa qualidade de imagem diagnóstica usando dose efetiva 7 e 11 vezes menor que a TCMD padrão, respectivamente. centralização de FOV, refletindo no risco potencial de radiação para os pacientes • Destaca a importância de escolher cuidadosamente os parâmetros de exposição.
Makdissi et al., 2016	Investigar o nível de dose do operador ao usar um aparelho de raios X portátil em várias posições.	<ul style="list-style-type: none"> • Houve um aumento insignificante nos níveis de exposição do operador usando dispositivos portáteis de raios X que permanecem bem abaixo dos níveis recomendados pelos Regulamentos de Radiação Ionizante de 1999. • A posição do dispositivo em relação ao operador tem um efeito significativo na exposição geral à radiação do operador. • O uso de dosímetros pessoais é altamente recomendado para garantir a continuidade da exposição a baixas doses de radiação. • Orientação, treinamento e protocolos de uso devem estar em vigor, rigorosamente seguidos e auditorias regulares são necessárias para garantir a conformidade.

Branco & Mallya, 2012	Atualização sobre os efeitos biológicos da radiação ionizante, fatores de dose relativa e higiene da radiação	<ul style="list-style-type: none"> • Apenas fazer radiografias quando houver uma razão específica em que a radiografia oferecerá informações exclusivas que influenciam o diagnóstico ou o tratamento; • Imagem intraoral - usar filmes rápidos ou sensores digitais, colares de tireoide, colimação retangular; • Imagens cefalométricas panorâmicas e laterais - use sistemas digitais ou combinações de tela de filme de terras raras; • TCFC - use máquinas de baixa dosagem, restrinja o tamanho do FOV, reduza o mA e o comprimento do arco de exposição conforme apropriado.
Jadu et al., 2010	Comparar as doses efetivas de radiação da sialografia das glândulas parótida e submandibular usando radiografia simples e TCFC.	<ul style="list-style-type: none"> • As doses efetivas dos exames de TCFC centrados nas glândulas parótidas e submandibulares foram semelhantes às calculadas para sialografia de radiografia simples quando utilizado um FOV de 15 cm e parâmetros de exposição de 80 kVp e 10 mA.
Okano et al., 2009	Estimar a dose efetiva do exame radiográfico intraoral e panorâmica para glândulas salivares da região oral e maxilofacial de acordo com as diretrizes da ICRP 103 e 60.	<ul style="list-style-type: none"> • A exposição durante a radiografia intraoral variou de 4 a 8 μSv e a panorâmica variou de 16 μSv na ICRP 103. • As doses efetivas na ICRP 103 foram maiores do que na 60. • A dose efetiva calculada na ICRP 103 foi de 1,6 a 4,5 vezes maior na radiografia intraoral e 2,2 vezes maior na radiografia panorâmica em relação a ICRP 60. • As glândulas salivares influenciaram muito o valor das doses efetivas de radiografia neste estudo.
Ludlow, 2008	Comparar 2 medidas de dose efetiva, ICRP 60 (1990) e ICRP 103 (2007), para 8 unidades de TCFC dentoalveolar e maxilofacial e uma unidade de TCMD de 64 cortes.	<ul style="list-style-type: none"> • A TCFC da ICRP 103 de FOV grande variou de 68 a 1.073 μSv. • A TCFC de FOV médio (103) variou de 69 a 560 μSv. • TCMD de FOV semelhante à TCFC - 860 μSv]. • Os cálculos da ICRP 103 foram 23% a 224% maiores que os da ICRP 60; • As recomendações da ICRP 103, que incluem glândulas salivares, região extratorácica e mucosa oral, no cálculo da dose efetiva, resultam em uma reavaliação ascendente do risco de câncer fatal a partir de exames radiográficos bucomaxilofaciais.

Ludlow et al., 2008	Reavaliar o risco dos pacientes relacionado a exposições radiográficas odontológicas comuns usando as recomendações da ICRP de 2007.	As doses efetivas (de acordo com o ICRP 2007) em microsievverts foram as seguintes: <ul style="list-style-type: none"> • radiografias de boca inteira com armazenamento de fósforo fotoestimulável ou filme F-speed com colimação retangular, 34,9 μSv; • bitewings posteriores de quatro imagens com filme PSP ou F-speed com colimação retangular, 5,0 μSv; • radiografia boca toda usando filme PSP ou F-speed com colimação redonda, 170,7 μSv e com filme D-speed e colimação redonda, 388 μSv; • Orthophos XG panorâmico (Grupo Sirona, Bensheim, Alemanha) com dispositivo de carga acoplada (CCD), 14,2 μSv; • ProMax panorâmico (Planmeca, Helsinki, Finlândia) com CCD, 24,3 μSv; • cefalograma posteroanterior com PSP, 5,1 μSv; e cefalograma lateral com PSP, 5,6 μSv. • Esses valores são 32 a 422% mais altos do que a ICRP de 1990.
Mupparapu, 2005	Resumir as diretrizes mais recentes (dezembro de 2003) de raios-x odontológicos do relatório nº 145 do Conselho Nacional de Proteção e Medidas de Radiação.	<ul style="list-style-type: none"> • O projeto do equipamento pode desempenhar um papel importante na proteção contra radiação e as recomendações das diretrizes foram discutidas.

Atualmente, apesar de existirem artigos a respeito dos efeitos da RI e seus impactos na Radiobiologia, o presente trabalho traz inovações, como um contexto histórico importante da evolução da Radiologia Odontológica (tabela 1), não encontrado em nenhum outro estudo da literatura e, além de uma pesquisa com atualizações recentes sobre o que está sendo publicado e os principais resultados científicos nesse contexto (quadro 1). Nota-se que a maioria dos trabalhos publicados se preocupam em estimar a dose efetiva de radiação de um determinado equipamento, comparar diferentes protocolos utilizados, estabelecer critérios de uso e indicações para exames que emitem maior radiação, dentre outros. Isso é fundamental visto que o avanço tecnológico alcançado com os aparelhos de radiografia odontológica possui um impacto direto na Radiobiologia, por reduzir a necessidade de realização de tomadas radiográficas desnecessárias; evitar repetição de exames; redução no tempo de exposição e, conseqüentemente, menor dose de RI emitida; ao processamento simplificado e à obtenção de imagens de melhor qualidade (SANNOMIYA, 2009).

É notório que a transição da “Era analógica” para a “Era Digital” trouxe inúmeras vantagens, dentre as quais estão: (1) a possibilidade de manipulação da imagem para que as informações nela contidas tornem-se mais facilmente detectáveis; (2) a facilidade para mensurações

e cálculos a respeito de dimensões e variações de densidade; (3) a eliminação da necessidade de câmara escura e do processamento químico - a segunda maior causa de repetição de radiografias convencionais; (4) a redução de até 80% da dose de radiação utilizada para obtenção da imagem e; (5) a agilização dos processos de arquivamento, comparações, obtenção de cópias e transmissão a distância. Já a sua maior desvantagem é o alto custo dos equipamentos (GALLASSINI, 2005).

Cabe ressaltar que a TCFC representa um avanço significativo na área do diagnóstico por imagem. Trata-se de um tomógrafo relativamente pequeno e de menor custo, especialmente indicado para a região dentomaxilofacial. Esta tecnologia permite a reprodução da imagem tridimensional dos tecidos mineralizados, com mínima distorção e dose de radiação significativamente reduzida em comparação à tomografia computadorizada tradicional (TC), utilizada na Medicina (SCARFE; FARMAN; SUKOVIC, 2006). Entretanto, ocorre uso indiscriminado desta tecnologia tridimensional devido à falta de diretrizes mais rígidas - ou mesmo a de conhecimento delas -, e a desinformação sobre o seu papel na Odontologia, uma vez que o exame simplesmente para alguns profissionais se tornou um substituto para a radiografia convencional. Um exemplo disso é o uso rotineiro da TCFC para diagnóstico e planejamento de cirurgia de terceiro molar inferior impactado, sem avaliação prévia na radiografia panorâmica e sem evidência de envolvimento do canal mandibular com as raízes do dente impactado (LUDLOW et al., 2006; JAJU et al., 2017).

Por isso, recomenda-se que a TCFC seja utilizada como uma técnica de imagem complementar quando a radiografia convencional não responder à pergunta para a qual a imagem foi realizada. Considerando que esta técnica ainda apresenta uma dose de radiação muito maior em comparação aos exames bidimensionais, é ainda mais importante que se entenda a justificativa da exposição do paciente, a otimização da dose e a proteção da equipe contra a radiação (HORNER et al., 2015). É fundamental, para os profissionais de saúde, pesar o benefício potencial das informações de diagnóstico em relação às despesas e riscos (LUDLOW et al., 2006; JAJU et al., 2017). Além disso, como identificado no quadro 1, o tamanho do FOV utilizado e voxel influenciam na qualidade do exame, bem como na dose de RI emitida ao paciente. Logo, o profissional precisa deixar claro no pedido, ao solicitar um exame de TCFC ao paciente, o motivo de sua necessidade, o que precisa identificar no exame e, se possível com informações adicionais, como a queixa do paciente e histórico clínico, a fim de que o Radiologista e técnico utilizem os protocolos ideais para responder à pergunta do profissional e sem exposição desnecessária ao paciente em questão.

Ademais, na literatura, existem guias de indicação da TCFC para a prática clínica, como do projeto SEDENTEXCT, da Comissão Europeia (EUROPEAN..., 2012). Além de desenvolverem diretrizes baseadas em evidências, os objetivos do projeto visam a determinar a dose, com ênfase na dosimetria pediátrica; realizar estudos de precisão diagnóstica; desenvolver um programa de

garantia de qualidade, incluindo a definição de protocolos de exposição; e fazer uma avaliação de custo-benefício em comparação com os métodos convencionais de radiografia (EUROPEAN ..., 2012).

Previamente a isso, a Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP), em 2007, propôs um sistema de proteção radiológica com os princípios da justificativa, otimização e limitação da dose. Os dois primeiros estão relacionados à fonte de radiação, e se aplicam a todas as situações de exposição. Na justificativa, qualquer decisão que altere a situação de exposição à radiação deve fazer mais bem do que mal, ou seja, a introdução de uma nova fonte de radiação, a redução da exposição ou do risco de exposição potencial, deve trazer benefícios individuais ou sociais suficientes para compensar seus prejuízos. Na otimização, a probabilidade de exposições à radiação, o número de pessoas expostas e a magnitude das doses individuais devem ser mantidas tão baixas quanto razoavelmente possível, levando em consideração fatores econômicos e sociais. O nível de proteção deve ser o melhor nas circunstâncias prevaletes, com o máximo de benefício sobre o dano.

A fim de evitar resultados gravemente desiguais no procedimento de otimização, devem haver restrições nas doses ou riscos para os indivíduos de uma fonte específica e níveis de referência. Já o princípio da limitação da dose, por sua vez, está relacionado ao indivíduo, e se aplica a situações de exposição planejada. Nele, a dose total de radiação para qualquer indivíduo, proveniente de fontes regulamentadas e em situações de exposição planejada não-médica, não deve exceder os limites apropriados recomendados pela Comissão.

Nota-se, no quadro 1, que existem comparações de medidas de doses efetivas de valores publicados na ICRP 60 (realizada em 1990) com a ICRP 103 (de 2007). O sistema de proteção da Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP) foi atualizado e elaborado na Publicação 103 (ICRP, 2007). Esse sistema de proteção objetivou alcançar as pessoas e o meio ambiente contra os efeitos da exposição à RI. A importância do surgimento da ICRP é indiscutível, pois ela destina-se ao gerenciamento e controle das exposições à RI, de forma que os efeitos determinísticos sejam evitados e os riscos dos efeitos estocásticos sejam reduzidos tanto quanto possível (COOL, 2015). Por isso, atualizar e inteirar-se sobre as diretrizes existentes, de acordo com o surgimento de novas tecnologias, protocolos e novas necessidades no campo da saúde torna-se imprescindíveis a todos os profissionais da odontologia.

CONCLUSÃO

Observa-se que os avanços tecnológicos na radiologia odontológica contribuíram para o diagnóstico e radioproteção. A presença de dispositivos como sistemas de colimação, filtração,

ajuste dos parâmetros de tempo, tensão e voltagem, campo de visão (na TCFC), reduziram significativamente a dose de radiação nos indivíduos e melhoraram a qualidade dos exames. A inclusão dos sistemas digitais permitiu receptores de imagem que exigem menor tempo de exposição, contribuindo também, para a redução da dose efetiva. Entretanto, apesar dos riscos desses exames serem pequenos, eles existem e não devem ser ignorados. Os princípios de justificativa, otimização e limitação da dose, precisam ser seguidos pelos profissionais, onde o benefício da exposição à radiação ionizante seja maior que o risco inerente a qualquer dose exposta ao indivíduo, sempre com o raciocínio de que os critérios de seleção do exame de imagem devem ser individuais.

REFERÊNCIAS

ALVARES, L. C.; TAVANO, O. **Curso de radiologia em odontologia**. São Paulo: Santos, 2000.

BENCHIMOL, D. Et al. Effective dose reduction using collimation function in digital panoramic radiography and possible clinical implications in dentistry. **Dentomaxillofacial radiology**, v. 47, n. 7, 2018.

BOLNER, R. C. N. C. **Contextualização histórica da radiologia odontológica**. 2011. Monografia (Especialização em Radiologia Odontológica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

CHAUHAN, V., WILKINS, R. C. A comprehensive review of the literature on the biological effects from dental X-ray exposures. **International Journal of Radiation Biology**, v. 95, n. 2, p. 107-119, 2019.

COOL, D. A. Review of the ICRP system of protection: the approach to existing exposure situations. **Annals of the ICRP**, p. 179-187, Jun. 2015.

EUROPEAN COMMISSION. Cone Beam CT for dental and maxillofacial radiology: Evidence-based guidelines. **Radiation Protection**, n. 172, 2012.

FREITAS, A.; ROSA, J. E.; SOUZA, I. F. **Radiologia odontológica**. São Paulo: Artes Médicas, 2004.

GALLASSINI, L. L. **Análise da influência de diferentes resoluções e modos de visualizações na obtenção de medidas lineares em radiografias panorâmicas digitalizadas**. 2005. Dissertação (Mestrado em Odontologia) - Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2005.

GARIB, D. G. et al. Tomografia computadorizada de feixe cônico (Cone beam): entendendo este novo método de diagnóstico por imagem com promissora aplicabilidade na Ortodontia. **Revista Dental Press de Ortodontia e Ortopedia Facial**, v. 12, n. 2, p.139-156, 2007.

GOLDMAN, L. W. Principles of CT and CT technology. **Journal of nuclear medicine technology**, v. 35, n. 3, p. 115-128, 2007.

HAITER, F.; MELO NETO, D. Radiografia Digital. **Revista da Associação Brasileira de Radiologia Odontológica**, v. 11, n. 1, p. 5-17, 2010. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/279913111_Radiografia_Digital.

HALLIKAINEN, D. (1996). History of panoramic radiography. **Acta radiologica**, v. 37, n. 3P2, p. 441-445, 1996.

JAJU, P. P.; JAJU, S. P. Cone-beam computed tomography: Time to move from ALARA to ALADA. **Imaging science in dentistry**, v. 45, n. 4, p. 263-265, 2015.

KATHREN, R. L. William H. Rollins (1852–1929): X-ray Protection Pioneer. **Journal of the history of medicine and allied sciences**, v. 19, n. 3, p. 287-295, 1964.

LANGLAND, O. E.; LANGLAIS, R. P.; PREECE, J. W. **Principles of dental imaging**. Filadélfia, Estados Unidos: Lippincott Williams & Wilkins, 2002.

LUDLOW, J. B. et al. Dosimetry of 3 CBCT devices for oral and maxillofacial radiology: CB Mercuray, NewTom 3G and i-CAT. **Dentomaxillofacial radiology**, v. 35, n. 4, p. 219-226, 2006.

LUDLOW, J. B.; DAVIES-LUDLOW, L. E.; WHITE, S. C. Patient risk related to common dental radiographic examinations: the impact of 2007 International Commission on Radiological Protection recommendations regarding dose calculation. **The Journal of the American Dental Association**, v. 139, n. 9, p. 1237-1243, 2008.

MOLTENI, R. The way we were (and how we got here): fifty years of technology changes in dental and maxillofacial radiology. **Dentomaxillofacial radiology**, v. 50, v. 1, 2021.

MOREIRA, J. V. A. **Radiobiologia**: efeito das radiações ionizantes na célula – e formas de protecção das radiações ionizantes. 2011. Dissertação (Mestrado em Medicina) - Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal, 2011.

OKANO, T., SUR, J. Radiation dose and protection in dentistry. **Japanese Dental Science Review**, v. 46, n. 2, p. 112-121, 2010.

SANNOMIYA, E. K. Qual a diferença entre uma radiografia convencional e uma radiografia digital? **Revista Clínica de Ortodontia Dental Press**, v. 8, n. 5, p. 6-15, 2009. Disponível em: <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/lil-541921>.

SCARFE, W. C.; FARMAN, A. G.; SUKOVIC, P. Clinical applications of cone-beam computed tomography in dental practice. **Journal - Canadian Dental Association**, v. 72, n. 1, p. 75-80, 2006. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16480609/>.

SEGRETO, H. R. C.; SEGRETO, R. A. (2000). Revisão e atualização em radiobiologia: aspectos celulares, moleculares e clínicos. **Folha médica**, v. 119, n. 14, p. 9-27. Disponível em: <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/lil-274404>.

TOLEDO, H. V.; FERRAGUT, M. A.; ALMEIDA, D. B. Noções Básicas de Radiobiologia: O Que um Neurocirurgião Precisa Saber? **Jornal Brasileiro de Neurocirurgia**, v. 25, n. 3, p. 193-199, 2018.

WHITE, S. C., PHAROAH, M. J. **Radiologia Oral: Fundamentos e Interpretação**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

Autor correspondente:

Bruna Stuchi Centurion Pagin | brcenturion@usp.br;

Tel.: (13) 98177-2364 | Endereço: R. Silvio Marchione, 3-20 - Vila Nova Cidade Universitaria, Bauru - SP, 17012-900