



UNIVERSIDADE
FERNANDO
PESSOA

RISCOS E BENEFÍCIOS DA RADIAÇÃO EM IMAGIOLOGIA PEDIÁTRICA NA MEDICINA DENTÁRIA - REVISÃO INTEGRATIVA

[Risks and Benefits of Radiation in Pediatric Dental Imaging - Integrative Review]

Dissertação de Mestrado

[Mestrado Integrado em Medicina Dentária]

Joana Graça Correia Cunha

Orientadora:

Professora Doutora Ana Paula Reis

Julho 2025

**RISCOS E BENEFÍCIOS DA RADIAÇÃO EM IMAGIOLOGIA
PEDIÁTRICA NA MEDICINA DENTÁRIA - REVISÃO
INTEGRATIVA**

[Risks and Benefits of Radiation in Pediatric Dental Imaging - Integrative Review]

Dissertação de Mestrado

[Mestrado Integrado em Medicina Dentária]

Joana Graça Correia Cunha

Orientadora:

Professora Doutora Ana Paula Reis

Julho 2025

RESUMO

Introdução: A imagiologia dentária em idade pediátrica assume um papel essencial no diagnóstico precoce, no planeamento terapêutico e na monitorização de patologias orais em crianças. No entanto, a exposição à radiação ionizante nesta faixa etária pode conduzir a riscos biológicos relevantes, em virtude da maior radiosensibilidade dos tecidos em desenvolvimento e da expectativa de vida mais longa, fatores que amplificam a probabilidade de efeitos adversos a longo prazo. **Objetivos:** Avaliar criticamente a literatura científica mais recente sobre a justificação clínica, estimativa de dose e perceção de risco associados à utilização de radiografias dentárias em crianças e adolescentes. **Métodos:** Foi realizada uma revisão integrativa de acordo com as diretrizes PRISMA 2020. A pesquisa foi realizada nas bases de dados *PubMed*, *Scopus*, *Web of Science* e *EBSCO*, utilizando termos MeSH e livres relacionados à radiografia dentária. **Resultados:** Inicialmente, o número total de artigos pesquisado foram 59, posteriormente foram selecionados 12 estudos (2017-2024), principalmente observacionais ou experimentais (CEBM nível 2b), principalmente nos Estados Unidos, Irão, Turquia e Europa. A CBCT foi a técnica mais analisada, sendo designada como a principal fonte de exposição à radiação em crianças. **Conclusões:** A maioria dos estudos utilizou a CBCT, muitas vezes sem justificação clínica suficiente. Foram observadas doses efetivas significativamente mais elevadas em comparação com as técnicas 2D, especialmente em órgãos como a tiroide e as glândulas salivares. Apesar da existência de estratégias eficazes de redução da dose (colimadores, filtros, ajustes de FOV e mAs), a sua implementação foi incompleta. Além disso, foi identificada uma utilização crescente da CBCT, mesmo na ausência de protocolos adequados. A perceção de risco por parte dos profissionais de saúde e dos encarregados de educação foi pouco abordada na literatura disponível, revelando uma potencial lacuna que justifica investigação futura.

Palavras-chave: odontologia pediátrica, CBCT, proteção contra radiações, dose efetiva, ALARA, ALADAIP.

ABSTRACT

Introduction: Dental imaging in paediatric patients plays a vital role in the early diagnosis, therapeutic planning, and monitoring of oral pathologies in children. However, the use of ionizing radiation in this population poses significant biological risks, due to the increased radiosensitivity of developing tissues and the longer life expectancy, which amplifies the risk of long-term adverse effects. **Objectives:** To critically evaluate the recent scientific literature regarding the clinical justification, dose estimation, and risk perception associated with the use of dental radiographs in children and adolescents. **Methods:** An integrative review was conducted following the PRISMA 2020 guidelines. The research was carried out in the PubMed, Scopus, Web of Science, and EBSCO databases, using MeSH terms and free keywords related to dental radiography. **Results:** Initially, a total of 59 records were identified, twelve studies published between 2017 and 2024 were selected, mostly observational or experimental in nature (CEBM level 2b), and conducted primarily in the United States, Iran, Turkey, and Europe. Cone Beam Computed Tomography (CBCT) was the most frequently analyzed technique, identified as the main source of radiation exposure in pediatric dental patients. **Conclusions:** Most studies reported the use of CBCT, often without sufficient clinical justification. Effective doses observed were significantly higher when compared to 2D radiographic techniques, particularly affecting radiosensitive organs such as the thyroid gland and salivary glands. Although there are effective strategies available to reduce radiation dose—such as the use of collimators, filters, and adjustments to the field of view (FOV) and milliampere-seconds (mAs)—their application was found to be partial and inconsistent. Additionally, a growing use of CBCT was noted even in the absence of standardized protocols, highlighting the need for stricter clinical guidelines and greater awareness among professionals regarding radiation risks in pediatric dental imaging. Risk perception among healthcare professionals and caregivers was scarcely addressed in the available literature, revealing a potential gap that warrants further investigation

Keywords: pediatric dentistry, CBCT, radiation protection, effective dose, ALARA, ALADAIP.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Importância da imagiologia na prática da medicina dentária.....	4
1.1.1. Noções básicas de radiação ionizante.....	5
1.1.2. Tipos de exames radiográficos em medicina dentária.....	6
1.1.2.1. Radiografias intraorais.....	6
1.1.2.2. Radiografia panorâmica.....	6
1.1.2.3. Tomografia Computorizada de Feixe Cônico (CBCT)	6
1.2. Especificidade da população pediátrica.....	7
1.3. Efeitos biológicos da exposição	8
1.4. Justificação	9
2. METODOLOGIA.....	11
2.1. Tipo de estudo	11
2.2. Estratégia de pesquisa.....	11
2.3. Critérios de elegibilidade.....	13
2.4. Avaliação da qualidade metodológica.....	13
2.5. Considerações éticas.....	15
3. RESULTADOS	17
3.1. Avaliação do risco de viés	24
4. DISCUSSÃO	27
4.1. Utilização da CBCT na população pediátrica	29
4.2. Dose efetiva e risco estimado de cancro.....	29
4.3. Estratégias de proteção contra as radiações.....	31
4.4. Otimização técnica e qualidade de imagem	32
4.5. Frequência e tendências na utilização de imagens em Odontopediatria	33

5. CONCLUSÕES	35
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 Estratégias de pesquisa em cada base de dados.....	12
Tabela 2 Caracterização dos artigos selecionados.....	18
Tabela 3 Eixos temáticos identificados em 12 estudos	28

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Classificação CEBM	14
Figura 2 Diagrama de fluxo.....	17
Figura 3 Distribuição por técnicas de imagiologia utilizadas.....	22
Figura 4 Distribuição das estratégias de proteção	23
Figura 5 Risco global de viés dos estudos incluídos	25
Figura 6 Risco de viés por estudos incluídos	26

LISTAS DE ABREVIATURAS

μSv	MicroSievert
2D	Bidimensional.
3D	Tridimensional.
AAPD	Academia Americana de Odontopediatria (do inglês American Academy of Pediatric Dentistry).
AC	Corrente Alternada
ADN	Ácido Desoxirribonucleico
ALADA	Tão Baixo quanto Diagnósticamente Possível (do inglês As Low As Diagnostically Achievable)
ALADAIP	Tão Baixo quanto Diagnosticamente Aceitável, Orientado pela Indicação Clínica e Específico para o Paciente (do inglês As Low As Diagnostically Acceptable, being Indication-oriented and Patient-specific).
ALARA	Tão Baixo quanto Razoavelmente Possível (do inglês As Low As Reasonably Achievable).
APD	Dose do Produto de Superfície
BEIR VII	Relatório da Academia Nacional de Ciências dos EUA sobre os efeitos biológicos da radiação ionizante (do inglês Biological Effects of Ionizing Radiation – Report VII).
BM_{Cyt}	Teste do Micronúcleo
CBCT	Tomografia Computorizada de Feixe Cônico (do inglês Cone Beam Computed Tomography).
CDC	Centros de Controle e Prevenção de Doença (do inglês Centers for Disease Control and Prevention)
CEBM	Centro de Medicina Baseada em Evidência de Oxford
DAP	Produto Dose-Área.

DC	Corrente Contínua
DECs	Descritores em Ciências da Saúde
DSB	Danos de Cadeia Dupla
EBSCO	Companhia Elton B. Stephens (do inglês Elton B. Stephens Company)
ERO/ROS	Espécies Reativas de Oxigênio
EUA	Estados Unidos da América
FMX	Radiografia Intraoral
FOV	Campo de Visão (do inglês Field of View).
kV	Kilovolt
kVp	Kilovolt pico.
LAR	Risco Atribuível ao Longo da Vida (do inglês Lifetime Attributable Risk).
mAs	Miliampere-segundo.
MeSH	Cabeçalhos de Temas Médicos (do inglês Medical Subject Headings)
mGy-cm²	MiliGray por Centímetro Quadrado
mm	Milímetro
MSCT	Tomografia Médica Convencional
n	Número
NCRP	Conselho Nacional de Proteção e Medições Radiológicas (do inglês National Council on Radiation Protection and Measurements)
OPG	Ortopantomografia.
OSL	Luminescência Estimulada Opticamente (do inglês Optically Stimulated Luminescence).
PCXMC	Programa de Cálculo de Dose para Exames de Raios X Médicos (utilizado em simulações de Monte Carlo).
PET	Tomografia por Emissão de Positrões (do inglês Positron Emission Tomography)

PRISMA	Itens Preferenciais para Relato de Revisões Sistemáticas e Meta-análises (do inglês Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses)
REID	Risk of Exposure-Induced Death (Risco de Exposição Induzida pela Dose).
RevMan	Gestor de Revisão (do inglês Review Manager)
RM	Ressonância Magnética
SSB	Danos de Cadeia Simples
TC	Tomografia Computorizada
TCC	Tomografia Computadorizada Cardíaca
WOS	Internet da Ciência (do inglês Web of Science)

1. INTRODUÇÃO

A imagiologia médica, anteriormente designada por radiologia dentária no contexto odontológico, constitui uma das mais significativas inovações tecnológicas na prática clínica contemporânea, ao possibilitar a visualização não invasiva da morfologia e fisiologia dos tecidos e órgãos. Este avanço é fundamental para o diagnóstico, planeamento terapêutico e monitorização de um vasto leque de condições clínicas (Hussain et al., 2022). Modalidades como a radiografia convencional, tomografia computadorizada (TC), ressonância magnética (RM) e tomografia por emissão de positrões (PET) são amplamente aplicadas na medicina moderna, com especial relevância na avaliação de patologias cardiovasculares, neurológicas, oncológicas e em contextos pediátricos.

No âmbito da odontopediatria, a imagiologia adquire uma importância ainda maior, uma vez que contribui significativamente para a deteção precoce de anomalias dentárias, para a avaliação do crescimento craniofacial e para a definição de estratégias terapêuticas individualizadas, adaptadas à idade e ao estágio de desenvolvimento da criança. Como salientam Armato et al. (2012), a integração efetiva da imagiologia nos serviços clínicos depende não só da tecnologia disponível, mas também da sua correta aplicação de acordo com protocolos clínicos padronizados e éticos.

Embora os benefícios da imagiologia sejam amplamente reconhecidos, a sua utilização em crianças requer cuidados adicionais devido à maior sensibilidade da população pediátrica à radiação ionizante. Assim, é fundamental equilibrar as vantagens diagnósticas com os riscos biológicos associados, privilegiando estratégias como a utilização do princípio ALADAIP (*As Low As Diagnostically Acceptable, being Indication-oriented and Patient-specific*), que orienta uma avaliação segura e personalizada dos exames de imagem (Benavides et al., 2024).

Um conceito central e atual na proteção radiológica em imagiologia dentária pediátrica é o princípio ALADAIP, que reforça a necessidade de adaptar a dose de radiação não apenas para obter uma imagem diagnóstica adequada, mas também de acordo com a indicação clínica específica e as características individuais do paciente (Mendonça et al., 2025; Oenning et al., 2021).

Este conceito representa uma evolução dos princípios anteriores, como o ALARA (*As Low As Reasonably Achievable*), proposto pela ICRP em 1977, e o ALADA (*As Low As Diagnostically Acceptable*), introduzido em 2014 pelo NCRP. Enquanto o ALARA enfatiza a minimização da exposição dentro do razoável, e o ALADA foca em manter a dose tão baixa quanto for aceitável para o diagnóstico, o ALADAIP acrescenta a necessidade de personalização e contextualização clínica da imagem, conforme recomendado pelo Projeto Europeu DIMITRA (Mendonça et al., 2025; Oenning et al., 2021).

De acordo com os autores, o uso do ALADAIP exige que o clínico reflita previamente sobre duas perguntas essenciais antes de realizar qualquer exame radiológico: “Por quê?” (indicação) e “Para quem?” (paciente). Essa abordagem incentiva a escolha de protocolos otimizados, ajustando o campo de visão, tempo de exposição, e outros parâmetros de forma individualizada. Estudos recentes demonstraram que é possível reduzir significativamente a dose de radiação sem comprometer a qualidade da imagem, ao aplicar corretamente os princípios de ALADAIP na tomografia computadorizada de feixe cônico em crianças (Oenning et al., 2021; Vom & Williams, 2017).

Assim, o ALADAIP não substitui, mas amplia os princípios de justificação e otimização preconizados pelas diretrizes internacionais, sendo especialmente relevante na era da imagiologia 3D e da medicina personalizada. O seu objetivo essencial é minimizar a exposição à radiação ionizante sem comprometer o valor de diagnóstico das imagens obtidas. A aplicação do ALARA baseia-se em três medidas de proteção fundamentais (CDC, 2024):

Tempo: A exposição deve ser estritamente limitada ao período necessário para a obtenção da imagem. Quanto mais curto for o tempo de exposição à fonte radioativa, menor será a dose absorvida pelos tecidos. Em medicina dentária, isto implica a utilização de técnicas rápidas, ajustes automáticos da exposição e um planeamento eficaz dos procedimentos.

Distância: O aumento da distância entre o paciente e a fonte de radiação, ou entre o operador e a fonte, reduz significativamente a dose recebida. Nos consultórios dentários, os profissionais devem posicionar-se atrás de barreiras de proteção ou afastar-se do feixe direto quando ativam o equipamento.

Blindagem: A interposição de barreiras físicas adequadas, como aventais de chumbo ou colares de tireoide, é essencial para proteger os órgãos radiosensíveis. Especialmente em

crianças, a utilização de proteção da tireoide é altamente recomendada, desde que não interfira com a área radiográfica de interesse.

A implementação do ALARA exige também um compromisso ético por parte dos profissionais de saúde, que devem justificar clinicamente cada exposição radiológica, assegurando que os benefícios superam os potenciais riscos, especialmente em indivíduos jovens, cujo risco de efeitos estocásticos, como a carcinogênese, é maior (Yeung, 2019).

Em situações de emergência radiológica, o (CDC, 2024) sublinha a importância de aplicar estes mesmos princípios - minimizar o tempo de exposição, maximizar a distância e utilizar a blindagem adequada - para proteger tanto os pacientes como o pessoal de saúde. Por conseguinte, no contexto da odontopediatria, o ALARA não é apenas uma recomendação técnica, mas um princípio indispensável de responsabilidade clínica para garantir a segurança dos pacientes a longo prazo.

A odontopediatria é uma especialidade fundamental das ciências da saúde, centrada na prevenção, diagnóstico e tratamento integral das doenças orais que afetam bebês, crianças, adolescentes e pessoas com necessidades especiais de cuidados de saúde (Shah, 2018). A sua relevância reside não só no tratamento das patologias existentes, mas na promoção ativa da saúde oral, atuando em fases críticas do desenvolvimento físico, emocional e social dos indivíduos (Bethesda, 2021).

Na infância, a cavidade oral desempenha um papel essencial em funções vitais como a alimentação, a fala e o desenvolvimento facial. As alterações na saúde oral podem ter um impacto profundo na nutrição, crescimento, autoestima e qualidade de vida da criança. Ao mesmo tempo, muitas doenças sistémicas têm manifestações orais precoces, o que posiciona o odontopediatra como um profissional fundamental na deteção precoce de condições médicas (Casamassimo & Townsend, 2019).

Em Odontopediatria, um diagnóstico precoce e preciso é essencial para garantir o crescimento e desenvolvimento saudáveis da cavidade oral. As ferramentas de diagnóstico evoluíram consideravelmente nas últimas décadas, permitindo uma deteção mais precoce das patologias e um planeamento terapêutico mais eficaz (de Lucena et al., 2011), sendo as radiografias intraorais, neste contexto, instrumentos essenciais para a identificação de cáries interproximais, lesões periapicais, anomalias de erupção e avaliação periodontal, devido à sua elevada resolução espacial e à baixa dose de radiação quando corretamente aplicadas (Suomalainen et al., 2015).

Por outro lado, a radiografia panorâmica oferece uma visão global das estruturas maxilofaciais, sendo particularmente útil na avaliação de dentes retidos, agenesias, supranumerários, fraturas e anomalias de crescimento. Embora a sua resolução seja inferior à das imagens intraorais, o seu valor reside na capacidade de visualizar grandes áreas numa única exposição (Suomalainen et al., 2015).

A introdução da tomografia computadorizada de feixe cónico (CBCT) representou um avanço significativo na medicina dentária pediátrica. A CBCT permite a obtenção de imagens tridimensionais com elevada precisão, facilitando diagnósticos complexos como a displasia craniofacial, a análise do trato respiratório, a avaliação ortodôntica avançada e o planeamento cirúrgico. No entanto, a sua utilização em crianças deve ser cuidadosamente justificada, uma vez que envolve doses de radiação mais elevadas do que as técnicas bidimensionais (Abdelkarim, 2019).

A escolha correta da ferramenta de diagnóstico depende dos critérios clínicos, da idade do paciente, da capacidade de cooperação e do princípio da justificação clínica, de modo a obter o máximo de informação de diagnóstico com o mínimo de exposição ou invasividade (Molteni, 2014).

1.1. Importância da imagiologia na prática da medicina dentária

A imagiologia, tornou-se um pilar essencial da medicina dentária moderna. Graças a técnicas como a radiografia digital, a tomografia computadorizada de feixe cónico e os scanners intraorais, os profissionais podem obter representações detalhadas dos dentes, das estruturas ósseas e dos tecidos moles, permitindo um diagnóstico mais preciso e um planeamento mais seguro do tratamento (Nicholson, 2023; Vandenberghe, 2020).

Estas tecnologias não só melhoram a visualização de lesões cariosas, doenças periodontais, malformações dentárias ou alterações ósseas, como também são essenciais para procedimentos complexos como a implantologia, a ortodontia digital e a cirurgia guiada. Como refere Jayachandran (2017), a digitalização permite a manipulação das imagens através de filtros, realce de contraste, reconstruções 3D e medições precisas, o que aumenta a precisão do diagnóstico e reduz a necessidade de intervenções invasivas.

Além disso, o fluxo digital na medicina dentária transformou a forma como os tratamentos são planeados e realizados. A aquisição de imagens 3D, a sua integração com modelos digitais e a possibilidade de simulações clínicas tornaram possível a realização

de intervenções restauradoras e cirúrgicas com maior eficiência, precisão e previsibilidade (Vandenberghe, 2020).

1.1.1. Noções básicas de radiação ionizante

A radiação ionizante é definida como a forma de energia eletromagnética ou corpuscular que tem energia suficiente para ionizar átomos ou moléculas, ou seja, remover elétrons da sua estrutura orbital, gerando partículas carregadas chamadas iões. Esta capacidade ionizante distingue-a de outras formas de radiação, designadas como não ionizantes, como a luz visível ou as ondas de rádio, que não possuem energia suficiente para alterar a estrutura atômica dos materiais com os quais interagem. No domínio médico e dentário, a radiação ionizante é utilizada principalmente sob a forma de raios X, devido à sua capacidade de atravessar os tecidos moles e duros, e de produzir imagens de diagnóstico das estruturas internas. No entanto, esta mesma propriedade torna-a uma potencial fonte de danos biológicos, uma vez que pode induzir efeitos diretos no ADN celular ou indiretos pela geração de Espécies Reativas de Oxigénio (ROS), resultantes da radiólise da água intracelular (Zheng et al., 2019).

A radiação ionizante utilizada em medicina dentária, principalmente sob a forma de raios X, baseia-se nos princípios físicos fundamentais aplicados ao diagnóstico das estruturas dentárias e maxilofaciais. O equipamento de radiologia dentária produz raios X utilizando um tubo de raios catódicos (cabeça de tubo), onde os elétrons são acelerados em direção a um ânodo e, quando colidem, libertam energia sob a forma de radiação, apenas cerca de 1% da energia cinética dos elétrons incidentes é convertida em radiação X útil, enquanto os restantes 99% são dissipados sob a forma de calor. Este fenómeno reforça a necessidade de sistemas de arrefecimento eficientes nos equipamentos de imagiologia dentária, para evitar o sobreaquecimento do tubo de raios X (Zheng et al., 2019).

A maioria dos sistemas intraorais funciona com tensões entre 60 e 70 kV, com correntes entre 5 e 10 mAs, utilizando fontes de corrente contínua (DC) ou corrente alternada (AC). A quantidade de radiação emitida depende principalmente do tempo de exposição. O design compacto e específico dos equipamentos dentários permite a sua utilização em ambientes clínicos restritos, diferenciando-os dos equipamentos médicos convencionais (Molteni, 2014).

1.1.2. Tipos de exames radiográficos em medicina dentária

1.1.2.1. Radiografias intraorais

As radiografias intraorais continuam a ser um dos métodos básicos e mais utilizados em medicina dentária. Consistem em posicionar o detetor (filme, placa fosforescente ou sensor digital) no interior da cavidade oral, captando imagens detalhadas de um ou mais dentes e do seu osso de suporte. Estas técnicas oferecem alta resolução para detetar cáries, lesões periapicais, avaliação periodontal, planeamento endodôntico, entre outros. As doses de radiação são muito baixas, inferiores a 1,5 μSv por imagem (Wenzel, 2021).

1.1.2.2. Radiografia panorâmica

A radiografia panorâmica ou panorâmica dentária (OPG) é um método extraoral que permite obter uma visão geral das arcadas dentárias, dos maxilares, da articulação temporomandibular e dos seios maxilares. Utiliza um feixe de raios X em forma de leque que gira em torno da cabeça do paciente, gerando uma imagem bidimensional de uma estrutura tridimensional (Różyło-Kalinowska, 2021).

Embora a sua dose efetiva seja mais elevada do que a intraoral (entre 2,7 e 24,3 μSv), a panorâmica é muito utilizada pela sua ampla cobertura, simplicidade técnica e conforto para o paciente. As principais limitações incluem distorções geométricas, sobreposições e baixa resolução em comparação com a intraoral (Różyło-Kalinowska, 2021).

1.1.2.3. Tomografia Computorizada de Feixe Cónico (CBCT)

A CBCT (Tomografia Computorizada de Feixe Cónico) revolucionou a radiologia dentária a partir dos anos 90, ao possibilitar a obtenção de imagens tridimensionais com uma dose de radiação inferior à da tomografia médica convencional (MSCT). Este método é particularmente útil em casos de grande complexidade: diagnóstico de anomalias dentárias, avaliação pré-operatória de implantes, traumatismos, patologia óssea e ortodontia (Suomalainen et al., 2015).

A dose efetiva da CBCT pode variar muito em função do tamanho do campo de visão (FOV) e dos parâmetros de exposição, podendo ir de 11 a mais de 1000 μSv .

As principais vantagens da CBCT incluem:

- Imagens tridimensionais de alta precisão para tecidos duros.
- Dose relativamente baixa em comparação com a tomografia médica em vários cortes

No entanto, tem limitações como:

- Baixa resolução de tecidos moles.
- Presença de artefactos metálicos.
- Dose mais elevada do que as técnicas 2D se a otimização não for aplicada corretamente.

A utilização da CBCT deve ser estritamente justificada pela necessidade clínica, evitando a sua indicação rotineira em menores de idade (Elmorabit et al., 2025).

1.2. Especificidade da população pediátrica

No contexto pediátrico, a utilização da imagiologia deve ser cuidadosamente regulada, uma vez que as crianças têm uma maior sensibilidade biológica à radiação ionizante. Isto deve-se à rápida proliferação celular e a uma maior esperança de vida, o que aumenta o risco cumulativo de efeitos tardios, como mutações genéticas ou cancro (AAPD, 2024; Nicholson, 2023).

A prescrição de radiografias em crianças não deve basear-se apenas na idade, mas numa avaliação individualizada que tenha em conta fatores clínicos, história médica e dentária e o risco de cáries ou alterações no desenvolvimento dentofacial. A Academia Americana de Odontopediatria (2024) recomenda a aplicação dos princípios de justificação, otimização e limitação da exposição, utilizando sempre a dose mais baixa compatível com o diagnóstico, de acordo com o princípio ALADAIP.

A imagiologia pediátrica é crucial para detetar precocemente lesões cariosas ocultas, avaliar traumatismos, identificar anomalias de erupção, diagnosticar agenesia ou dentes impactados e acompanhar o desenvolvimento da dentição mista e permanente (Jayachandran, 2017; Sarsam et al., 2025). Além disso, as imagens contribuem significativamente para a ortodontia pediátrica, possibilitando a previsão de problemas oclusais e a tomada de decisões terapêuticas nas fases iniciais do crescimento.

1.3. Efeitos biológicos da exposição

A exposição à radiação ionizante, mesmo em doses baixas como as utilizadas em medicina dentária, pode desencadear uma série de efeitos biológicos indesejáveis. Ao nível celular, os danos começam quando os fotões de raios X interagem com os átomos do corpo, produzindo ionizações que levam à perda de eletrões de moléculas estáveis (Benavides et al., 2024). Este processo gera radicais livres altamente reativos, em particular espécies reativas de oxigénio (ERO), que podem atacar componentes celulares fundamentais, como os lípidos das membranas, as proteínas estruturais e, sobretudo, o ADN nuclear (Jones et al., 2018).

O ADN pode sofrer danos de cadeia simples (SSB), danos de cadeia dupla (DSB), pontes cruzadas ou mutações pontuais. Enquanto algumas destas alterações são reparadas eficazmente, outras podem levar a erros genéticos persistentes, que modificam a expressão de genes relacionados com o ciclo celular, a apoptose ou a estabilidade genómica (Benavides et al., 2024). Um dos marcadores mais utilizados para avaliar este dano genético na população pediátrica é o teste do micronúcleo (BMCyt), que deteta estruturas extranucleares em células epiteliais esfoliadas. A presença de micronúcleos reflete fragmentos de cromossomos ou cromossomos completos que não foram incluídos no núcleo-filho durante a divisão celular. Estudos como o de Julu & Nagarathna, (2022) mostraram que as crianças sujeitas a múltiplas exposições a exames radiográficos durante procedimentos dentários tinham uma frequência significativamente mais elevada de micronúcleos, em comparação com controlos saudáveis.

Para além dos micronúcleos, podem também ser observadas alterações morfológicas celulares como células binucleadas, picnose, cariólise e cariorrexia, que são sinais de citotoxicidade e apoptose radioinduzida (Jones et al., 2018).

Os tecidos das crianças são inerentemente mais radiosensíveis do que os dos adultos devido a várias características fisiológicas (Julu & Nagarathna, 2022):

Elevada taxa mitótica: Nas crianças, os órgãos e os tecidos estão numa fase ativa de crescimento e diferenciação. As células que se dividem frequentemente são mais propensas a erros de replicação devido a danos no ADN, o que aumenta o risco de mutações hereditárias.

Menor capacidade de reparação: Embora as células jovens tenham mecanismos de reparação ativos, são também mais vulneráveis a erros na reparação de danos complexos,

como as quebras de cadeia dupla no ADN, que podem levar à instabilidade cromossômica.

Maior esperança de vida após a exposição: Quanto mais jovem for o doente no momento da exposição, mais tempo tem para que os efeitos tardios, como a carcinogénese, se manifestem. Isto traduz-se num maior risco cumulativo de efeitos estocásticos como o cancro.

Os órgãos mais radiosensíveis nas crianças incluem: a tiroide, a medula óssea vermelha, as glândulas salivares, a mucosa oral e o cérebro. A tiroide, por exemplo, não só participa ativamente no metabolismo basal, como é um dos tecidos com maior afinidade para a absorção da radiação dispersa na região cervical, o que aumenta a sua exposição mesmo durante exames dirigidos à cavidade oral (Chauhan & Wilkins, 2019).

Embora as doses em medicina dentária sejam muito mais baixas do que em radiologia médica, a frequência desnecessária de radiografias, especialmente em crianças com tratamentos extensos, ortodontia ou doenças crónicas, pode aumentar significativamente o risco para a população se não forem aplicados os princípios de justificação clínica e proteção (Elmorabit et al., 2025).

1.4. Justificação

A utilização de exames radiográficos e de técnicas avançadas de imagiologia em odontopediatria coloca uma responsabilidade ética e clínica fundamental: equilibrar os benefícios de diagnóstico com os potenciais riscos de exposição à radiação ionizante. A justificação para o presente estudo baseia-se no reconhecimento de que as crianças são biologicamente mais sensíveis aos efeitos da radiação.

A exposição desnecessária, repetida ou mal controlada pode aumentar o risco de efeitos estocásticos, como o desenvolvimento de neoplasias a longo prazo. Embora a dose individual de uma radiografia dentária seja geralmente pequena, o efeito cumulativo ao longo do tempo, combinado com a maior esperança de vida dos pacientes pediátricos, enfatiza a necessidade de precauções extremas (Linet et al., 2012).

Por outro lado, o subdiagnóstico ou a ausência de uma avaliação adequada também acarreta riscos, nomeadamente a deterioração progressiva da saúde oral, o estabelecimento de infeções crónicas, alterações no desenvolvimento facial e limitações

funcionais. A falta de um diagnóstico precoce pode comprometer de forma irreversível a qualidade de vida do doente (González-Moles et al., 2022). Assim, o estudo e a análise detalhada de estratégias de redução de dose, a otimização do uso de tecnologias e a aplicação rigorosa dos princípios de justificação, otimização e limitação (incluindo ALARA e ALADAIP) são essenciais para alcançar um equilíbrio razoável entre risco e benefício clínico.

O presente trabalho tem como objetivo analisar criticamente a evidência científica disponível sobre a exposição à radiação ionizante em procedimentos de imagiologia dentária realizados na população pediátrica, com particular ênfase nas técnicas utilizadas, nos modelos de estudo utilizados (pacientes reais ou simulações) e nas estratégias de proteção radiológica implementadas. Através de uma revisão integrativa dos estudos publicados entre 2017 e 2024, pretende-se identificar modelos metodológicos, avaliar a adesão aos princípios de proteção radiológica pediátrica (ALARA e ALADAIP) e evidenciar lacunas de conhecimento que orientem futuras investigações e recomendações clínicas.

2. METODOLOGIA

2.1. Tipo de estudo

A presente pesquisa é uma revisão integrativa da literatura científica, cujo objetivo é identificar, analisar e sintetizar os resultados disponíveis sobre o uso de radiação ionizante em procedimentos de diagnóstico odontológico em crianças e adolescentes. Esta revisão foi elaborada de acordo com as diretrizes do modelo PRISMA 2020 (*Preferred reporting elements for Systematic Reviews and Meta-Analyses*), que garante uma recolha sistemática, rigorosa e transparente da evidência.

2.2. Estratégia de pesquisa

A pesquisa foi realizada no primeiro semestre de 2025 nas bases de *dados PubMed, EBSCO, Web of Science (WOS) e Scopus*, selecionadas pela sua cobertura multidisciplinar e pela sua relevância no domínio da saúde, odontopediatria, diagnóstico por imagem e proteção contra radiações.

Foram utilizados DECs, MeSH e termos em linguagem natural, combinados através de operadores booleanos (AND, OR) para otimizar a recuperação de artigos relevantes. Na Tabela 1, são apresentadas as estratégias de pesquisa utilizadas em cada base de dados:

Tabela 1*Estratégias de pesquisa em cada base de dados*

Base de dados	Equação	Resultados
SCOPUS	(TITLE ("dental radiography" OR "panoramic radiograph" OR "intraoral radiograph") AND TITLE-ABS-KEY ("children" OR "pediatric") AND TITLE-ABS-KEY ("radiation risk" OR "radiation protection"))	11
	(TITLE ("dental diagnostic" OR "panoramic radiograph" OR "cone beam computed tomography") AND TITLE ("children" OR "pediatric") AND TITLE-ABS-KEY ("radiation risk" OR "radiation protection" OR "diagnostic benefits"))	8
WOS	((TI= ("dental radiography" OR "panoramic radiograph" OR "intraoral radiograph")) AND TS= ("children" OR "pediatric")) AND TS= ("radiation risk" OR "radiation protection")	2
	((TS= ("dental diagnostic" OR "panoramic radiograph" OR "cone beam computed tomography")) AND TI= ("children" OR "pediatric")) AND TS= ("radiation risk" OR "radiation protection" OR "diagnostic benefits")	8
PUBMED	((("dental radiography"[Title/Abstract] OR "panoramic radiograph"[Title/Abstract] OR "intraoral radiograph"[Title/Abstract]) AND ("children"[Title/Abstract] OR "pediatric"[Title/Abstract])) AND ("radiation risk" OR "radiation protection"))	16
	((("dental diagnostic"[Title] OR "panoramic radiograph"[Title] OR "cone beam computed tomography"[Title]) AND ("children"[Title/Abstract] OR "pediatric"[Title/Abstract])) AND ("radiation risk"[Title/Abstract] OR "radiation protection"[Title/Abstract] OR "diagnostic benefits"[Title/Abstract]))	8
EBSCO	TI ("dental radiography" OR "panoramic radiograph" OR "intraoral radiograph") AND XB ("children" OR "pediatric") AND XB ("radiation risk" OR "radiation protection")	2
	TI ("dental radiography" OR "panoramic radiograph" OR "intraoral radiograph") AND TI (children or pediatric or paediatric or kids or child) AND ("radiation risk" OR "radiation protection" OR "diagnostic benefits")	4

2.3. Critérios de elegibilidade

Critérios de inclusão

- Artigos originais (sem revisões) publicados entre 2013 e 2024.
- Estudos observacionais ou experimentais que quantificam as doses, riscos ou benefícios do uso de radiação durante exames dentários.
- População: Crianças, adolescentes e/ou população pediátrica em geral.
- Línguas: Inglês, português ou espanhol.
- Que tenham relatado pelo menos um dos seguintes elementos: dose efetiva, risco de cancro, justificação clínica, perceção do risco ou implementação de medidas de proteção.

Critérios de exclusão

- Revisões sistemáticas, meta-análises ou editoriais.
- Estudos efetuados apenas em adultos.
- Trabalhos sem acesso ao texto integral ou com metodologia pouco clara.
- Estudos duplicados entre as bases.

Seleção dos estudos e extração de dados

A seleção foi feita em cinco fases:

1. Remoção de duplicados
2. Exame dos títulos e resumos de acordo com os critérios de elegibilidade.
3. Leitura do texto completo dos artigos potencialmente relevantes.
4. Aplicação definitiva dos critérios de inclusão e exclusão.
5. Extração dos dados-chave numa matriz com as seguintes variáveis: (Título, autores, ano, país, objetivo, metodologia, tipo de imagem, resultados relevantes).

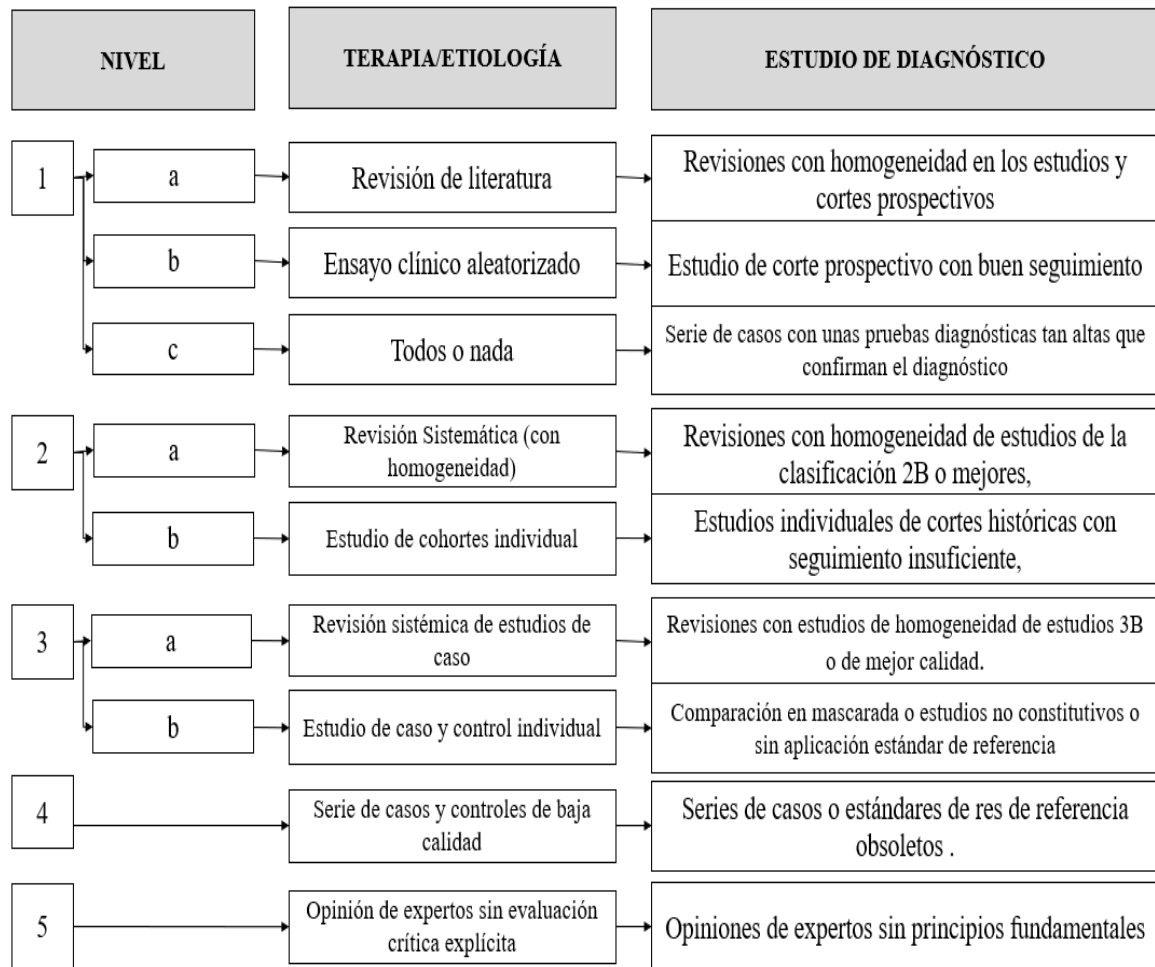
2.4. Avaliação da qualidade metodológica

Foi utilizada uma abordagem adaptada ao tipo de estudo incluído, tendo em conta critérios como a clareza da metodologia, a validade interna, a estimativa da dose, a justificação

clínica e a aplicabilidade dos resultados. Foi dada preferência à evidência empírica direta sobre a estimativa do risco biológico, a utilização clínica da CBCT e as estratégias de redução da dose.

Figura 1

Classificação CEBM



Adaptado de “Jerarquización de la evidencia: Niveles de evidencia y grados de recomendación de uso actual.” C., Manterola, C., Asenjo-Lobos, & T., Otzen, 2014, Revista chilena de infectología, 31(6), 705-718. <https://doi.org/10.4067/S0716-10182014000600011> Copyright 2014 dos autores.

Além disso, para garantir o rigor da avaliação metodológica dos estudos incluídos, foi efetuada uma análise do risco de viés utilizando a ferramenta RevMan 5.4 (*Review Manager*), desenvolvida pela Colaboração Cochrane. Esta ferramenta permitiu classificar os estudos de acordo com várias áreas de qualidade interna, como a seleção dos participantes, a ocultação, o processamento de dados incompletos e a notificação seletiva

dos resultados. Embora a maioria dos estudos apresentasse um baixo risco de viés nas principais áreas, foram observados riscos potenciais na representatividade da amostra e na ausência de grupos de comparação em alguns estudos observacionais e inquéritos transversais. A incorporação desta análise contribuiu para uma avaliação mais completa e crítica da evidência tida em conta nesta revisão integrativa.

2.5. Considerações éticas

Esta análise integrativa não envolveu o contacto com seres humanos nem a recolha de dados primários, pelo que não apresentou riscos éticos. Os direitos de autor foram respeitados, o rigor metodológico foi mantido na seleção dos artigos e a transparência e fidelidade na apresentação dos resultados foram garantidas.

3. RESULTADOS

Inicialmente, foram identificados 59 registos nas bases de dados seleccionadas. Previamente, 34 ficheiros foram eliminados antes da fase de pré-seleção, devido a duplicados (n = 8), exclusões automáticas pelas filtragens (n= 12) e outros motivos (n= 14). Os restantes 25 registos foram revistos manualmente, dos quais 11 foram excluídos após a revisão dos títulos e resumos por não cumprirem os critérios de inclusão. Dos 14 artigos seleccionados para leitura integral, 2 foram rejeitados por se tratar de crítica literária. Por fim, 12 estudos atenderam a todos os critérios metodológicos e temáticos, sendo incluídos na análise final.

Figura 2

Diagrama de fluxo

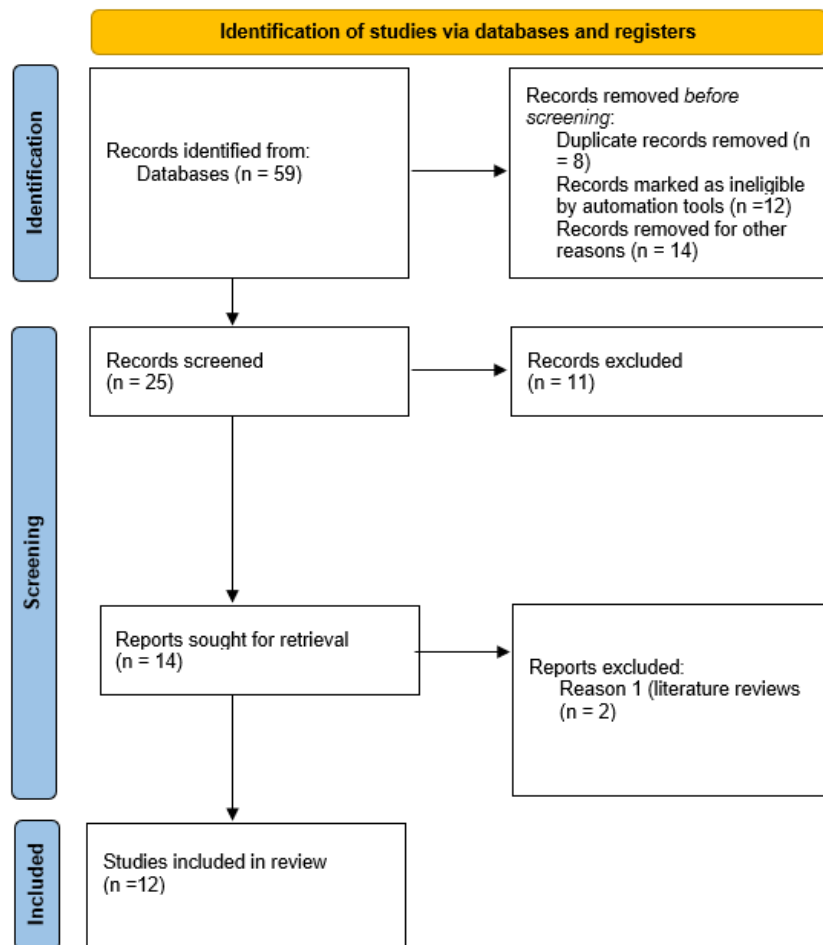


Tabela 2

Caracterização dos artigos selecionados

Nº	Título	Autor(es)	País	Objetivo	Pontuação CEBM	Metodologia	Tipo de imagem diagnóstica	Resultados relevantes
1	Intraoral radiographs: A comparison of dose and risk reduction with collimation and thyroid shielding	(Johnson & Ludlow, 2020)	Estados Unidos.	Comparar a dose e o risco em radiografias intraorais com diferentes colimadores e a utilização de um protetor da tiroide.	2b	Estudo experimental com fantasmas, dosímetros OSL.	Radiografia intraoral (FMX)	Redução da dose até 51% com o colimador retangular. Dose mais baixa para a tiroide com o Focus-RC.
2	Evaluation of radiation-induced cancer risk to patients undergoing intra-oral and panoramic dental radiographies	(Chaparian & Dehghanzade, 2017)	Irão	Estimar as doses e o risco de cancro induzido pelas radiografias intraorais e panorâmicas.	2b	Medição do DAP e Simulação de Monte Carlo (PCXMC).	Intraoral e panorâmica	Hemorragia grave em crianças. Periapical: 20,9 por 10 milhões de crianças.
3	Assessment of cone beam computed tomography use in pediatric and adolescent patients: a cross-sectional study	(Nahir et al., 2024)	Turquia	Analisar as indicações clínicas da CBCT em crianças e adolescentes, de acordo com o projeto DIMITRA.	2b	Estudo transversal retrospectivo (270 pacientes).	CBCT	34,8% das indicações não se justificam de acordo com os critérios DIMITRA. Utilização frequente de grandes campos de visão.
4	Image quality-based dose optimization in pediatric cone-beam computed tomography	(Kim et al., 2024)	Coreia do Sul	Otimizar a dose da CBCT pediátrica, mantendo a qualidade do diagnóstico.	2b	Estudo piloto com filtros de cobre, phantom e dentiforme.	CBCT	Redução da dose possível sem alterar os parâmetros do equipamento. Qualidade mínima aceitável identificada.
5	Estimating and comparing the radiation cancer risk from CBCT and panoramic radiography in pediatric and adult patients	(Zamani et al., 2020)	Irão	Comparar a dose e o EFEITO entre a CBCT e a panorâmica, consoante a idade e o género.	2b	Medição do DAP e simulação de Monte Carlo com BEIR VII.	CBCT e panorâmica	REID significativamente mais elevado nas crianças. A tiroide, a mucosa oral e as

Nº	Título	Autor(es)	País	Objetivo	Pontuação CEBM	Metodologia	Tipo de imagem diagnóstica	Resultados relevantes
								glândulas salivares estão mais expostas.
6	A Two-Year Retrospective Evaluation of CBCT Indications in Pediatric, Adolescent and Adult Patients	(Arslan & Tuğutlu, 2023)	Turquia	Avaliar as indicações clínicas da CBCT em diferentes idades, de acordo com as diretivas europeias.	2b	Um estudo retrospectivo de 1013 exames.	CBCT	A CBCT é mais adequada para as crianças. Ajuste dos parâmetros de acordo com a idade. Ausência de utilização prévia de OPG em 25,6%.
7	Pediatric Phantom Dosimetry Evaluation of the Extraoral Bitewing	(Wiley et al., 2020)	Estados Unidos.	Comparar a dose efetiva das injeções extraorais com outras técnicas.	2b	Estudo experimental com fantoma pediátrico e dosímetros OSL.	Mordida extra-oral	Dose 3 a 11 vezes superior à intra-oral. Semelhante à panorâmica. Recomendação das diretrizes clínicas.
8	A survey on radiation exposure reduction methods including rectangular collimation	(Campbell et al., 2020)	Estados Unidos.	Avaliar as práticas atuais de proteção contra radiações entre os dentistas pediátricos.	3b	Inquérito nacional aos membros da AAPD.	Intraoral	Apenas 22,3% utilizaram colimação retangular. Pouca aderência à imagem de forma suave.
9	Estimated radiation risk of cancer from dental cone-beam computed tomography imaging in orthodontics patients	(Yeh & Chen, 2018)	Taiwan	Calcular o REID por CBCT em ortodontia, de acordo com a idade e o género.	2b	Simulação de Monte Carlo com PCXMC.	CBCT	Maior risco em crianças e mulheres. Tireoide: O órgão mais exposto.
10	Frequency of Dental X-ray Diagnostics in Children and Adolescents: What Is Radiation Exposure?	(Hennig et al., 2023)	Alemanha	Analisar a frequência, dose e justificação dos exames radiográficos dentários em menores.	2b	Estudo retrospectivo (9.680 imagens) com cálculo da dose efetiva.	OPG, cefalométrica, CBCT	Dose efetiva de TCC: 33,8 µSv. O OPG foi o mais utilizado. Os rapazes fizeram mais radiografias do que as raparigas.

Nº	Título	Autor(es)	País	Objetivo	Pontuação CEBM	Metodologia	Tipo de imagem diagnóstica	Resultados relevantes
11	Irradiation provided by dental radiological procedures in a pediatric population	(Hedesiu et al., 2018)	Roménia e França	Comparar as doses e os riscos entre a CBCT e as radiografias 2D em crianças.	2b	Uma coorte retrospectiva de 7150 crianças.	CBCT, panorâmica, cefalométrica, intraoral	O CBCT representa 70% da dose total. Risco aumentado nas raparigas com idades compreendidas entre os 11 e os 15 anos.
12	Estimation of the radiation dose for pediatric CBCT indications: a prospective study on ProMax3D	(Marcu et al., 2018)	Roménia e França	Estimar as doses efetivas, cumulativas e específicas de órgãos no CBCT pediátrico.	2b	Estudo prospetivo com simulações de Monte Carlo (561 crianças).	CBCT	Maior dose nas anomalias dentárias. Aumento proporcional com o campo de visão e exposições múltiplas

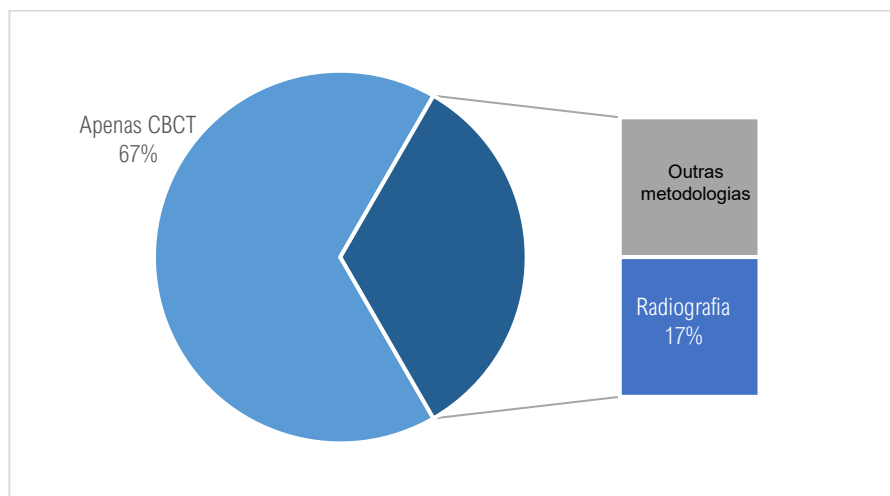
Dos 12 artigos estudados, não houve uma tendência relacionada com o ano de publicação, por exemplo, a maioria dos estudos publicados foi em 2024, seguido dos anos 2017-2018 e menos anos de publicações em 2023 e 2020. No entanto, a partir de 2020, também se deteta um maior uso de modelos computacionais e estudos clínicos retrospectivos. a origem geográfica foi diversa: os Estados Unidos vêm em primeiro lugar com três publicações, seguidos pela Turquia (2), Irão (2), Roménia (2), Coreia do Sul, Alemanha, França e Taiwan (1 cada), a maioria da investigação provém de contextos académicos especializados. Predominaram os estudos experimentais em fantasmas (6/12), seguidos de observações clínicas retrospectivas (4/12) e transversais (2/12),

A maioria dos estudos incluídos (10 em 12) utilizou a tomografia computadorizada de feixe cónico (CBCT) como principal ferramenta de imagem, consolidando-se como a técnica mais representada. Esta tecnologia, de natureza tridimensional, tem sido gradualmente aceite em Odontopediatria pela sua precisão de diagnóstico em patologias complexas, como a identificação de dentes impactados, anomalias do desenvolvimento dentofacial ou planeamento cirúrgico.

A utilização de radiografias panorâmicas foi relatada em dois estudos e a radiografia intraoral num estudo. Além disso, duas investigações compararam a CBCT com técnicas bidimensionais, destacando a crescente transição para imagens volumétricas, mesmo numa idade precoce. A Figura 3 permite observar essa distribuição: 67% dos estudos utilizaram exclusivamente a CBCT; 17% basearam-se apenas em radiografias (panorâmicas e intraorais); e 16% combinaram CBCT com radiografias. Esses dados confirmam a consolidação da CBCT como principal ferramenta de imagiologia nos estudos analisados.

Figura 3

Distribuição por técnicas de imagiologia utilizadas



Quanto à abordagem metodológica, os estudos foram divididos igualmente: seis utilizaram pacientes pediátricos reais e seis utilizaram fantomas físicos ou simulações computacionais. O número total de crianças incluídas nos estudos clínicos foi de 2.536, com tamanhos de amostra variando de 42 a 948 participantes. Por exemplo, Campbell et al. (2020, EUA) analisaram 948 crianças, enquanto Hennig et al. (2023, Alemanha) trabalharam com uma amostra de 42 pessoas.

Estudos com fantasmas antropomórficos (por exemplo, Johnson, Kim, Bayraktar) utilizaram modelos pediátricos específicos para reproduzir condições clínicas, permitindo quantificar a dose absorvida em tecidos sensíveis como a tiroide, o cristalino, a gengiva ou as glândulas salivares. Estas simulações, frequentemente efetuadas com software como o PCXMC, reduzem os riscos éticos e oferecem uma elevada reprodutibilidade. A utilização de modelos de crianças com idades compreendidas entre os 5 e os 10 anos foi comum em ambos os tipos de população.

A diversidade de estratégias de proteção é um dos resultados mais relevantes. Quatro estudos utilizaram barreiras físicas, como blindagem de bismuto (Chaparian, 2017), placas de cobre (Kim, 2024) ou o uso de uma colimação retangular e um colar de tiroide (Johnson, 2020). Estas intervenções têm como objetivo atenuar a radiação secundária e proteger as estruturas críticas.

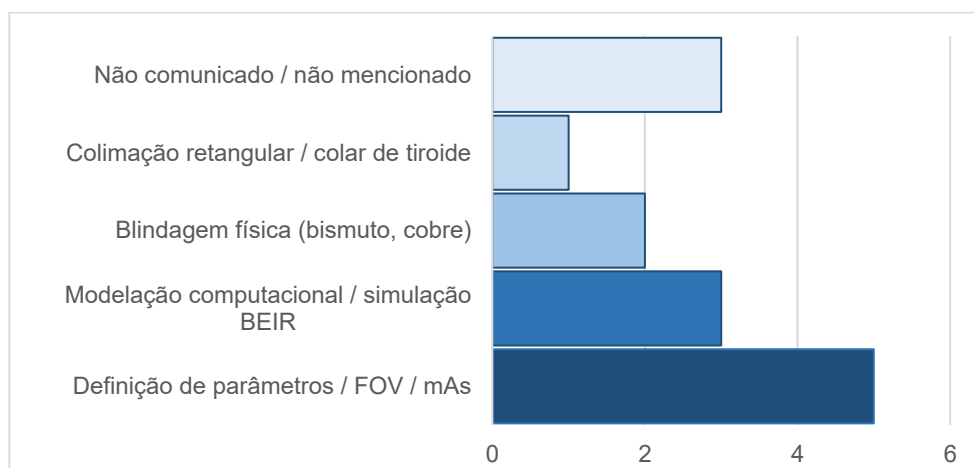
Cinco estudos implementaram ajustes técnicos e otimização de parâmetros, destacando-se o uso de campos de visão reduzidos (FOV), ajustes de mAs e a seleção do protocolo

de exposição de acordo com a idade (Marcu, 2018; Bayraktar, 2024; Hedesiu, 2018). Por outro lado, três investigações foram utilizadas por modelos informáticos (BEIR VII, Monte Carlo) para estimar o risco de morte por cancro induzido pela exposição (REID) sem aplicar dispositivos físicos.

Três estudos não mencionaram explicitamente qualquer forma de proteção, embora envolvessem crianças. Esta omissão viola os princípios ALARA (*As low As Reasonably Achievable*) e ALADAIP (*As low As Diagnostically Acceptable Being indication-oriented and patient-specific*), pilares da proteção radiológica pediátrica. A Figura 4 apresenta a distribuição das estratégias de proteção radiológica descritas nos estudos incluídos. Os valores representados no gráfico referem-se ao número de estudos que utilizaram cada uma das medidas listadas. A categoria mais frequente foi a “Definição de parâmetros / FOV / mAs”, presente em 5 estudos, seguida pela “Modelação computacional / simulação BEIR”, com 3 estudos. O uso de barreiras físicas (bismuto ou cobre) foi identificado em 2 estudos, e a colimação retangular com colar de tiroide em 1 estudo. Notou-se também que 3 estudos não comunicaram qualquer tipo de estratégia de proteção, o que contraria os princípios ALARA e ALADAIP recomendados para a radioproteção pediátrica.

Figura 4

Distribuição das estratégias de proteção



O principal objetivo dos estudos foi estimar a dose de radiação efetiva, avaliar o risco de cancro (REID), otimizar os protocolos de imagiologia e analisar a adequação clínica das indicações da CBCT na população pediátrica. Por exemplo, Nahir et al., 2024 constataram

que 34,8% das indicações não atendiam aos critérios DIMITRA, enquanto Marcu et al., 2018 e Kim et al., 2024 propuseram estratégias de redução de dose sem comprometer a qualidade do diagnóstico.

3.1. Avaliação do risco de viés

A avaliação do risco de viés é uma etapa crítica nas revisões sistemáticas, pois permite avaliar a validade interna dos estudos incluídos e a confiabilidade de seus resultados. Para isso, são utilizados instrumentos padronizados, como o proposto pela Colaboração Cochrane, implementado no software RevMan 5.4. Esse instrumento classifica o risco de viés em sete áreas: geração aleatória da sequência, ocultação da atribuição, cegueira dos participantes e da equipe, cegueira dos avaliadores dos resultados, dados incompletos dos resultados, relatórios seletivos e outros vieses potenciais. Cada área é avaliada como sendo de baixo risco, de risco incerto ou de alto risco, com base nas informações metodológicas comunicadas pelos autores de cada estudo. Esta avaliação permite identificar limitações estruturais e possíveis fontes de erro sistemático que podem afetar a interpretação global da evidência.

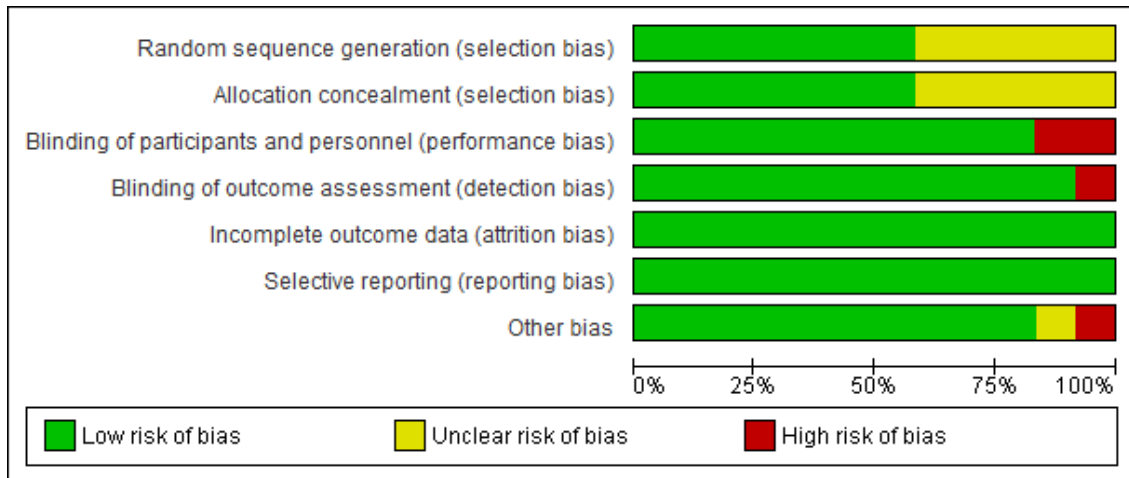
A Figura 5 ilustra um gráfico de barras que resume o risco global de viés dos estudos incluídos, de acordo com as áreas estabelecidas pela Colaboração Cochrane. Os riscos de viés mais comuns correspondem à geração aleatória da sequência e à ocultação da atribuição (viés de seleção), na sua maioria classificados como risco pouco claro, uma vez que muitos estudos são de natureza observacional ou experimental sem aleatorização explícita.

No que respeita à ocultação dos participantes e do pessoal, identificam-se alguns casos de risco elevado (vermelho), sobretudo em estudos retrospectivos sem controlo experimental, como é o caso de Campbell et al., 2020 e Nahir et al., 2024.

As restantes áreas são maioritariamente classificadas como de baixo risco, o que reflete uma adequada transparência metodológica e qualidade na apresentação dos dados.

Figura 5

Risco global de viés dos estudos incluídos



A Figura 6 apresenta uma matriz detalhada por estudo, onde cada linha corresponde a um artigo e cada coluna a uma das sete áreas de viés. Estudos como Chaparian & Dehghanzade, 2017, Hedesiu et al., 2018, Johnson e Ludlow, 2020, Kim et al., 2024, Yeh & Chen, 2018, e Zamani et al., 2020 apresentam um perfil de baixo risco em todos os domínios avaliáveis, sugerindo alta confiabilidade metodológica.

Por outro lado, estudos como o de Nahir et al., 2024 apresentam um risco elevado de cegueira dos participantes e dos avaliadores, bem como um risco pouco claro na geração da sequência aleatória e na ocultação, provavelmente devido ao seu desenho retrospectivo sem mecanismos formais de controlo de viés (ver Figura 2).

Campbell et al., 2020 também apresenta um risco elevado nas mesmas áreas mencionadas, dada a sua metodologia baseada em inquéritos autoadministrados sem verificação objetiva ou sem o conhecimento dos participantes.

Figura 6

Risco de viés por estudos incluídos

	Random sequence generation (selection bias)	Allocation concealment (selection bias)	Blinding of participants and personnel (performance bias)	Blinding of outcome assessment (detection bias)	Incomplete outcome data (attrition bias)	Selective reporting (reporting bias)	Other bias
Arslan & Tuğutlu, 2023	?	?	+	+	+	+	+
Campbell et al., 2020	+	+	-	-	+	+	?
Chaparian & Dehghanzade, 2017	+	+	+	+	+	+	+
Hedesiu et al., 2018	?	?	+	+	+	+	+
Hennig et al., 2023	?	?	+	+	+	+	+
Johnson & Ludlow, 2020	+	+	+	+	+	+	+
Kim et al., 2024	+	+	+	+	+	+	+
Marcu et al., 2018	?	?	+	+	+	+	+
Nahir et al., 2024	?	?	-	+	+	+	-
Wiley et al., 2020	+	+	+	+	+	+	+
Yeh & Chen, 2018	+	+	+	+	+	+	+
Zamani et al., 2020	+	+	+	+	+	+	+

4. DISCUSSÃO

A partir da análise integrativa dos doze estudos selecionados, foram identificados cinco eixos temáticos recorrentes que orientam a discussão crítica dos resultados, conforme sintetizado na Tabela 1.

Esses temas refletem as principais preocupações e contribuições da literatura científica atual sobre o uso de técnicas de imagem odontológica na população pediátrica. Em primeiro lugar, a justificativa clínica para a utilização da CBCT é analisada com base em critérios de diagnóstico e diretrizes especializadas. Posteriormente, é discutida a estimativa da dose efetiva e o risco de cancro associado à exposição radiológica, em particular em órgãos sensíveis como a glândula tiroide. Da mesma forma, são analisadas as estratégias de proteção radiológica implementadas ou ausentes nos estudos examinados, bem como as ações de otimização técnica que procuram reduzir a dose sem comprometer a qualidade da imagem.

Finalmente, são discutidas as tendências atuais da frequência de utilização destas tecnologias e a distribuição por idade, sexo e tipo de exame na prática clínica. Estes eixos estruturam a discussão que se segue, permitindo uma interpretação crítica e contextualizada dos resultados em relação ao objetivo do presente trabalho.

Tabela 3*Eixos temáticos identificados em 12 estudos*

Nº	Tema / Eixo temático	Autores relacionados
1	Justificação clínica para a utilização de CBCT	(Arslan & Tuğutlu, 2023), (Hennig et al., 2023), (Hedesiu et al., 2018), (Zamani et al., 2020)
2	Dose efetiva e risco estimado de cancro	(Chaparian & Dehghanzade, 2017), (Zamani et al., 2020), (Yeh & Chen, 2018), (Marcu et al., 2018), (Hedesiu et al., 2018), (Kim et al., 2024), (Wiley et al., 2020), (Johnson & Ludlow, 2020)
3	Estratégias de proteção contra a radiação	(Johnson & Ludlow, 2020), (Chaparian & Dehghanzade, 2017), (Kim et al., 2024), (Campbell et al., 2020), (Marcu et al., 2018), (Hedesiu et al., 2018)
4	Otimização técnica e qualidade da imagem	(Kim et al., 2024), (Marcu et al., 2018), (Johnson & Ludlow, 2020), (Wiley et al., 2020), (Zamani et al., 2020)
5	Frequência e tendências na utilização de imagens	(Campbell et al., 2020), (Hennig et al., 2023), (Arslan & Tuğutlu, 2023), (Hedesiu et al., 2018), (Nahir et al., 2024)

4.1. Utilização da CBCT na população pediátrica

A tomografia computadorizada de feixe cônico (CBCT) estabeleceu-se como uma ferramenta de diagnóstico avançada em medicina dentária, oferecendo imagens tridimensionais detalhadas com maior precisão anatômica do que as radiografias convencionais. No entanto, a sua utilização na população pediátrica deve ser estritamente justificada devido ao aumento da radiosensibilidade dos tecidos infantis e ao risco cumulativo de efeitos estocásticos associados à radiação ionizante. De acordo com Arslan e Tuğutlu (2023), apenas 5,3% dos CBCTCS analisados corresponderam a pacientes pediátricos (≤ 12 anos de idade). As principais indicações nessa população foram a localização de dentes permanentes retidos (37%) e dentes supranumerários (20,6%), evidenciando o uso direcionado a necessidades clínicas específicas, como planejamento cirúrgico ou ortodôntico. Esse esquema de uso sugere adesão parcial às recomendações europeias (DIMITRA), que enfatizam o uso justificado e limitado da CBCT em crianças. Hedesiu et al. (2018), também observaram que a indicação mais frequente para CBCT em crianças foi a detecção de anormalidades dentárias ou maxilofaciais complexas, e concluíram que seu uso só deve ser considerado quando as informações obtidas não podem ser obtidas por métodos radiográficos convencionais. Além disso, enfatizam a importância de ajustar os parâmetros de exposição e o tamanho do campo de visão (FOV) de acordo com a região de interesse, seguindo o princípio ALADAIP para minimizar a dose sem comprometer a qualidade da imagem.

Os autores Hennig et al. (2023) concordam que as justificativas clínicas devem ser priorizadas em relação à acessibilidade tecnológica, enfatizando a necessidade de protocolos padronizados em pediatria que limitem o uso da CBCT aos casos em que ela modifica o curso terapêutico.

4.2. Dose efetiva e risco estimado de cancro

Um dos aspectos mais críticos na utilização de técnicas de imagem com radiação ionizante na população pediátrica é a quantificação precisa da dose efetiva absorvida e a estimativa do risco de cancro induzido pela radiação, esta preocupação baseia-se na maior radiosensibilidade dos tecidos infantis e na maior esperança de vida, o que aumenta a probabilidade de efeitos estocásticos a longo prazo.

Estudos como o de Chaparian e Dehghanzade (2017) utilizaram o software PCXMC com

simulações de Monte Carlo para estimar a dose efetiva de diferentes tipos de radiografia dentária. Relataram valores de dose efetiva absorvida que variam de 2,6 μSv para radiografias periapicais a 16,1 μSv para radiografias panorâmicas, com um risco de cancro de até 20,9 casos por 10 milhões de crianças no caso de rastreios periapicais.

Na mesma linha, Zamani et al. (2020) compararam a CBCT e a radiografia panorâmica, observando que a CBCT gerou valores de REID significativamente mais elevados em crianças, especialmente em órgãos como a tiroide, a mucosa oral e as glândulas salivares. O risco foi maior em pacientes do sexo feminino e diminuiu com a idade. O estudo utilizou também o BEIR VII e a simulação de Monte Carlo para estimar a probabilidade de cancro, o que o torna um dos mais robustos nesta matéria. Por sua vez, Yeh & Chen (2018) aplicaram uma metodologia semelhante, confirmando que os rapazes, e em particular as raparigas, têm a maior concentração de CBCT utilizados para fins ortodônticos. Eles estimaram uma dose efetiva total entre 19,7 e 48,5 μSv e calcularam um risco de cancro entre 12 e 28 casos por milhão de análises, dependendo do órgão e da idade.

Na Europa, Marcu et al. (2018) realizaram uma estimativa prospetiva da dose efetiva em 561 pacientes pediátricos utilizando a simulação de Monte Carlo com o sistema ProMax 3D. Relataram que doses mais altas foram associadas a indicações como anormalidades dentárias ou exposições múltiplas, atingindo valores cumulativos de até 152 μSv em casos complexos. Além disso, mostraram que o aumento do campo de visão (Field of View) estava correlacionado com aumentos exponenciais da dose. No contexto clínico experimental, Hedesiu et al. (2018) mostraram que a CBCT representou 70% da dose radiológica cumulativa total em crianças expostas a várias técnicas. Identificaram as raparigas com idades compreendidas entre os 11 e os 15 anos como o grupo com maior risco cumulativo, alertando para a racionalização inadequada das exposições na prática diária.

Outros estudos abordaram esta questão do ponto de vista da otimização. Por exemplo, Kim et al. (2024) exploraram a redução da dose em CBCT pediátrica utilizando filtros de cobre. Verificaram que, com a aplicação de 1,6 mm de cobre, foi obtida uma redução significativa da dose do produto de superfície (APD), até 138 $\text{mGy}\cdot\text{cm}^2$, sem comprometer a qualidade do diagnóstico. Para além deste ponto, a qualidade diminuiu significativamente e o valor de diagnóstico perdeu-se, com uma imagem classificada como “não interpretável” para valores inferiores a 103 $\text{mGy}\cdot\text{cm}^2$ ”.

Relativamente às técnicas intraorais, Wiley et al. (2020) utilizaram dosímetros em fantasmas pediátricos e demonstraram que a mordida extraoral era 3 a 11 vezes superior em dose à radiografia intraoral convencional, o que posiciona esta técnica como potencialmente arriscada se utilizada indiscriminadamente.

Por fim, Johnson & Ludlow (2020) compararam a colimação circular versus retangular em radiografias intraorais de crianças e adultos, constatando que o uso do colimador retangular Focus-RC reduziu a dose efetiva em crianças de 89 para 44 μSv , e o risco para a tireoide em até 59%, reforçando as recomendações do Relatório NCRP nº 177 (2019) sobre técnicas de redução de dose.

4.3. Estratégias de proteção contra as radiações

A implementação de estratégias de proteção contra as radiações em Odontopediatria representa um requisito ético e clínico essencial, especialmente tendo em conta o risco acrescido de efeitos estocásticos nas crianças. Vários estudos incluídos nesta revisão fornecem evidências sobre medidas físicas, ajustes técnicos e obstáculos institucionais na prática clínica.

Johnson & Ludlow (2020) realizaram um estudo experimental utilizando dosímetros OSL para comparar a dose absorvida com diferentes colimadores e protetores da tireoide durante a realização de radiografias intraorais. A sua conclusão mais relevante foi que a utilização do colimador retangular Focus-RC reduziu a dose efetiva até 51% e que a dose absorvida pela tireoide foi significativamente reduzida quando foram utilizados protetores específicos. Esses resultados apoiam o uso sistemático de colimação retangular e blindagem, conforme também recomendado pelo relatório NCRP n ° 177 (2019).

Chaparian e Dehghanzade (2017) combinaram a medição direta do DAP com simulações de Monte Carlo, concluindo que o ajuste do campo de visão e a limitação do número de exposições são estratégias eficazes para reduzir o risco cumulativo. A sua análise comparativa mostrou que as técnicas intraorais bem ajustadas podem ser ainda mais seguras do que as técnicas panorâmicas mal configuradas.

No domínio da otimização técnica, Kim et al. (2024) avaliaram a utilização de filtros de cobre (0,8 mm e 1,6 mm) na fonte de CBCT num estudo com fantasmas dentários. Determinaram que a aplicação de 1,6 mm de cobre permitia uma redução até 40% da dose superficial do produto (DPA), mantendo uma qualidade de diagnóstico aceitável até um

determinado limiar (DPA mínimo aceitável: 138 mGy-cm²). Este tipo de medição física, facilmente adaptável na prática clínica, destaca-se como uma intervenção eficaz e econômica.

Por seu lado, Campbell et al. (2020) realizaram um inquérito nacional aos membros da AAPD (Academia Americana de Odontopediatria) nos Estados Unidos, e relataram que apenas 22,3% dos dentistas pediátricos aplicavam sistematicamente a colimação retangular. Este baixo nível de conformidade está associado a uma falta de formação, resistência à mudança tecnológica e percepções errôneas sobre a eficácia diagnóstica das imagens mais limitadas.

Marcu et al. (2018), usando simulações de Monte Carlo, mostraram que níveis mais altos de exposição na CBCT estavam diretamente correlacionados com o uso de grandes campos de visão e a realização de várias varreduras sem reajustes. Eles propõem que uma seleção rigorosa dos campos de visão e um ajuste individualizado do mAs são medidas fundamentais para reduzir a dose sem afetar a utilidade clínica do teste. Salientam também a importância de adaptar os protocolos de acordo com o tamanho do paciente, uma prática nem sempre observada num ambiente clínico real.

4.4. Otimização técnica e qualidade de imagem

A otimização técnica na imagiologia dentária pediátrica procura o equilíbrio entre a minimização da dose de radiação e a manutenção de uma qualidade de diagnóstico suficiente. Kim et al. (2024) realizaram um estudo experimental com fantasmas dentários e filtros de cobre para avaliar a viabilidade de reduzir a dose em CBCT pediátrica sem afetar a qualidade da imagem. Comparando diferentes espessuras de filtros (0,8 mm e 1,6 mm), observaram que o uso de cobre de 1,6 mm reduziu a DAP até 138 mGy-cm², sem alterar a qualidade do diagnóstico até esse limite. A imagem foi considerada "não interpretável" pelos avaliadores para um DAP inferior a 103 mGy-cm².

Em uma abordagem complementar, Marcu et al. (2018) utilizaram simulações de Monte Carlo em 561 pacientes pediátricos para estimar o impacto de ajustes técnicos como o campo de visão (*Field of View*) e o número de exposições. Concluíram que o aumento do campo de visão estava diretamente associado a aumentos na dose efetiva, sem necessariamente melhorar a qualidade do diagnóstico. Por isso, recomendaram uma abordagem personalizada dos protocolos de CBCT, ajustando os parâmetros de acordo

com a região anatômica de interesse e as características do paciente.

Johnson & Ludlow (2020) centraram-se na comparação da colimação circular e retangular na radiografia intraoral. Determinaram que o colimador retangular reduziu a dose sem perda notável da qualidade da imagem de diagnóstico, em parte porque os feixes dispersos que não forneciam informações relevantes foram eliminados. Além disso, a combinação com a proteção da tireoide ajudou a preservar as estruturas sensíveis sem distorcer o quadro clínico.

Wiley et al. (2020) avaliaram a técnica de mordida extraoral em comparação com as técnicas intraoral e panorâmica, em termos de dose e desempenho de diagnóstico. Embora a técnica extraoral tenha uma dose entre 3 e 11 vezes superior à da técnica intraoral, o seu maior campo visual e a menor necessidade de repetição em pacientes pediátricos com reflexo de vômito tornam-na útil em determinadas situações clínicas. A qualidade da imagem foi considerada “equivalente” para as lesões cariosas interproximais, desde que os parâmetros técnicos tenham sido corretamente otimizados.

Por fim, Zamani et al. (2020) discutiram a relação entre a qualidade do diagnóstico e o risco radiológico ao comparar a CBCT com a panorâmica em diferentes faixas etárias. Utilizaram simulações de Monte Carlo com o BEIR VII para correlacionar a dose efetiva com o REID, demonstrando que a qualidade de diagnóstico adicional da CBCT só se justifica em situações clínicas complexas. Recomendaram a utilização da CBCT apenas quando o planejamento do tratamento sofre alterações significativas.

4.5. Frequência e tendências na utilização de imagens em Odontopediatria

A frequência e os padrões de utilização de técnicas radiológicas em Odontopediatria refletem tanto as necessidades clínicas como as práticas institucionais e o nível de adesão às recomendações internacionais. Numa grande análise retrospectiva, Hennig et al. (2023) revelaram que a ortopantomografia (OPG) foi a técnica mais utilizada, seguida das imagens cefalométricas e de CBCT. Os dados mostraram que os rapazes foram submetidos a mais exames do que as raparigas, e que a frequência aumentou com a idade, evidenciando uma preferência clínica por métodos mais acessíveis, mas também uma tendência crescente para a utilização da CBCT, mesmo em situações em que a sua indicação poderia ser questionável.

De forma complementar, Arslan & Tuğutlu (2023) verificaram que 25,6% dos casos

pediátricos não apresentavam uma OPG prévia antes da realização da CBCT, o que representa uma violação do princípio da indicação escalonada. Além disso, foi observado um padrão de uso excessivo de campos de visão amplos em crianças, muitas vezes sem justificativa clínica clara.

Hedesiu et al. (2018), confirmaram que a CBCT foi responsável por até 70% da dose cumulativa total na população infantil, apesar do facto de também terem sido realizadas técnicas 2D. A alta frequência de CBCT foi associada ao planeamento ortodôntico e às anomalias dentárias, mas também à falta de protocolos padronizados para decidir sobre a técnica mais adequada de acordo com a idade e o diagnóstico.

Numa abordagem transversal mais recente, Nahir et al. (2024) mostraram que, em 34,8% dos casos, a indicação da CBCT não estava totalmente justificada. Além disso, detetaram o uso frequente de grandes campos de visão, o que aumenta desnecessariamente a dose em tecidos sensíveis.

5. CONCLUSÕES

A presente revisão integrativa permitiu analisar criticamente a evidência científica mais recente (2017-2024) relacionada com a exposição à radiação ionizante em procedimentos de imagiologia dentária na população pediátrica. Com base no exame de doze estudos selecionados, foram identificados padrões comuns nas técnicas utilizadas, nas estratégias de proteção implementadas e nas metodologias aplicadas, fornecendo um quadro abrangente para a avaliação da prática radiológica em odontopediatria.

Em primeiro lugar, os estudos concordam que a utilização da Tomografia Computorizada de Feixe Cônico (CBCT) em crianças deve ser uma exceção clínica e não uma ferramenta de rotina. A frequência crescente da sua utilização, muitas vezes sem justificação diagnóstica validada ou sem a aplicação prévia de técnicas de menor exposição, como a ortopantomografia ou a radiografia intraoral, revela uma preocupante desconexão entre as evidências e a prática clínica. Esta descoberta revela a necessidade de reforçar a formação profissional, as auditorias clínicas e a aplicação rigorosa dos princípios de justificação diagnóstica.

Em segundo lugar, confirma-se que a dose efetiva e o risco estimado de cancro (REID/LAR) são significativamente mais elevados em crianças expostas a técnicas avançadas como a CBCT, particularmente quando não são aplicadas medidas de proteção adequadas. A utilização de modelos matemáticos como o BEIR VII e as simulações de Monte Carlo consolida-se como uma ferramenta válida para quantificar estes riscos e orientar decisões clínicas mais seguras. A glândula tireoide, as glândulas salivares e a glândula óssea facial foram identificadas como órgãos de vulnerabilidade particular, com uma absorção de dose significativa nos doentes pediátricos.

Em terceiro lugar, a revisão mostrou que existem estratégias eficazes de proteção contra a radiação que podem e devem ser implementadas sistematicamente. A utilização de colimadores retangulares, protetores tiroidianos, filtros de cobre e o ajuste de parâmetros técnicos como o campo de visão (FOV), a kilovoltagem (kVp) e a corrente (mAs) demonstraram que são eficazes para reduzir de forma significativa a dose absorvida sem comprometer a qualidade do diagnóstico. No entanto, a baixa adesão a estas medidas, especialmente entre os profissionais em exercício, reforça a urgência de regulamentos mais rigorosos e de programas de formação contínua.

Finalmente, foi demonstrado que a redução da dose e a qualidade do diagnóstico não são objetivos mutuamente exclusivos. Vários estudos confirmaram que é possível obter imagens clinicamente úteis mesmo com parâmetros de exposição reduzidos, desde que sejam utilizadas estratégias de otimização baseadas em evidências. Esta otimização técnica, quando integrada em protocolos clínicos personalizados e adaptados à idade e condição do paciente, permite garantir uma prática radiológica segura, eficaz e alinhada com os princípios ALARA e ALADAIP.

No seu conjunto, as pretensões do presente estudo reforçam a necessidade de uma abordagem mais crítica, ética e personalizada na utilização das técnicas de imagiologia dentária em crianças. A correta justificação, a aplicação sistemática de medidas de proteção e a otimização técnica são pilares essenciais para uma Odontopediatria segura, moderna e cientificamente fundamentada. Estes resultados apontam também para lacunas de conhecimento que devem ser abordadas em investigações futuras, nomeadamente no que respeita à validação de protocolos específicos para cada idade e à avaliação longitudinal dos riscos cumulativos. A perceção de risco por parte dos profissionais de saúde e dos encarregados de educação foi pouco abordada na literatura disponível, revelando uma potencial lacuna que justifica investigação futura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdelkarim, A. (2019). Cone-Beam Computed Tomography in Orthodontics. *Dentistry Journal*, 7(3), 89. <https://doi.org/10.3390/dj7030089>
- Armato, S. G., Grusauskas, N. P., MacMahon, H., Torno, M. D., Li, F., Engelmann, R. M., Starkey, A., Pudela, C. L., Marino, J. S., Santiago, F., Chang, P. J., & Giger, M. L. (2012). Research Imaging in an Academic Medical Center. *Academic Radiology*, 19(6), 762-771. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2012.02.002>
- Arslan, Z., & Tuğutlu, E. (2023). A Two-Year Retrospective Evaluation of Cone Beam Computed Tomography Indications in Pediatric, Adolescent and Adult Patients. *Journal of Dentistry Indonesia*, 30(1), 8-14. <https://doi.org/10.14693/jdi.v30i1.1469>
- Benavides, E., Krecioch, J. R., Connolly, R. T., Allareddy, T., Buchanan, A., Spelic, D., O'Brien, K. K., Keels, M. A., Mascarenhas, A. K., Duong, M.-L., Aerne-Bowe, M. J., Ziegler, K. M., & Lipman, R. D. (2024). Optimizing radiation safety in dentistry: Clinical recommendations and regulatory considerations. *The Journal of the American Dental Association*, 155(4), 280-293.e4. <https://doi.org/10.1016/j.adaj.2023.12.002>
- Bethesda, M. (2021). Effect of Oral Health on the Community, Overall Well-Being, and the Economy. En *Oral Health in America: Advances and Challenges [Internet]*. National Institute of Dental and Craniofacial Research(US). <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK578297/>
- Campbell, R. E., Wilson, S., Zhang, Y., & Scarfe, W. C. (2020). A survey on radiation exposure reduction methods including rectangular collimation for intraoral radiography by pediatric dentists in the United States. *The Journal of the American Dental Association*, 151(4), 287-296. <https://doi.org/10.1016/j.adaj.2020.01.014>
- Casamassimo, P. S., & Townsend, J. A. (2019). 1—The Importance of Pediatric Dentistry. En A. J. Nowak, J. R. Christensen, T. R. Mabry, J. A. Townsend, & M. H. Wells (Eds.), *Pediatric Dentistry (Sixth Edition)* (pp. 2-7). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-60826-8.00001-8>
- CDC. (2024, febrero 26). *Guidelines for ALARA – As Low As Reasonably Achievable. Radiation and Your Health.* <https://www.cdc.gov/radiation-health/safety/alara.html>
- Chaparian, A., & Dehghanzade, F. (2017). 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*, 15(2), 197-205. <https://doi.org/10.18869/acadpub.ijrr.15.2.197>
- Chauhan, V., & Wilkins, R. C. (2019). A comprehensive review of the literature on the biological effects from dental X-ray exposures. *International Journal of Radiation Biology*, 95(2), 107-119. <https://doi.org/10.1080/09553002.2019.1547436>
- de Lucena, E. H. G., Júnior, G. A. P., & de Sousa, M. F. (2011). A política nacional de saúde bucal no Brasil no contexto do Sistema Único de Saúde. *Tempus—Actas de Saúde Coletiva*, 5(3), 53-63.

- Elmorabit, N., Azougagh, M., Marrakchi, A., & Ennibi, O. K. (2025). Radiation protection in dentistry: A systematic review of knowledge, attitudes, and practices (KAP) and clinical recommendations. *Egyptian Journal of Radiology and Nuclear Medicine*, 56(1), 28. <https://doi.org/10.1186/s43055-025-01436-x>
- González-Moles, M. Á., Aguilar-Ruiz, M., & Ramos-García, P. (2022). Challenges in the Early Diagnosis of Oral Cancer, Evidence Gaps and Strategies for Improvement: A Scoping Review of Systematic Reviews. *Cancers*, 14(19), 4967. <https://doi.org/10.3390/cancers14194967>
- Hedesiu, M., Marcu, M., Salmon, B., Pauwels, R., Oenning, A. C., Almasan, O., Roman, R., Baciut, M., & Jacobs, R. (2018). Irradiation provided by dental radiological procedures in a pediatric population. *European Journal of Radiology*, 103, 112-117. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2018.04.021>
- Hennig, C.-L., Schüller, I. M., Scherbaum, R., Buschek, R., Scheithauer, M., Jacobs, C., & Mentzel, H.-J. (2023). Frequency of Dental X-ray Diagnostics in Children and Adolescents: What Is the Radiation Exposure? *Diagnostics*, 13(3), 394. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13030394>
- Hussain, S., Mubeen, I., Ullah, N., Shah, S. S. U. D., Khan, B. A., Zahoor, M., Ullah, R., Khan, F. A., & Sultan, M. A. (2022). Modern Diagnostic Imaging Technique Applications and Risk Factors in the Medical Field: A Review. *BioMed Research International*, 2022(1), 5164970. <https://doi.org/10.1155/2022/5164970>
- Johnson, K. B., & Ludlow, J. B. (2020). Intraoral radiographs. *The Journal of the American Dental Association*, 151(10), 726-734. <https://doi.org/10.1016/j.adaj.2020.06.019>
- Jones, J. A., Karouia, F., Cristea, O., Casey, R. C., Popov, D., & Maliev, V. (2018). Ionizing Radiation as a Carcinogen. En *Comprehensive Toxicology* (pp. 183-225). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801238-3.64295-2>
- Julu, Y., & Nagarathna, C. (2022). Biomonitoring of Genotoxic Effect in Children Exposed to Dental Radiographs during Pulpectomy Procedure—BM Cyt Assay. *International Journal of Clinical Pediatric Dentistry*, 15(Suppl 1), S63-S70. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10005-2135>
- Kim, H.-S., Choi, Y. J., Jeon, K. J., Han, S.-S., & Lee, C. (2024). Image quality-based dose optimization in pediatric cone-beam computed tomography: A pilot methodological study. *Imaging Science in Dentistry*, 54(3), 264-270. <https://doi.org/10.5624/isd.20240030>
- Linnet, M. S., Slovis, T. L., Miller, D. L., Kleinerman, R., Lee, C., Rajaraman, P., & de Gonzalez, A. B. (2012). Cancer Risks Associated with External Radiation From Diagnostic Imaging Procedures. *CA: a cancer journal for clinicians*, 62(2), 75-100. <https://doi.org/10.3322/caac.21132>
- Manterola, C., Asenjo-Lobos, C., & Otzen, T. (2014). Jerarquización de la evidencia: Niveles de evidencia y grados de recomendación de uso actual. *Revista chilena de infectología*, 31(6), 705-718. <https://doi.org/10.4067/S0716-10182014000600011>
- Marcu, M., Hedesiu, M., Salmon, B., Pauwels, R., Stratis, A., Oenning, A. C. C., Cohen, M. E., Jacobs, R., Baciut, M., Roman, R., Dinu, C., Rotaru, H., Barbur, I., & DIMITRA Research Group. (2018). Estimation of the radiation dose for pediatric CBCT indications: A prospective study on ProMax3D. *International Journal of Paediatric Dentistry*, 28(3), 300-309. <https://doi.org/10.1111/ipd.12355>

- Mendonça, R. P. de, Estrela, C., Bueno, M. R., Carvalho, T. C. A. S. G., Estrela, L. R. de A., & Chilvarquer, I. (2025). Principles of radiological protection and application of ALARA, ALADA, and ALADAIP: A critical review. *Brazilian Oral Research*, 39, e14. <https://doi.org/10.1590/1807-3107bor-2025.vol39.014>
- Molteni, R. (2014). Oral and Maxillofacial Radiology. En *Comprehensive Biomedical Physics* (pp. 89-120). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53632-7.00205-7>
- Nahir, C. B., Çitir, M., Çolak, S., & Keldal, G. (2024). Assessment of cone beam computed tomography use in pediatric and adolescent patients: A cross-sectional study. *BMC Oral Health*, 24(1), 1068. <https://doi.org/10.1186/s12903-024-04813-6>
- Oening, A. C., Jacobs, R., Salmon, B., & the DIMITRA Research Group (<http://www.dimitra.be>). (2021). ALADAIP, beyond ALARA and towards personalized optimization for paediatric cone-beam CT. *International Journal of Paediatric Dentistry*, 31(5), 676-678. <https://doi.org/10.1111/ipd.12797>
- Różyło-Kalinowska, I. (2021). Panoramic radiography in dentistry. *Clinical Dentistry Reviewed*, 5(1), 26. <https://doi.org/10.1007/s41894-021-00111-4>
- Shah, S. (2018). Paediatric dentistry- novel evolvement. *Annals of Medicine and Surgery*, 25, 21. <https://doi.org/10.1016/j.amsu.2017.12.005>
- Suomalainen, A., Pakbaznejad Esmaili, E., & Robinson, S. (2015). Dentomaxillofacial imaging with panoramic views and cone beam CT. *Insights into Imaging*, 6(1), Article 1. <https://doi.org/10.1007/s13244-014-0379-4>
- Vom, J., & Williams, I. (2017). Justification of radiographic examinations: What are the key issues? *Journal of Medical Radiation Sciences*, 64(3), 212-219. <https://doi.org/10.1002/jmrs.211>
- Wenzel, A. (2021). Radiographic modalities for diagnosis of caries in a historical perspective: From film to machine-intelligence supported systems. *Dentomaxillofacial Radiology*, 50(5), 20210010. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20210010>
- Wiley, D., Yepes, J. F., Sanders, B. J., Jones, J. E., Johnson, K. B., & Tang, Q. (2020). Pediatric Phantom Dosimetry Evaluation of the Extraoral Bitewing. *Pediatric Dentistry*, 42(1), 41-46.
- Yeh, J.-K., & Chen, C.-H. (2018). Estimated radiation risk of cancer from dental cone-beam computed tomography imaging in orthodontics patients. *BMC Oral Health*, 18(1), 131. <https://doi.org/10.1186/s12903-018-0592-5>
- Yeung, A. W. K. (2019). The “As Low As Reasonably Achievable” (ALARA) principle: A brief historical overview and a bibliometric analysis of the most cited publications. *Radioprotection*, 54(2), Article 2. <https://doi.org/10.1051/radiopro/2019016>
- Zamani, H., Falahati, F., Omidi, R., Abedi-Firouzjah, R., Zare, M. H., & Momeni, F. (2020). Estimating and comparing the radiation cancer risk from cone-beam computed tomography and panoramic radiography in pediatric and adult patients. *International Journal of Radiation Research*, 18(4), 885-893. <https://doi.org/10.52547/ijrr.18.4.885>
- Zheng, L. W., Wang, J. Y., & Qing Yu, R. (2019). Biomaterials in Dentistry. En *Encyclopedia of Biomedical Engineering* (pp. 278-288). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801238-3.11033-5>

