

INSTITUTO UNIVERSITÁRIO EGAS MONIZ

MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA DENTÁRIA

**AVANÇOS EM MÉTODOS DIAGNÓSTICOS E TECNOLOGIAS
DE IMAGEM NA MEDICINA DENTÁRIA: UMA REVISÃO DE
LITERATURA**

Trabalho submetido por

Ana Amélia Gontijo Graça de Magalhães

Para obtenção do grau de Mestre em Medicina Dentária.

Julho de 2025



EGAS MONIZ SCHOOL
of HEALTH & SCIENCE

INSTITUTO UNIVERSITÁRIO
EGAS MONIZ

INSTITUTO UNIVERSITÁRIO EGAS MONIZ

MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA DENTÁRIA

**AVANÇOS EM MÉTODOS DIAGNÓSTICOS E TECNOLOGIAS
DE IMAGEM NA MEDICINA DENTÁRIA: UMA REVISÃO DE
LITERATURA**

Trabalho submetido por

Ana Amélia Gontijo Graça de Magalhães

Para obtenção do grau de **Mestre** em Medicina Dentária.

Trabalho orientado por

Prof. Doutora Ana Teresa Santos

Julho de 2025

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, que, com amor incondicional e apoio incansável, sempre foram minha base e inspiração. Obrigada por acreditarem em mim em cada passo dessa jornada.

À minha irmã, minha eterna companheira, por compartilhar comigo sonhos, desafios e conquistas, sempre com carinho e cumplicidade.

E ao meu amado marido, cuja paciência, incentivo e compreensão tornaram este caminho mais leve. Seu apoio inabalável foi essencial para que eu chegasse até aqui.

A vocês, dedico esta conquista.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao Instituto Universitário Egas Moniz, pela oportunidade, acolhimento e infraestrutura que possibilitaram o desenvolvimento deste trabalho com qualidade e excelência acadêmica.

Expresso minha profunda gratidão à minha orientadora, Professora Doutora Ana Teresa Santos, por sua dedicação, paciência e valiosos ensinamentos. Seu constante apoio, orientação e incentivo foram fundamentais para a conclusão desta tese.

Agradeço ainda a todos os professores, colegas e funcionários da universidade que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização e sucesso deste projeto.

RESUMO

Introdução: Os avanços recentes em tecnologias de diagnóstico por imagem melhoraram significativamente o campo da medicina dentária. Esta revisão examina essas novas técnicas de imagem e seu impacto no aumento da precisão, permitindo a detecção precoce e facilitando o planejamento eficaz do tratamento em medicina dentária. **Métodos:** Uma análise bibliométrica e de conteúdo foi conduzida em 61 artigos revisados por pares recuperados do banco de dados Scopus, publicados entre 2019 e 2024. Os critérios de seleção se concentraram em estudos que exploram avanços no diagnóstico dentário por meio de métodos de imagem inovadores e técnicas personalizadas para identificar patologias orais. A abordagem bibliométrica analisou tendências de publicação, enquanto a análise de conteúdo categorizou tecnologias emergentes e suas aplicações clínicas. **Resultados:** Nossas descobertas indicam uma mudança notável em direção à integração de tecnologias de ponta, incluindo tomografia computadorizada de feixe cônico (CBCT), inteligência artificial (IA) e biossensores. Esses avanços melhoraram significativamente a precisão do diagnóstico, particularmente em casos complexos, como doenças periodontais, fraturas dentárias e infecções orais. Estudos demonstram que o diagnóstico molecular e os algoritmos baseados em IA aumentam a personalização dos planos de tratamento, otimizando os resultados dos pacientes. **Conclusões:** As tecnologias de diagnóstico emergentes têm o potencial de melhorar tanto a qualidade quanto a eficiência do atendimento dentário. No entanto, sua implementação é desafiada por altos custos, necessidade de treinamento especializado e disparidades no acesso. Pesquisas futuras devem se concentrar em refinar modelos de diagnóstico baseados em IA, abordar considerações regulatórias e expandir a validação clínica de novas ferramentas de imagem. À medida que essas tecnologias evoluem, espera-se que aumentem a especificidade do diagnóstico, levando a abordagens de tratamento mais precisas e centradas no paciente. Em última análise, esses avanços oferecem oportunidades substanciais para transformar a prática médica dentária, fornecendo diagnósticos mais rápidos, menos invasivos e mais confiáveis.

Palavras-chave: diagnóstico; imagem; tecnologias; inteligência artificial; medicina dentária.

ABSTRACT

Introduction: Recent advancements in diagnostic imaging technologies have significantly improved the field of dental medicine. This review examines these new imaging techniques and their impact on enhancing accuracy, enabling early detection, and facilitating effective treatment planning in dentistry. **Methods:** A bibliometric and content analysis was conducted on 61 peer-reviewed articles retrieved from the Scopus database, published between 2019 and 2024. The selection criteria focused on studies exploring advances in dental diagnosis through innovative imaging methods and personalized techniques for identifying oral pathologies. The bibliometric approach analyzed publication trends, while content analysis categorized emerging technologies and their clinical applications. **Results:** Our findings indicate a notable shift towards integrating cutting-edge technologies, including Cone Beam Computed Tomography (CBCT), artificial intelligence (AI), and biosensors. These advancements have significantly improved diagnostic accuracy, particularly in complex cases such as periodontal diseases, dental fractures, and oral infections. Studies demonstrate that molecular diagnostics and AI-driven algorithms enhance the personalization of treatment plans, optimizing patient outcomes. **Conclusions:** Emerging diagnostic technologies have the potential to enhance both the quality and efficiency of dental care. However, their implementation is challenged by high costs, the need for specialized training, and disparities in access. Future research should focus on refining AI-driven diagnostic models, addressing regulatory considerations, and expanding the clinical validation of novel imaging tools. As these technologies evolve, they are expected to increase diagnostic specificity, leading to more precise, patient-centered treatment approaches. Ultimately, these advancements offer substantial opportunities to transform dental practice by providing faster, less invasive, and more reliable diagnoses.

Keywords: diagnostic; imaging; technologies; artificial intelligence; dentistry.

ÍNDICE

RESUMO	1
ABSTRACT	3
1. INTRODUÇÃO	7
2. MATERIAIS E MÉTODOS	13
2.1 Metodologia	13
2.2 Seleção de Dados.....	14
3. RESULTADOS.....	17
3.1 O Desenvolvimento do Campo.....	17
3.1.1 A Evolução da Disciplina.....	17
3.1.2 Publicação de Periódicos.....	18
3.1.3 Distribuição Geográfica dos Autores.....	19
3.2 O Discurso Científico.....	21
3.2.1 Diagnóstico em Medicina Dentária.....	22
3.2.2 Cirurgia Dentária.....	24
3.2.3 Avanços em Imagem Dentária.....	26
3.2.4 Biomateriais.....	30
4. DISCUSSÃO.....	35
4.1 Impacto das Tecnologias de Imagem Emergentes na Prática na Medicina Dentária.....	35
4.2. Desafios e Limitações.....	36
4.3 Direções Futuras para Pesquisa e Considerações Políticas.....	36
5. CONCLUSÃO	39
6. PUBLICAÇÕES	43
7. BIBLIOGRAFIA	45

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 – Fluxograma do processo de seleção dos estudos incluídos nesta revisão bibliográfica.....	16
FIGURA 2 – Frequência de artigos publicados por ano entre 2019 e 2024.....	19
FIGURA 3 – Tendências de publicação dos 10 principais periódicos.....	20
FIGURA 4 – Distribuição global de publicações (2019–2024).....	22
FIGURA 5 – Visualização de nuvem de palavras usadas com frequência e repetidamente sobre diagnóstico.....	24
FIGURA 6 – Visualização de nuvem de palavras usadas com frequência e repetidamente sobre cirurgia.....	26
FIGURA 7 – Visualização de nuvem de palavras usadas com frequência e repetidamente sobre imagens.....	29
FIGURA 8 – Visualização de nuvem de palavras usadas com frequência e repetidamente sobre biomateriais.....	32

1. INTRODUÇÃO

O campo da medicina dentária passou por avanços notáveis com a introdução de novas tecnologias de diagnóstico e imagem que estão a remodelar a prática clínica. Essas inovações permitem diagnósticos mais rápidos, precisos e personalizados. Notavelmente, essas tecnologias emergentes aumentaram a nossa compreensão das estruturas anatómicas dentárias e periodontais. Isso facilitou o planeamento de tratamentos minimamente invasivos e melhorou as taxas de sucesso em várias intervenções clínicas. Um avanço significativo é o uso de Protótipos Anatómicos Multifuncionais (MAPs), que foram incorporados ao planeamento cirúrgico e à educação em medicina dentária. Esses protótipos oferecem modelos tridimensionais altamente detalhados de estruturas dentárias, permitindo que profissionais e alunos simulem procedimentos complexos com maior precisão. Em comparação com os métodos tradicionais de imagem bidimensional, os MAPs fornecem uma representação mais realista da anatomia oral, auxiliando no planeamento pré-operatório e no treino educacional. Pedrinaci (2024) destaca que essa tecnologia promove maior precisão no diagnóstico e tratamento de condições como fraturas dentárias e anomalias de desenvolvimento.

O crescente investimento em investigação aplicada tem impulsionado a incorporação destas ferramentas inovadoras no quotidiano clínico, a refletir uma tendência mais ampla de integração entre engenharia biomédica, ciência dos materiais e prática dentária. Neste contexto, observa-se uma valorização da visualização tridimensional não apenas como um recurso técnico, mas como um elemento central no raciocínio clínico e na tomada de decisão partilhada entre profissional e paciente. Os modelos digitais e protótipos impressos auxiliam igualmente na comunicação interdisciplinar, sobretudo em casos clínicos complexos que envolvem várias especialidades.

Outro desenvolvimento importante na medicina dentária é a integração da inteligência artificial (IA) na análise de imagens dentárias, incluindo radiografias e tomografias computadorizadas de feixe cónico (CBCT). Algoritmos de IA demonstraram a capacidade de identificar padrões em imagens de densidade óssea com um nível de precisão que frequentemente excede as capacidades humanas. Essa capacidade auxilia significativamente na deteção precoce de doenças periodontais e no planeamento de implantes (Arjun et al., 2024). A implementação de IA em diagnósticos dentários

umenta a eficiência, permitindo que os clínicos otimizem o seu fluxo de trabalho e melhorem as taxas de sucesso do tratamento.

A IA tem, adicionalmente, promovido avanços no domínio da previsão clínica. Modelos estatísticos alimentados por grandes bases de dados estão a ser utilizados para antecipar complicações pós-operatórias, falhas de implante e até recidivas de lesões. Tal capacidade preditiva pode ser essencial para reduzir riscos e estabelecer protocolos personalizados de acompanhamento. Contudo, a aplicação ética destes algoritmos depende do controlo sobre o viés dos dados utilizados no seu treino, bem como da transparência nas decisões assistidas por máquina — desafios que permanecem em aberto no panorama científico atual.

Por exemplo, o estudo de Gowdar (2024) destaca o papel da IA no reconhecimento de características específicas do tecido ósseo e dentário. Isso apoia o planeamento personalizado de intervenções como enxertos ósseos e tratamentos ortodônticos, que são cruciais para alcançar resultados ideais para os pacientes. Nos últimos anos, os métodos de diagnóstico molecular ganharam destaque, particularmente no uso de biomarcadores para detetar infeções e gerir condições inflamatórias orais. A identificação de biomarcadores específicos permite que os médicos monitorem a progressão das doenças periodontais e prevejam as respostas ao tratamento com maior precisão. Agwan (2023) enfatiza que essa abordagem aprimora as capacidades de intervenção precoce, contribuindo para um atendimento dentário mais personalizado.

Embora os biomarcadores não sejam uma novidade na medicina em geral, a sua aplicabilidade no contexto bucal ainda se encontra em consolidação. A saliva, em particular, tem-se revelado um fluido biológico promissor por ser de fácil recolha, refletir alterações locais e sistémicas, e permitir análises não invasivas. A padronização de protocolos para a colheita, conservação e interpretação destes dados é um passo essencial para a sua integração definitiva na prática clínica, favorecendo diagnósticos mais precoces e individualizados.

A integração de diagnósticos moleculares com IA tem o potencial de revolucionar o acompanhamento de doenças ao oferecer estratégias de tratamento individualizadas com base nas características biológicas únicas de um paciente. Isso é particularmente significativo para o tratamento de condições periodontais crónicas, onde abordagens terapêuticas personalizadas podem impactar significativamente os resultados a longo

prazo. A detecção rápida de infecções e inflamações é essencial para manter a saúde oral. Os biossensores surgiram como uma inovação promissora nessa área. Esses dispositivos permitem o diagnóstico em tempo real de infecções bacterianas na cavidade oral, facilitando respostas terapêuticas rápidas e direcionadas.

A miniaturização dos sensores e o avanço das tecnologias “point-of-care” tornam possível a integração destes dispositivos em instrumentos clínicos convencionais. Esta evolução promove uma mudança de paradigma: do diagnóstico centrado exclusivamente no consultório para um modelo contínuo, portátil e potencialmente conectado ao registo clínico eletrónico do paciente. Adicionalmente, abre-se a possibilidade de monitorização remota, o que representa um avanço significativo para populações com acesso limitado a cuidados regulares.

A capacidade de detetar patógenos numa fase inicial é crucial para condições como abscessos dentários e peri-implantite, onde uma intervenção rápida é necessária para prevenir complicações. Os biossensores representam uma nova era na medicina dentária de precisão, oferecendo aos clínicos uma ferramenta de diagnóstico não invasiva, rápida e altamente precisa (Chen et al., 2024). Esta revisão examina o impacto das tecnologias de diagnóstico emergentes e métodos de imagem inovadores no campo da medicina dentária. A discussão está estruturada em torno de três temas principais: avanços em imagem dentária, diagnósticos moleculares e personalizados e tecnologias para diagnosticar infeções orais. Cada secção explora os benefícios e limitações destas inovações, bem como os desafios éticos e económicos associados à sua implementação na prática clínica.

Esta investigação fornece contributos relevantes com significado académico e prático para a medicina dentária. Academicamente, constitui um roteiro abrangente, identificando estudos essenciais, tendências de investigação influentes e estruturas conceptuais importantes que moldaram o campo. Além disso, para decisores políticos e gestores de saúde, os resultados oferecem pistas sobre como otimizar a alocação de recursos, fortalecer colaborações interdisciplinares e avançar estratégias de saúde oral. Esta revisão também aborda lacunas críticas na literatura existente, como a validação clínica de tecnologias emergentes, questões de acessibilidade e a necessidade de padronização em diagnósticos orientados por IA.

Ao enfrentar estas lacunas, esta investigação pretende fomentar o desenvolvimento de novos modelos de aplicação tecnológica adaptados à realidade da prática clínica, especialmente em contextos com recursos limitados. A democratização do acesso às inovações dentárias depende não apenas da sua eficácia técnica, mas também da sua viabilidade económica, simplicidade de utilização e aceitação por parte dos profissionais. A reflexão ética em torno da adoção de tecnologias emergentes — como a responsabilidade nos diagnósticos automatizados ou a proteção de dados sensíveis — configura-se também como ponto central nesta análise.

Além dos avanços tecnológicos explicitados, é crucial considerar a transversalidade entre as diversas áreas do conhecimento que se interconectam na prática dentária moderna. A colaboração entre profissionais de engenharia, informática, biotecnologia e ciências da saúde tem permitido não só a criação de ferramentas diagnósticas mais precisas, mas também a implementação de soluções integradas que melhoram a experiência do paciente. Essa abordagem multidisciplinar promove o desenvolvimento de protocolos inovadores, que têm o potencial de redefinir os padrões de cuidado e de intervenção clínica.

Para além do impacto técnico, a adoção destas tecnologias suscita importantes reflexões éticas. Questões relativas à privacidade dos dados dos pacientes, à transparência dos algoritmos de inteligência artificial e à gestão de possíveis vieses nas análises diagnósticas exigem uma atenção rigorosa. É imperativo que a implementação dessas inovações se concretize num contexto de regulamentação clara e de constante monitorização, de modo a assegurar que os avanços alcançados não comprometam a ética profissional ou a confiança dos utentes nos serviços de saúde.

Adicionalmente, o investimento na formação contínua dos profissionais é um fator determinante para o sucesso dessas inovações. A transição para uma prática clínica digital exige uma atualização constante das competências, que deve ser incorporada aos currículos académicos e à formação pós-graduada. Esta preparação não só melhora a capacidade de integração das novas tecnologias, mas também fomenta uma cultura de inovação e adaptabilidade entre os profissionais da medicina dentária.

Em suma, a convergência entre inovação tecnológica, formação especializada e princípios éticos robustos configura o cenário promissor para o futuro da medicina dentária, onde o

diagnóstico precoce e o tratamento personalizado poderão ser ampliados de forma sustentável e acessível.

Este artigo compreende cinco secções. A segunda secção detalha a metodologia utilizada para a recolha e seleção de dados, bem como a estrutura da investigação. A terceira secção destaca as principais conclusões relacionadas com a evolução do campo e o seu discurso académico. As secções finais apresentam uma discussão crítica dos resultados e terminam com uma avaliação das direcções futuras para investigação e aplicação clínica.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. METODOLOGIA

A análise bibliométrica é um método crucial para avaliações qualitativas e quantitativas da literatura científica (Donthu et al., 2021). Ela fornece uma estrutura sistemática para avaliar resultados de pesquisa, entender suas implicações e identificar tendências emergentes em tópicos específicos (Ninkov et al., 2022). Essa abordagem foi escolhida em vez de revisões sistemáticas ou meta-análises devido à sua capacidade de mapear tendências de pesquisa e quantificar a produção científica. Embora as meta-análises sejam eficazes para sintetizar descobertas estatísticas de ensaios clínicos, a análise bibliométrica identifica estudos influentes, lacunas de pesquisa e tendências emergentes, oferecendo uma perspectiva mais ampla sobre o desenvolvimento de tecnologias de diagnóstico por imagem na medicina dentária. Esse método foi particularmente reconhecido em áreas como tecnologias 5G (Mendonça et al., 2022), estudos regionais (Castaldi et al., 2022) e medicina dentária (Allani et al., 2024), onde mapeou efetivamente as contribuições de países, instituições, periódicos e pesquisadores individuais.

Na medicina dentária, a análise bibliométrica tem sido aplicada em várias especialidades, incluindo prótese dentária, endodontia, implantodontia, ortodontia, odontopediatria e periodontia, fornecendo insights valiosos para avanços futuros (Chen et al., 2023). Neste estudo, empregamos metodologias bibliométricas para conduzir uma revisão abrangente de abordagens emergentes em medicina dentária, com o objetivo de identificar tendências atuais no campo (Xie et al., 2024).

Nossa abordagem bibliométrica segue a estrutura BIBLIO, enfatizando a transparência metodológica e a análise quantitativa rigorosa (Montarezi et al., 2023). Ela integra orientação sobre técnicas de mapeamento científico (Donthu et al., 2021) e emprega indicadores bibliométricos abrangentes (Cabezas-Clavijo et al., 2021). Isso garante clareza, reprodutibilidade e inclusão, permitindo uma exploração completa e responsável do assunto.

2.2. SELEÇÃO DE DADOS

Para esta revisão, uma estratégia de busca booleana foi empregada usando as palavras-chave “diagnostic AND imaging AND technologies AND dentistry OR dental”. No entanto, essa consulta inicial foi refinada para melhorar a relevância e evitar resultados excessivamente amplos. Filtros adicionais foram aplicados para incluir apenas estudos que foram concluídos e publicados entre 2019 e 2024, conforme ilustrado na Figura 1.

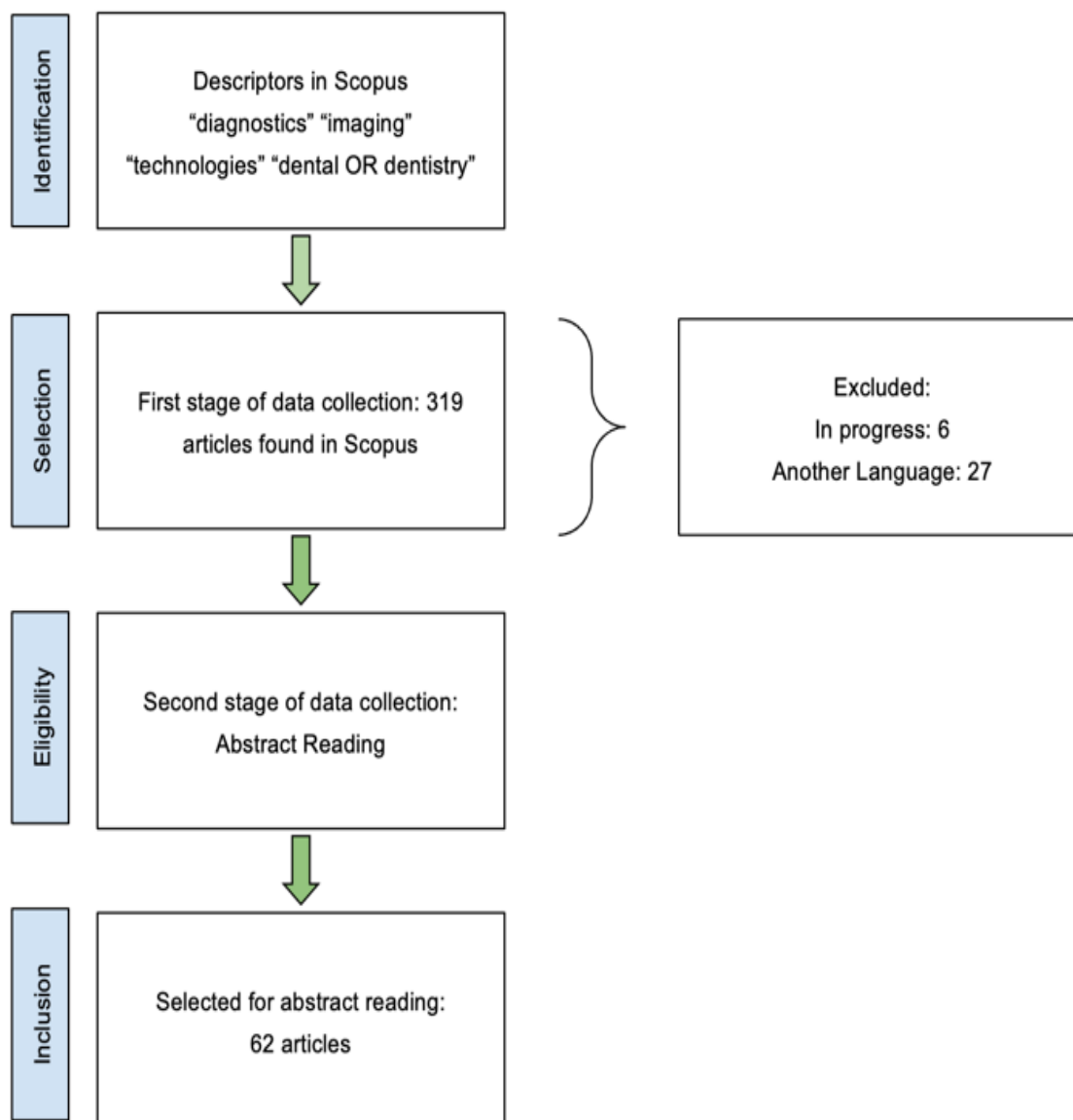


Figura 1. Fluxograma do processo de seleção de artigos na base de dados Scopus, desde a identificação inicial até a inclusão final para leitura do resumo.

Outros critérios incluíram limitar os resultados a artigos de periódicos revisados por pares em inglês, excluindo anais de conferências, editoriais e revisões sem dados primários.

Isso ajudou a focar em artigos de alta qualidade, orientados por pesquisa, que contribuem diretamente para avanços na prática clínica. O Scopus foi escolhido como o banco de dados primário devido à sua reputação estabelecida por fornecer conteúdo bibliométrico de alta qualidade e curadoria e seu amplo escopo multidisciplinar, mantendo critérios rigorosos de indexação. A decisão de usar um único banco de dados pode representar uma limitação, pois estudos relevantes indexados em outras fontes bibliográficas bem estabelecidas podem não ter sido considerados.

A decisão de excluir outras bases de dados foi baseada em pesquisas anteriores que indicam que o Scopus oferece uma cobertura mais abrangente de literatura científica de alto impacto na medicina dentária, ao mesmo tempo em que garante uma seleção rigorosa de conteúdo (Santos et al., 2023). No entanto, reconhecendo possíveis limitações, pesquisas futuras podem incorporar múltiplas bases de dados para expandir o escopo da análise e abordar potenciais vieses de seleção.

Um total de 61 artigos revisados por pares e indexados foram selecionados e compilados em dezembro de 2024, todos se concentrando em métodos de diagnóstico emergentes e tecnologias de imagem relevantes para a medicina dentária. Os critérios de inclusão exigiam que os artigos fossem estudos de pesquisa originais publicados em periódicos indexados, com foco claro em avanços em metodologias de diagnóstico na medicina dentária. Estudos que não tinham detalhes metodológicos suficientes, não foram revisados por pares ou não contribuíram diretamente para o campo de diagnóstico por imagem foram excluídos.

A análise foi conduzida por meio de uma revisão comparativa, onde cada tecnologia e método de diagnóstico foi avaliado quanto à sua aplicabilidade clínica, precisão diagnóstica e relevância para a medicina dentária. Além disso, uma avaliação qualitativa foi realizada com base em parâmetros como inovação tecnológica, facilidade de implementação clínica e precisão diagnóstica. Essa abordagem dupla permitiu uma avaliação mais estruturada, garantindo que tanto os aspectos técnicos quanto os clínicos fossem adequadamente considerados. O uso de métricas qualitativas fortaleceu a confiabilidade dos achados e aprimorou a avaliação de tecnologias diagnósticas emergentes.

A Figura 1 ilustra a estratégia de busca e o processo de seleção, detalhando o número de resultados iniciais, os estágios de filtragem e o número final de artigos incluídos. Essa

visualização passo a passo fornece transparência no processo de seleção e melhora a reprodutibilidade do estudo.

3. RESULTADOS

3.1. O DESENVOLVIMENTO DO CAMPO

3.1.1. A EVOLUÇÃO DA DISCIPLINA

Durante a revisão, analisamos uma seleção de artigos e organizamos todas as publicações pertinentes por ano de publicação. Esse método nos permitiu monitorar a progressão da pesquisa científica sobre avanços em métodos de diagnóstico e tecnologias de imagem na medicina dentária nos últimos anos. A **Figura 2** descreve o número de publicações a cada ano, enfatizando tendências de crescimento significativas na atividade de pesquisa.

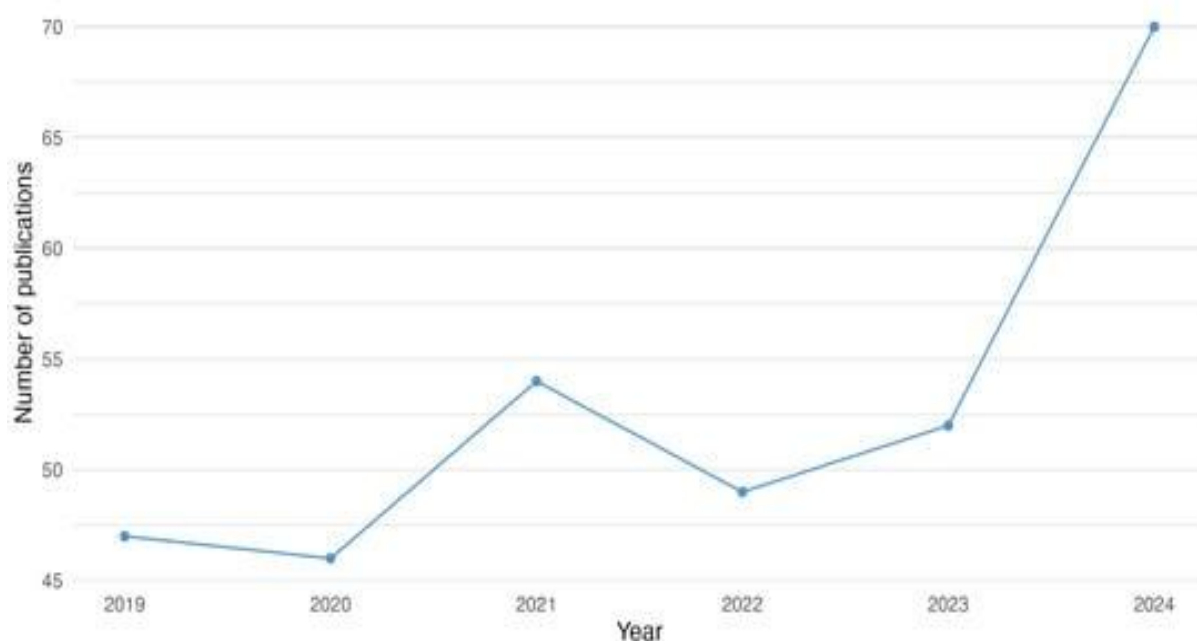


Figura 2. Frequência de artigos publicados por ano entre 2019 e 2024.

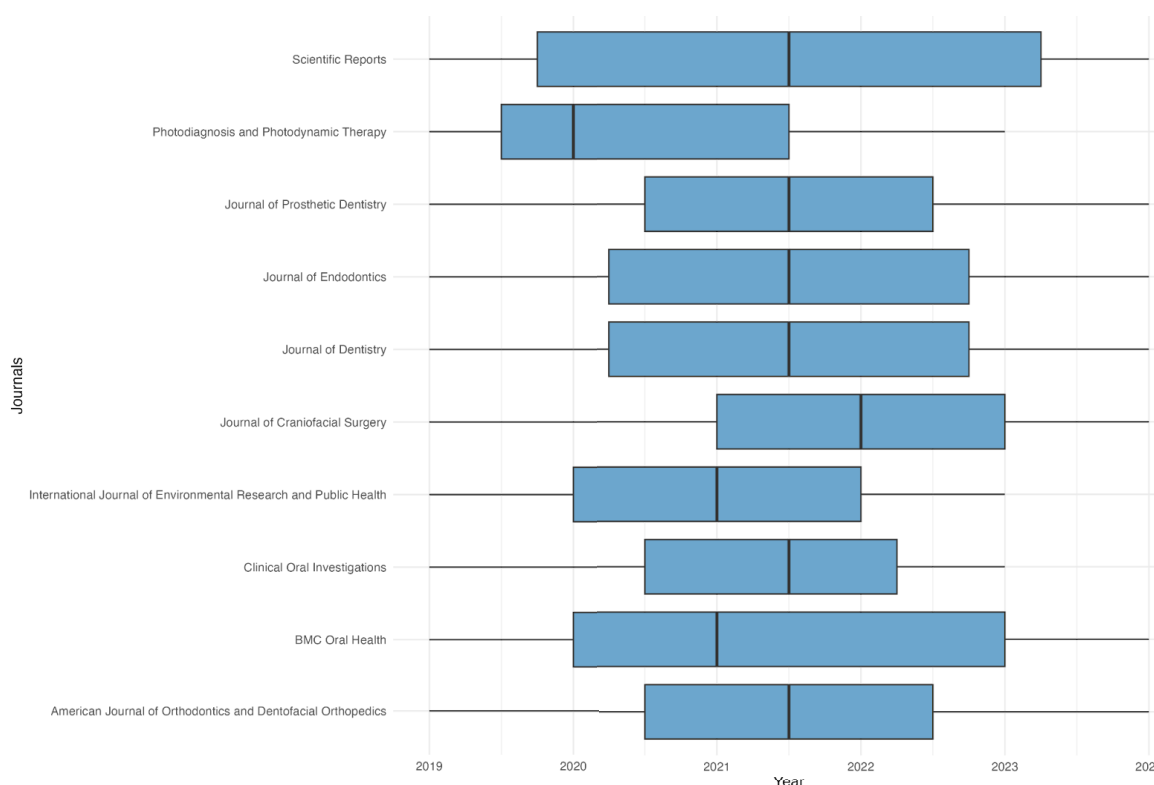
O ano de publicação de 2024 se destaca como o mais ativo, seguido de perto por 2019 e 2024. Esses picos provavelmente indicam períodos de atividade de pesquisa robusta, alimentados por aumento de financiamento e avanços em tecnologia. Em contraste, o ano de 2022 experimentou um declínio nas publicações, o que pode refletir fases mais calmas no ciclo de pesquisa ou mudanças nas prioridades e alocação de recursos.

A abundância de artigos recentes de 2023 e 2024 é particularmente encorajadora. Ela sugere que a pesquisa está prosperando e respondendo aos desafios e oportunidades

do mundo de hoje. Essas publicações não apenas destacam o progresso atual, mas também fornecem insights sobre as direções futuras da ciência.

3.1.2. PUBLICAÇÃO DE PERIÓDICOS

De 2019 a 2024, nossa análise revelou 46 periódicos que publicaram 61 artigos relacionados ao uso de IA em especialidades da medicina dentária; precisamente uma parcela significativa dessas fontes publicou pelo menos cinco artigos nos últimos 5 anos. Os 10 principais periódicos em termos de número de artigos publicados estão listados na **Figura 3**.



Os periódicos ilustrados na figura acima são essenciais para os avanços contínuos em tecnologias de diagnóstico dentro da medicina dentária. Publicações como *Scientific Reports* oferecem uma plataforma abrangente para disseminar pesquisas de alto impacto, fornecendo insights globais sobre técnicas de diagnóstico inovadoras. *Photodiagnosis e Photodynamic Therapy* concentram-se especificamente em tecnologias baseadas em luz para diagnósticos não invasivos, enquanto o *Journal of Prosthetic Dentistry* e o *Journal of Endodontics* investigam a aplicação de imagens avançadas em tratamentos restauradores e endodônticos, aumentando assim a precisão clínica.

Além disso, periódicos como o *Journal of Dentistry* e o *Journal of Craniofacial Surgery* destacam a integração de tecnologias de diagnóstico em práticas da medicina dentária e cirúrgicas, levando a um melhor planejamento de tratamento e melhores resultados cirúrgicos. O *International Journal of Environmental Research and Public Health* e o *BMC Oral Health* destacam as implicações dessas inovações para a saúde pública, chamando a atenção para sua influência no acesso global aos cuidados dentários. Finalmente, periódicos como o *Clinical Oral Investigations* e o *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* autenticam a utilização clínica de ferramentas de diagnóstico, garantindo que elas sigam os mais altos padrões de implementação na prática médica. Coletivamente, esses periódicos impulsionam o progresso em diagnósticos dentários, facilitando o refinamento e a integração de novas tecnologias em fluxos de trabalho clínicos.

3.1.3. DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DOS AUTORES

Esta seção explora a distribuição geográfica das origens dos artigos. Por meio de uma análise de 61 artigos selecionados e 326 autores contribuintes, os dados oferecem uma visão geral da participação global em pesquisa, enfatizando os países líderes em produção de publicações. A **Figura 4** mapeia as contribuições geográficas; o objetivo é identificar tendências regionais, centros de pesquisa emergentes e potenciais disparidades no engajamento científico.

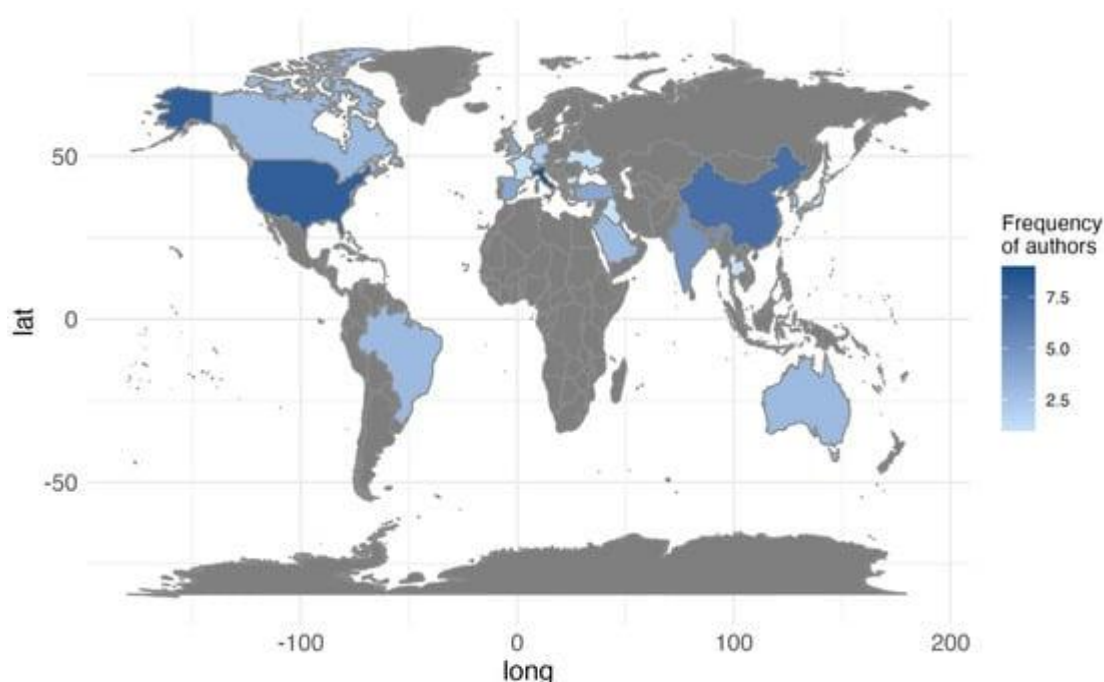


Figura 4. Distribuição global de publicações (2019–2024).

A análise dos dados revela tendências significativas na produção científica global em relação aos avanços em métodos de diagnóstico e tecnologias de imagem na medicina dentária. Os Estados Unidos, com oito publicações, continuam a manter sua liderança histórica em pesquisa. No entanto, países emergentes como China (sete publicações) e Índia (cinco publicações) estão se tornando contribuidores proeminentes, refletindo seus crescentes investimentos em desenvolvimento científico. Surpreendentemente, a Itália lidera com nove publicações, indicando um esforço acadêmico dedicado ou uma especialização dentro deste campo, o que ressalta sua crescente importância na pesquisa médica dentária.

Além disso, países como Brasil, Arábia Saudita e Turquia estão fazendo contribuições notáveis, demonstrando seu comprometimento em aprimorar as capacidades de pesquisa. Nações com produção científica tradicionalmente limitada, como Iraque e Macedônia, também estão começando a participar, embora em um nível modesto. Por outro lado, a falta de publicações de regiões como a África destaca disparidades contínuas na participação global em pesquisa.

Embora essas descobertas ilustrem uma mudança em direção a uma produção científica mais diversa geograficamente, desigualdades significativas persistem. A presença crescente de novos colaboradores é promissora, mas o fortalecimento da colaboração internacional continua sendo crucial para expandir ainda mais o alcance e o impacto da pesquisa científica neste campo.

3.2. O DISCURSO CIENTÍFICO

Para atingir uma compreensão abrangente do contexto e das metodologias apresentadas em cada artigo, analisamos os resumos como resumos concisos de todo o artigo. Esse processo compreendeu quatro etapas essenciais: segmentação do texto, remoção de números e pontuação, conversão para minúsculas, eliminação de stop words e lematização. Cada etapa foi projetada para garantir a qualidade e a precisão dos dados, minimizando o ruído (informações irrelevantes ou redundantes) e reduzindo a dimensionalidade dos dados, tornando-os mais gerenciáveis e computacionalmente eficientes para análise.

A fase inicial do nosso processo envolveu segmentação de texto, também conhecida como tokenização, que envolve a divisão do texto principal em palavras distintas com base em limites de palavras definidos, como espaços em branco. Essa metodologia está

alinhada com a abordagem descrita por Hinterberger (2009). Posteriormente, convertemos todo o corpus para minúsculas e removemos elementos como números, pontuação e títulos para simplificar os textos e aumentar a precisão analítica. Além disso, eliminamos o que são consideradas palavras triviais ou auxiliares, comumente chamadas de “stop words”, pois sua presença contribui minimamente para nossos objetivos analíticos e sua remoção não compromete a integridade dos resultados da análise de texto (Schofield et al., 2017). Por fim, mapeamos as 50 palavras mais frequentes em cada tópico principal.

A seleção dos tópicos abordados nesta seção foi baseada em sua proeminência entre os temas identificados em artigos recuperados do banco de dados Scopus, bem como sua relevância prática e científica para a medicina dentária. O foco nesses tópicos é justificado não apenas por sua frequência na literatura, mas também por seu impacto direto na prática clínica, melhorando a eficiência diagnóstica, a personalização do tratamento e os resultados dos pacientes. Essa abordagem reflete nosso esforço para identificar e discutir áreas que incorporam tendências atuais e futuras no campo da medicina dentária.

3.2.1. DIAGNÓSTICO EM MEDICINA DENTÁRIA

O diagnóstico em medicina dentária é uma das etapas mais importantes para a eficiência e o sucesso da intervenção terapêutica. A evolução e o rápido desenvolvimento de novas tecnologias nos últimos anos mudaram radicalmente a abordagem profissional para a detecção precoce dentro do espectro de patologias e condições dentárias. Equipamentos modernos oferecem diagnósticos detalhados e precisos que levam a um tratamento personalizado com grande melhora tanto na experiência do paciente quanto no resultado clínico. **A Figura 5** exibe os termos mais comuns encontrados em resumos de artigos relacionados ao diagnóstico. Os tópicos que aparecem com mais frequência são destacados com fonte maior e mais escura.

poderiam diagnosticar padrões radiográficos, quase no mesmo nível das avaliações de especialistas. Portanto, não apenas acelera o processo de diagnóstico, mas também reduz a possibilidade de erros e, portanto, aumenta o nível de confiança para os profissionais e os pacientes. Estudos adicionais também documentaram que essas técnicas foram particularmente bem-sucedidas em delinear lesões benignas de malignas (Gowdar et al., 2024).

Por outro lado, a tecnologia de impressão 3D permitiu aos dentistas fabricar modelos anatômicos precisos que auxiliam no diagnóstico e no planejamento do tratamento. Os protótipos anatômicos multifuncionais permitem uma compreensão “tridimensional” de casos complexos, que são de particular importância durante intervenções cirúrgicas e na reabilitação de indivíduos altamente deformados (Pedrinaci et al., 2023). Nessa direção, a impressão 3D aumentou a precisão do diagnóstico e ajudou as equipes a decidir em colaboração entre si. (Gowdar et al., 2024)

Outro domínio altamente relevante de atenção contínua é representado pelo diagnóstico precoce de doenças periodontais e lesões potencialmente malignas. Estudos recentes, como representado por Gowdar (2024), sublinhou o papel crescente das tecnologias de imagem de alta resolução e “modelos” preditivos dentro do contexto do reconhecimento precoce de padrões patológicos. Ao mesmo tempo, também se espera que amplas perspectivas sejam abertas devido à aplicação de biomarcadores no nível molecular-genético. Pedrinaci (2023) acrescentou que a fusão de ferramentas computacionais com biomarcadores resultou em uma abordagem híbrida extremamente eficaz dentro do processo de monitoramento do câncer oral.

Os recentes avanços na tecnologia de diagnóstico têm permitido uma abordagem mais personalizada à medicina dentária com alta “precisão”. O estudo de Arjun (2024) investiga a interação entre novos sistemas de diagnóstico e novos biomateriais, favorecendo assim uma integração ótima de diagnóstico e tratamento para patologias específicas. Nessa linha, o estudo afirma que o uso combinado de novas tecnologias de diagnóstico e terapias personalizadas aumenta muito a possibilidade de sucesso clínico em reabilitação com complexidade (Pedrinaci et al., 2023).

3.2.2. CIRURGIA DENTÁRIA

Os avanços cirúrgicos na medicina dentária mudaram drasticamente as práticas clínicas, permitindo a obtenção de abordagens mais precisas, minimamente invasivas e

centradas no paciente. Tecnologias avançadas de imagem, sistemas robóticos e ferramentas digitais permitiram uma nova era no planejamento e execução cirúrgica. A **Figura 6** apresenta as palavras mais comumente encontradas nos resumos de artigos relacionados à cirurgia. As palavras exibidas em fontes maiores e mais escuras representam os tópicos mais frequentemente discutidos.

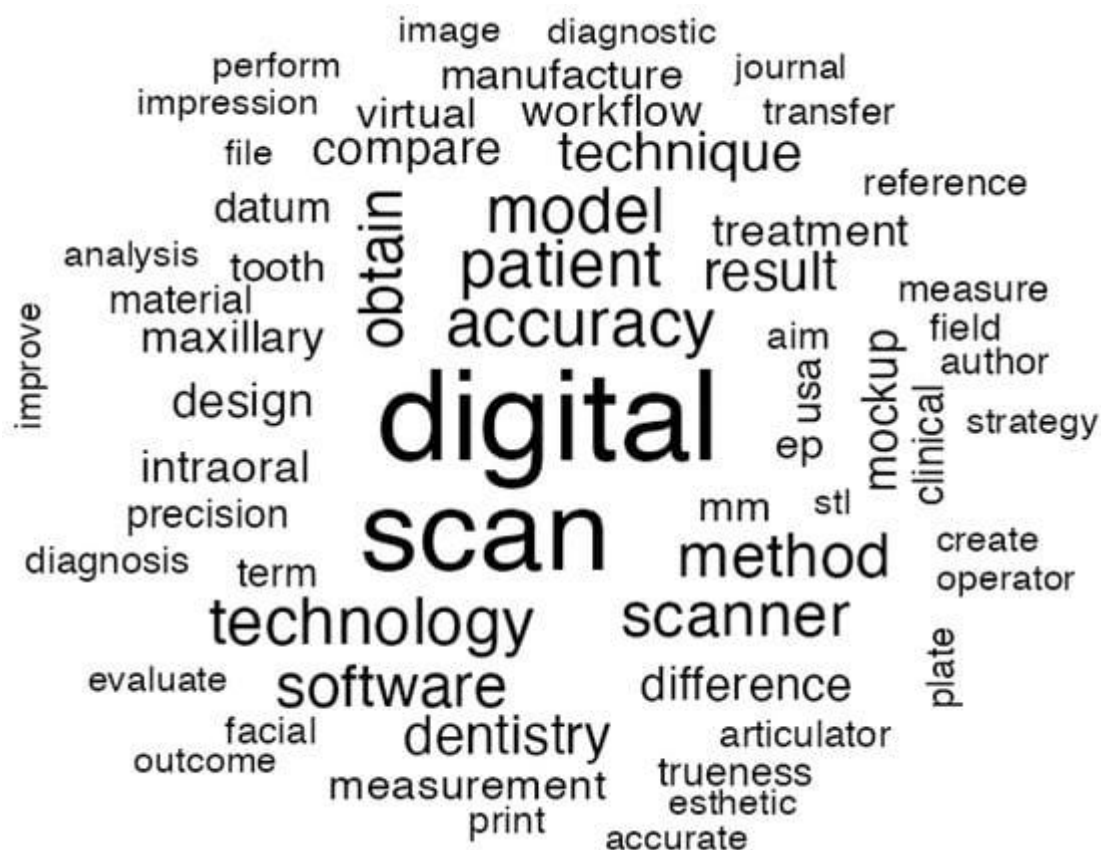


Figura 6. Visualização de nuvem de palavras usadas com frequência e repetidamente sobre cirurgia.

As tecnologias “digitais”, como a “varredura” CBCT, têm desempenhado um papel fundamental na cirurgia. O mapeamento da textura da superfície por meio da CBCT auxilia no planejamento cirúrgico complexo, especialmente em casos em que uma avaliação detalhada das estruturas ósseas é indispensável (Pedrinaci et al., 2023). Essa tecnologia garante que os cirurgiões tenham um conhecimento profundo do campo operatório, o que reduz os riscos e melhora os resultados. Na mesma linha, Godoy-Santos (2021) fala sobre o uso da CBCT com suporte de peso, mostrando sua utilidade na avaliação de estruturas anatômicas de suporte de carga, o que é indispensável para a colocação exata de implantes.

Mais atenção tem sido dada a novas metodologias como sistemas robóticos hápticos. Ali (2024) detalha um relato de caso sobre o uso de “tecnologia” háptica em cirurgia de implante dentário sem retalho. Essa “técnica” combinada de adicionar feedback tátil à precisão robótica permite que os cirurgiões realizem procedimentos complexos com mais precisão e menos trauma para os pacientes. Esses avanços não apenas maximizam o processo de cirurgia, mas também aceleram os tempos de recuperação dos pacientes.

O planejamento pré-operatório foi ainda mais revolucionado pelo “escaneamento” facial “digital” e pela análise morfométrica. Amornvit (2019) destaca a precisão dos escaneamentos faciais digitais na geração de modelos tridimensionais de rostos para intervenções cirúrgicas. Esses “modelos” podem dar uma visão geral da anatomia facial do paciente, permitindo a adaptação das abordagens cirúrgicas com resultados funcionais e estéticos em mente. Em um estudo relacionado, Güzel (2024) investiga a aplicação da análise morfométrica na elucidação de estruturas craniofaciais com insights que aumentam a precisão e a previsibilidade cirúrgicas.

Dentro do contexto diagnóstico, o escaneamento facial com dispositivos móveis tem emergido como uma solução prática e acessível. Thurzo et al. (2022) demonstraram que a utilização de smartphones para capturar modelos faciais tridimensionais pode oferecer resultados satisfatórios em termos de precisão, tornando essa abordagem viável para ortodontia e diagnóstico orientado por parâmetros estéticos faciais. Essa tecnologia democratiza o acesso ao planejamento digital personalizado, especialmente em contextos clínicos com restrições orçamentárias ou de infraestrutura tecnológica, sem comprometer a qualidade das informações anatômicas coletadas.

A aplicação da realidade aumentada (RA) na implantologia representa uma inovação promissora para o planejamento e execução cirúrgica. Em um estudo clínico piloto, Pellegrino et al. (2019) demonstraram como a RA pode ser utilizada para projetar informações anatômicas diretamente no campo operatório, permitindo ao cirurgião visualizar a posição ideal dos implantes em tempo real. Essa abordagem aumenta a precisão do procedimento e contribui para a redução de erros durante a perfuração óssea, especialmente em casos com limitações anatômicas. Os resultados indicam que a integração da RA pode facilitar a tomada de decisões intraoperatórias e tornar o processo cirúrgico mais seguro e previsível.

O avanço dos procedimentos minimamente invasivos também foi apoiado por inovações em tecnologias de imagem e “digitais”. O mapeamento de textura de superfície combinado com CBCT reduz significativamente a necessidade de intervenções cirúrgicas exploratórias, garantindo que as intervenções sejam direcionadas e eficazes. Isso se alinha com tendências mais amplas na medicina dentária, onde a ênfase está em reduzir o desconforto do paciente e manter os tempos de recuperação no mínimo, mantendo altos padrões de atendimento (Gowdar et al., 2024).

A gama de avanços tecnológicos juntos sublinha a transformação progressiva de metodologias cirúrgicas dentro do campo da medicina dentária. A incorporação de tecnologias como imagens sofisticadas, sistemas robóticos e instrumentos “digitais” contribui para o refinamento contínuo da capacidade cirúrgica dentária moderna. Essas inovações simbolizam a síntese de esforços de pesquisa cooperativa e proficiência clínica, garantindo que os procedimentos cirúrgicos sejam eficientes e consonantes com os mais altos padrões de atendimento ao paciente. O futuro parece brilhante para a cirurgia oral, à medida que pesquisas adicionais refinam e inovam esses métodos marcantes.

3.2.3. AVANÇOS EM IMAGEM DENTÁRIA

A imagem dentária passou por um desenvolvimento significativo, tornando-se um aspecto importante da medicina dentária moderna. Sua importância é altamente considerada nos campos de diagnóstico, planejamento de tratamento e acompanhamento devido ao desenvolvimento de novas tecnologias e metodologias. **A Figura 7** ilustra as palavras mais frequentes nos resumos de artigos sobre imagem. Palavras com fontes maiores e mais escuras são tópicos mais frequentes.

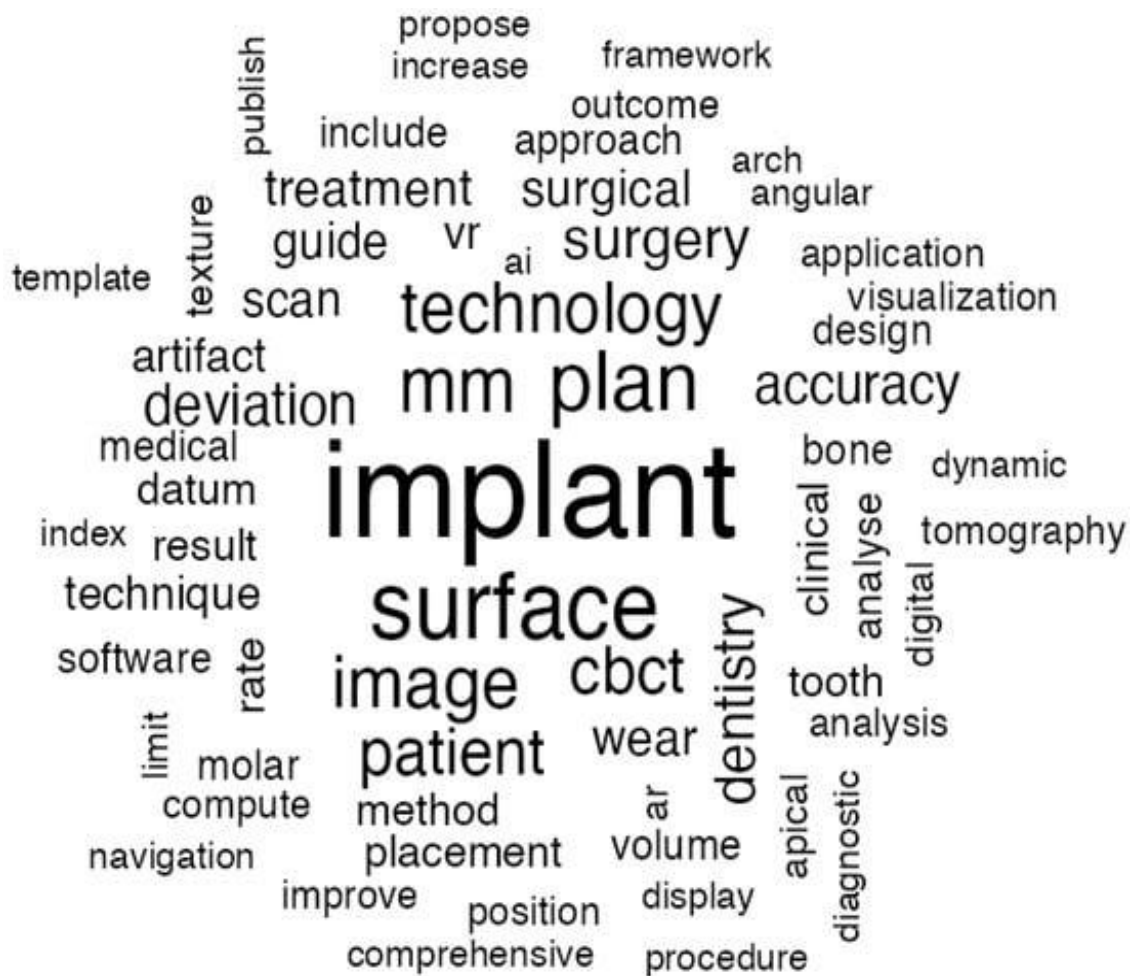


Figura 7. Visualização de nuvem de palavras usadas com frequência e repetidamente sobre imagens.

A radiografia digital e as “tecnologias” de imagem tridimensional revolucionaram a maneira como os clínicos avaliam as estruturas dentárias, principalmente para implantes. A incorporação de iniciativas de prótese virtual mostrou as enormes capacidades transformadoras da imagem dentária. Lavorgna (2019) destaca a confiabilidade das ferramentas virtuais na preparação e simulação de tratamentos protéticos. Essas ferramentas também melhorariam a comunicação entre o profissional médico dentista e o paciente, levando assim a uma melhor compreensão e expectativas mais realistas em relação aos resultados do tratamento.

Além disso, monitoramento do desgaste dentário tem ganhado novas possibilidades com o uso de tecnologias digitais tridimensionais. Entre essas, destaca-se o sistema WearCompare, validado por O'Toole et al. (2019), que utiliza softwares de sobreposição de superfícies para identificar alterações morfológicas ao longo do tempo. Essa abordagem permite uma avaliação mais precisa e objetiva da perda de estrutura dentária,

superando as limitações dos métodos convencionais baseados em observação clínica. A capacidade de quantificar o desgaste de forma comparativa em diferentes períodos oferece uma ferramenta útil para o diagnóstico precoce, acompanhamento longitudinal e planejamento de tratamentos restauradores personalizados.

Lo Giudice (2022) discute o uso da análise digital para alterações oclusais, avaliação periodontal e “superfície” dos dentes. A abordagem apresenta um nível aumentado de precisão com uma redução na exposição à radiação do paciente em comparação com a abordagem tradicional. Além disso, Puett (2021) introduziu a radiografia sintética na imagem intraoral, mostrando maior detalhe e clareza nas visualizações anatômicas, o que é importante para obter um diagnóstico preciso.

No contexto da análise cefalométrica, estudos recentes reforçam o papel da CBCT como tecnologia de eleição. A análise tridimensional tem sido fundamental na ortodontia e cirurgia ortognática, e a escolha da tecnologia de imagem influencia diretamente a qualidade dos resultados. Um estudo conduzido por Maspero et al. (2019) comparou a tomografia computadorizada convencional com a tomografia computadorizada de feixe cônico (CBCT), concluindo que esta última oferece vantagens importantes, como maior resolução para estruturas ósseas maxilofaciais, menor dose de radiação e maior acessibilidade clínica. Os autores destacam ainda que a CBCT proporciona modelos digitais mais fidedignos da anatomia craniofacial, tornando-se uma ferramenta preferencial para planejamentos diagnósticos tridimensionais de alta complexidade.

A tradução de descobertas de pesquisa em aplicações clínicas e “planos” terapêuticos tem sido um dos principais focos de ênfase. Heft (2020) enfatiza os avanços que foram feitos ao longo do século passado na integração de metodologias de imagem de última geração na prática médica dentária diária e em propósitos cirúrgicos. Suas pesquisas mostram como esforços sistemáticos em pesquisa e desenvolvimento têm, ao longo do tempo, traduzido com sucesso inovações experimentais de imagem em suas aplicações no tratamento de pacientes.

Além disso, a aplicação de técnicas de imagem para objetivos forenses e antropológicos ilustra sua adaptabilidade. Meral (2020) investigou a estimativa do sexo utilizando parâmetros do forame magno por meio de métodos de imagem. Seus resultados indicam a capacidade da imagem dentária de transcender os usos clínicos tradicionais,

fazendo, assim, contribuições significativas para contextos científicos e legais mais amplos.

Avanços recentes também destacam a tomografia de coerência óptica (OCT) como uma ferramenta promissora no diagnóstico de tecidos moles orais. Albrecht et al. (2020) demonstraram, por meio de um estudo *in vivo*, que a OCT endoscópica é capaz de fornecer imagens de alta resolução da mucosa oral saudável, permitindo avaliações qualitativas e quantitativas das estruturas epiteliais. Essa abordagem, além de não invasiva, possibilita a detecção precoce de alterações patológicas e a monitorização de condições inflamatórias ou neoplásicas, promovendo um diagnóstico mais sensível e uma resposta clínica mais precisa.

A IA também vem fazendo incursões na “imagem” dentária, aprimorando a interpretação de imagens e a precisão do diagnóstico. Embora não explicitamente mencionada nos artigos citados, essa tendência reflete uma trajetória mais ampla em que os sistemas de IA aumentam as capacidades dos clínicos, oferecendo novas possibilidades de precisão e eficiência.

Recentemente, a aplicação da ultrassonografia intraoral combinada com inteligência artificial mostrou avanços significativos no diagnóstico dentário, particularmente na análise do periodonto e estruturas dentárias adjacentes. Le (2024) desenvolveu um dispositivo compacto de ultrassom intraoral com um transdutor rotacional de alta frequência (até 25 MHz), permitindo imagens em tempo real de estruturas intraorais, incluindo o dento-periodonto e o palato maxilar. A inovação está na integração de algoritmos de aprendizado de máquina que automatizam a identificação de estruturas-chave, como o osso alveolar e a junção cimento-esmalte, aumentando a precisão do diagnóstico e otimizando o planejamento do tratamento. Essa tecnologia representa um avanço significativo na medicina dentária de precisão, tornando o diagnóstico menos invasivo e mais acessível, ao mesmo tempo em que melhora a previsibilidade clínica e a personalização dos tratamentos medico dentários.

3.2.4. BIOMATERIAIS

Os biomateriais surgiram como uma influência fundamental na medicina dentária contemporânea, alterando significativamente as metodologias empregadas pelos profissionais no planejamento e implementação de tratamentos. Esses materiais fornecem

Neste contexto, a integração entre ferramentas digitais e impressão 3D vem ganhando destaque, a reabilitação oral total sobre implantes tem se beneficiado amplamente da integração entre ferramentas digitais e tecnologias de impressão 3D. Segundo Revilla-León et al. (2019), essa combinação permite a produção de estruturas protéticas com alto grau de precisão, favorecendo a previsibilidade clínica e a redução de tempo em consultório. O fluxo digital facilita a obtenção de modelos tridimensionais com base em escaneamentos intraorais, que são diretamente utilizados para fabricar próteses adaptadas à anatomia do paciente. Este avanço representa uma mudança significativa no planejamento e execução de casos complexos, reduzindo etapas laboratoriais e promovendo maior conforto ao paciente.

A precisão na integração entre escaneamentos intraorais e modelos faciais digitais representa um fator crítico no sucesso de reabilitações estéticas avançadas. Amezua et al. (2022) investigaram como diferentes métodos de escaneamento facial influenciam a exatidão na transferência do arco maxilar para modelos faciais tridimensionais. Os autores demonstraram que variações na técnica de escaneamento podem gerar discrepâncias significativas na sobreposição dos dados, afetando diretamente a adaptação das próteses e a harmonia facial final. Esses achados reforçam a importância da padronização e da escolha criteriosa do método digital, especialmente em fluxos de trabalho totalmente digitais voltados para resultados altamente personalizados.

Enquanto isso, tecnologias de imagem “inovadoras”, como a CBCT, têm demonstrado importância significativa no uso de biomateriais em “cuidados bucais”. Shujaat (2021) afirmou que modelos gerados a partir da CBCT ajudam a alinhar restaurações baseadas em biomateriais com os altos padrões exigidos na medicina dentária contemporânea. Essas ferramentas são particularmente relevantes em procedimentos minimamente invasivos, onde a precisão é crucial para a preservação de tecidos naturais e a obtenção de resultados ideais.

Os fluxos de trabalho digitais melhoraram significativamente a adaptabilidade e a eficácia das aplicações de biomateriais. Xepapadeas (2020) examinou técnicas de ponta que incorporam biomateriais em tratamentos de “medicina dentária” com precisão e eficiência incomparáveis. Essas técnicas envolvem a utilização de scanners intraorais de alta resolução para obtenção de impressões digitais, software de modelagem 3D para o desenvolvimento de aparelhos ortodônticos personalizados e impressoras 3D para a

produção direta de componentes. Esses fluxos de trabalho não apenas melhoram a eficiência da produção, mas também garantem melhor adesão aos padrões clínicos, ao mesmo tempo em que reduzem significativamente os tempos de tratamento, criando assim uma experiência mais eficiente e previsível para os pacientes.

A utilização de mock-ups digitais tem revolucionado os processos de planejamento estético em medicina dentária restauradora. Cattoni et al. (2019) compararam mock-ups fresados e moldados obtidos pela sobreposição entre escaneamentos digitais e projetos de sorriso virtual. Os resultados indicaram que os mock-ups fresados apresentaram melhor adaptação clínica, previsibilidade estética e correspondência entre o planejamento digital e o resultado final. Esta abordagem permite ao clínico e ao paciente uma visualização mais fiel da proposta restauradora antes da intervenção definitiva, reduzindo incertezas e otimizando a comunicação entre a equipe multidisciplinar.

O uso de modalidades de ampliação adicionou um novo nível de precisão ao uso de biomateriais. Rashkova (2020) avaliou como os microscópios cirúrgicos dentários estão avançando o uso de biomateriais modernos. A ampliação permite a colocação e manipulação deliberada do material, minimizando erros e maximizando a longevidade e a taxa de sucesso das restaurações.

Esses não são meros avanços tecnológicos, mas também refletem um compromisso mais profundo em elevar o nível da prestação de cuidados dentários. A integração de biomateriais com imagens de última geração e ferramentas digitais mostra como a medicina dentária está se movendo em direção a práticas mais centradas no paciente e cientificamente fundamentadas. Cada inovação se baseia em uma base de pesquisa rigorosa e experiência clínica, garantindo que novas soluções abordem efetivamente os desafios do mundo real.

À medida que as investigações progridem para expandir as capacidades potenciais dos biomateriais, as oportunidades para sua utilização no campo da medicina dentária estão se ampliando. Esse desenvolvimento contínuo ressalta a importância dos esforços colaborativos entre várias disciplinas e a necessidade de educação contínua, garantindo assim que a profissão médica dentária permaneça líder em avanços médicos, ao mesmo tempo em que adere aos princípios fundamentais de cuidados de alta qualidade e bem-estar do paciente.

4. DISCUSSÃO

4.1. IMPACTO DAS TECNOLOGIAS DE IMAGEM EMERGENTES NA PRÁTICA NA MEDICINA DENTÁRIA

A evolução dos métodos de diagnóstico e tecnologias de imagem transformou significativamente a medicina dentária, aumentando a precisão do diagnóstico, a eficiência e o planejamento personalizado do tratamento. Embora as técnicas tradicionais tenham servido o campo de forma confiável, a introdução de sistemas avançados de imagem expandiu a capacidade de analisar estruturas dentárias complexas e oferecer tratamentos minimamente invasivos. A CBCT, por exemplo, redefiniu a implantologia e o planejamento cirúrgico ao fornecer imagens tridimensionais de alta resolução, permitindo a visualização precisa das estruturas dentárias e maxilofaciais (Chen et al., 2024). Da mesma forma, a análise de imagens dentárias orientada por IA demonstrou o potencial de automatizar diagnósticos, reduzindo erros humanos e melhorando a eficiência.

No entanto, esses avanços vêm com desafios notáveis. Conforme destacado por Bhat (2024), a integração da impressão 3D com imagens CBCT melhora o planejamento de tratamento personalizado, mas requer investimentos financeiros substanciais e treinamento profissional. Essa realidade levanta preocupações sobre a acessibilidade dessas inovações, particularmente em regiões com recursos econômicos limitados. Uma abordagem equilibrada, alavancando métodos convencionais para diagnósticos preliminares enquanto reserva ferramentas avançadas para casos complexos, pode ajudar a otimizar a alocação de recursos e garantir acesso mais amplo a cuidados médicos dentários de alta qualidade.

4.2. DESAFIOS E LIMITAÇÕES

Apesar de seu potencial transformador, as tecnologias emergentes enfrentam várias barreiras de adoção. Altos custos e despesas de manutenção continuam sendo grandes impedimentos, especialmente para consultórios médicos dentários menores. Além disso, dominar essas ferramentas exige treinamento especializado, criando uma curva de aprendizado íngreme para os profissionais. Além das preocupações financeiras e educacionais, a dependência excessiva de diagnósticos baseados em IA apresenta outro desafio. Embora os algoritmos de IA possam aumentar a eficiência, eles não são

infalíveis; problemas como falsos positivos e diagnósticos incorretos exigem validação contínua por meio de ensaios clínicos e supervisão humana.

Preocupações éticas também são cada vez mais relevantes. Privacidade de dados, vieses em algoritmos de IA e incertezas regulatórias precisam de atenção urgente. Por exemplo, sistemas de IA treinados em conjuntos de dados sem diversidade podem produzir resultados diagnósticos tendenciosos, impactando a tomada de decisões clínicas. Além disso, há uma necessidade crescente de estruturas globais para padronizar a integração de tecnologias de IA e imagem na prática médica dentária, garantindo implantação ética e atendimento equitativo ao paciente.

4.3. DIREÇÕES FUTURAS PARA PESQUISA E CONSIDERAÇÕES POLÍTICAS

Embora esta revisão destaque o potencial das tecnologias avançadas de imagem, ela também identifica lacunas importantes de pesquisa que devem ser abordadas. Estudos futuros devem priorizar a realização de ensaios clínicos em larga escala para avaliar a eficácia e a segurança a longo prazo dos diagnósticos assistidos por IA. Além disso, análises comparativas de custo-efetividade são necessárias para determinar a viabilidade financeira da implementação de CBCT, IA e fluorescência a laser na prática de rotina. Outra área essencial de foco é o desenvolvimento de estratégias para integrar novas tecnologias em fluxos de trabalho clínicos padronizados sem interromper as práticas existentes. Finalmente, diretrizes regulatórias devem ser estabelecidas para o uso ético da IA, com ênfase particular na mitigação de vieses e segurança de dados.

Abordar essas lacunas de pesquisa será crucial para garantir que os benefícios dos avanços tecnológicos na medicina dentária sejam sustentáveis e inclusivos. Ao promover a colaboração interdisciplinar e priorizar resultados centrados no paciente, o campo médico dentário pode continuar evoluindo, mantendo as considerações éticas e econômicas em primeiro plano. A integração de IA, CBCT e outras tecnologias de imagem emergentes marca uma nova era no diagnóstico dentário, caracterizada por precisão incomparável e abordagens de tratamento individualizadas. No entanto, superar barreiras relacionadas a custo, acessibilidade e considerações éticas continua sendo essencial para sua ampla adoção. Garantir que essas inovações sejam implementadas de forma responsável, com treinamento adequado e supervisão regulatória, será fundamental

para maximizar seu impacto. Ao abordar esses desafios por meio de pesquisa direcionada e desenvolvimento de políticas, o futuro do diagnóstico dentário pode ser tecnologicamente avançado e amplamente acessível.

5. CONCLUSÕES

O campo da medicina dentária está a passar por uma profunda transformação impulsionada por avanços em métodos de diagnóstico e tecnologias de imagem. Inovações como a tomografia computadorizada de feixe cónico (CBCT), a inteligência artificial (IA) e os diagnósticos baseados em biomarcadores melhoraram significativamente a precisão do diagnóstico e facilitaram abordagens de tratamento personalizadas e minimamente invasivas. No entanto, apesar desses benefícios, diversos desafios persistem, incluindo os custos elevados de implementação, a necessidade de formação especializada e as disparidades no acesso global a estas tecnologias. Abordar estas barreiras é crucial para garantir a integração equitativa dessas inovações na prática clínica.

Além das suas vantagens técnicas, estas tecnologias desempenham um papel fundamental na melhoria da detecção precoce de doenças, na optimização dos planos de tratamento e na melhoria dos resultados dos pacientes. No entanto, preocupações em torno da privacidade de dados, do viés em algoritmos de IA e da supervisão regulatória exigem atenção urgente. Sem estruturas éticas robustas, o risco de erros de diagnóstico, decisões tendenciosas orientadas por IA e vulnerabilidades na protecção de dados dos pacientes continua a ser uma preocupação significativa. Investigações futuras devem priorizar o desenvolvimento de protocolos padronizados para diagnósticos baseados em IA, ensaios clínicos em larga escala para validar tecnologias de imagem emergentes e análises de custo-efectividade para avaliar a sua viabilidade a longo prazo em diversos contextos de prestação de cuidados de saúde.

Esta revisão também destaca as principais limitações da literatura existente. Muitos estudos sofrem com tamanhos amostrais reduzidos, inconsistências metodológicas e dados longitudinais limitados. Estes factores restringem a generalização dos achados e reforçam a necessidade de investigações mais rigorosas, sistematizadas e com maior representatividade. Além disso, a escassez de estudos comparativos sobre custo-eficácia dificulta uma avaliação abrangente da viabilidade da implementação destas tecnologias na prática médica quotidiana.

Seguindo em frente, a colaboração multidisciplinar será essencial para refinar estas tecnologias e integrá-las de forma harmoniosa nos fluxos de trabalho clínicos. Ao desenvolver soluções práticas e escaláveis, e ao abordar as barreiras económicas e éticas identificadas, a medicina dentária poderá explorar plenamente o potencial das ferramentas de diagnóstico emergentes. Em última instância, esse progresso contribuirá para um melhor atendimento ao paciente, uma formação profissional mais eficaz e uma distribuição mais equitativa de tecnologias dentárias avançadas em todo o mundo.

É igualmente relevante destacar o papel das instituições académicas e dos órgãos reguladores na criação de directrizes claras que orientem o uso destas inovações. A introdução de módulos curriculares focados em tecnologia digital e diagnóstico assistido por computador pode preparar os futuros profissionais para os desafios e oportunidades que estas ferramentas oferecem. A formação contínua, tanto em ambientes académicos como clínicos, será vital para a adopção eficaz e responsável das novas práticas.

No plano social, a incorporação destas tecnologias levanta a necessidade de uma reflexão aprofundada sobre o acesso equitativo aos cuidados. Em países ou regiões onde os recursos são limitados, a implementação poderá depender de parcerias público-privadas, incentivos governamentais e estratégias de simplificação tecnológica. O desenvolvimento de versões mais acessíveis e operacionais das ferramentas actualmente existentes deve ser considerado uma prioridade global, de forma a não aprofundar as desigualdades já existentes nos sistemas de saúde oral.

Além disso, a progressiva digitalização da medicina dentária poderá contribuir para um modelo mais centrado no paciente, permitindo diagnósticos mais rápidos e eficazes, bem como a monitorização em tempo real de condições clínicas. A utilização de biossensores, por exemplo, poderá facilitar o acompanhamento contínuo de pacientes com doenças periodontais crónicas, promovendo uma intervenção precoce e personalizada. Estas mudanças apontam para um paradigma em que a tecnologia actua como extensão das competências clínicas humanas, e não como sua substituição.

Por fim, a presente investigação pretende não apenas sistematizar os avanços recentes, mas também incentivar o pensamento crítico sobre as implicações futuras das tecnologias emergentes. O equilíbrio entre inovação, humanização dos cuidados e sustentabilidade dos sistemas de saúde será um dos grandes desafios das próximas décadas. O

compromisso com uma medicina dentária mais eficiente, ética e acessível deve orientar tanto a prática clínica como a produção científica.

6. PUBLICAÇÕES

Os resultados deste trabalho contribuíram para a elaboração de um artigo científico, que foi submetido, revisto por pares e posteriormente publicado na revista *Journal of Clinical Medicine*. Esta publicação representa o reconhecimento da relevância e qualidade científica da investigação desenvolvida ao longo deste projeto de mestrado.

O artigo, intitulado "Advancements in Diagnostic Methods and Imaging Technologies in Dentistry: A Literature Review of Emerging Approaches", foi publicado na edição de Fevereiro de 2025 da referida revista, e encontra-se disponível em formato digital através do seguinte DOI: <https://doi.org/10.3390/jcm14041277>. Desde a sua publicação, o artigo registou mais de 500 acessos e já foi citado numa outra publicação científica (<https://doi.org/10.3390/app15116308>), o que evidencia o interesse que tem suscitado na comunidade académica e o seu impacto inicial no campo de estudo.

A publicação permitiu divulgar os principais contributos desta investigação junto da comunidade académica e científica, reforçando o seu impacto e pertinência no âmbito da área de estudo abordada. Além disso, o processo de submissão e revisão científica constituiu uma valiosa oportunidade de aprendizagem e validação dos resultados alcançados.

7. BIBLIOGRAFIA

Agwan, M. A. S. (2023). Microtomografia Computadorizada como uma ferramenta transformadora em endodontia: Uma revisão narrativa. *Medical Forum Seg.*, 34, 115.

Albrecht, M., Schnabel, C., Mueller, J., Golde, J., Koch, E., & Walther, J. (2020). In vivo endoscopic optical coherence tomography of the healthy human oral mucosa: Qualitative and quantitative image analysis. *Diagnostics*, 10(10), 827. <https://doi.org/10.3390/diagnostics10100827>

Ali, M. (2024). Cirurgia de implante dentário sem retalho habilitada por orientação robótica háptica: Relato de caso. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 26(2), 251–257. <https://doi.org/10.1111/cid.13279>

Allani, H., Santos, A. T., & Ribeiro-Vidal, H. (2024). Aplicações multidisciplinares de IA em odontologia: revisão bibliométrica. *Applied Sciences*, 14(17), 7624. <https://doi.org/10.3390/app14177624>

Amezua, X., Iturrate, M., Garikano, X., & Solaberrieta, E. (2022). Análise da influência do método de escaneamento facial na precisão da transferência de um escaneamento digital maxilar para um escaneamento facial 3D para uma técnica de arco facial virtual: um estudo in vitro. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 128(5), 1024–1031. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2021.02.007>

Amornvit, P., & Sanohkan, S. (2019). A precisão de escaneamentos faciais digitais obtidos de scanners 3D: Um estudo in vitro. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(24), 5061. <https://doi.org/10.3390/ijerph16245061>

Arjun, A., Premkumar, H. B., Jairam, L. S., Sharma, S. C., Nagabhushana, H., & Darshan, G. P. (2024). Aproveitando o nanofósforo fotossensível e termicamente estável Ba₂ZnWO₆:Eu³⁺, M⁺ (M⁺ = Na, K e Li) para visualização direcionada, não invasiva e sem manchas da síndrome do dente rachado. *Materials Today Nano*, 28, 100531. <https://doi.org/10.1016/j.mtnano.2024.100531>

- Bhat, S. H., Hareesha, K. S., Kamath, A. T., Kudva, A., Vineetha, R., & Nair, A. (2024). Uma estrutura para aprimorar a experiência de dados de CBCT em tempo real usando realidade virtual imersiva: impactando o planejamento pré-cirúrgico odontológico. *IEEE Access*, 12, 45442–45455. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3375770>
- Cabezas-Clavijo, A., & Torres-Salinas, D. (2021). Relatórios bibliométricos para instituições: melhores práticas em um cenário de métricas responsáveis. *Frontiers in Research Metrics and Analytics*, 6, 696470. <https://doi.org/10.3389/frma.2021.696470>
- Castaldi, C., & Mendonça, S. (2022). Regiões e marcas registradas: oportunidades de pesquisa e insights de políticas a partir da alavancagem de marcas registradas em estudos regionais de inovação. *Regional Studies*, 56(2), 177–189. <https://doi.org/10.1080/00343404.2021.2003767>
- Cattoni, F., Teté, G., Calloni, A.M., Manazza, F., Gastaldi, G., Capparè, P. (2019). Milled versus moulded mock-ups based on the superimposition of digital impression and smile design. *BMC Oral Health*, 19(1), 230. <https://doi.org/10.1186/s12903-019-0922-2>
- Chen, M.-C., Chen, S.-H., Cheng, C.-D., Chung, C.-H., Mau, L.-P., Sung, C.-E., Weng, P.-W., Tsai, Y.-W.-C., Shieh, Y.-S., Huang, R.-Y., et al. (2023). Mapeando as características bibliométricas de artigos clássicos publicados em um periódico acadêmico taiwanês em odontologia: uma análise baseada no Scopus. *Journal of Dental Sciences*, 18(4), 1493–1509. <https://doi.org/10.1016/j.jds.2023.03.015>
- Chen, Z., Liu, Y., Xie, X., & Deng, F. (2024). Influência da densidade óssea na precisão da cirurgia de implante guiada por inteligência artificial: Um estudo in vitro. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 131, 254–260. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2024.01.015>
- Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). Como conduzir uma análise bibliométrica: Uma visão geral e diretrizes. *Journal of Business Research*, 133, 285–296. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>
- Godoy-Santos, A. L., Bernasconi, A., Bordalo-Rodrigues, M., Lintz, F., Teixeira Lôbo, C. F., & De Cesar Netto, C. (2021). Tomografia computadorizada de feixe cônico com

sustentação de peso na especialidade de pé e tornozelo: onde estamos e para onde vamos — uma atualização. *Radiologia Brasileira*, 54(3), 177–184. <https://doi.org/10.1590/0100-3984.2020.0048>

Gowdar, I. M., Alateeq, A. A., Alnawfal, A. M. A., Alharbi, A. F. A., Alhabshan, A. M. S., Aldawsari, S. M. S., & Alharbi, N. A. H. (2024). Inteligência Artificial e sua conscientização e utilização entre estudantes de odontologia e profissionais de odontologia privados em Alkharj, Arábia Saudita. *Journal of Pharmaceutical and Bioallied Sciences*, 16(Suppl 3), S2264–S2271. https://doi.org/10.4103/jpbs.jpbs_189_24

Güzel, B. C., & İşbilir, F. (2024). Análise morfométrica dos crânios de um carneiro e uma ovelha Romanov (*Ovis aries*) com modelagem 3D. *Veterinary Medicine and Science*, 10(2), e1396. <https://doi.org/10.1002/vms3.1396>

Heft, M. W., Fox, C. H., & Duncan, R. P. (2020). Avaliando a tradução de pesquisa e inovação na prática odontológica. *JDR Clinical & Translational Research*, 5(3), 262–270. <https://doi.org/10.1177/2380084419879391>

Hinterberger, H., Domingo-Ferrer, J., Kashyap, V., Khatri, V., Snodgrass, R. T., Terenziani, P., Koubarakis, M., Zhang, Y., Joshi, J. B. D., & Gamper, J. (2009). Segmentação de texto. Em *Encyclopedia of Database Systems* (pp. 3072–3075). Springer.

Lavorgna, L., Cervino, G., Fiorillo, L., Di Leo, G., Troiano, G., Ortensi, M., Galantucci, L., & Cicciù, M. (2019). Confiabilidade de um projeto protético virtual realizado por meio de aquisição fotográfica 2D e 3D: Um estudo experimental sobre a precisão de diferentes sistemas digitais. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(24), 5139. <https://doi.org/10.3390/ijerph16245139>

Le, L. H., Nguyen, K. T., La, T.-G., Nguyen, V. D., Le, M. B., Kumaradevan, P., Kaipatur, N., Major, P. W., & Lou, E. H. M. (2024). Imagem de ultrassom intraoral usando um transdutor rotacional com identificação de características periodontais por

aprendizado de máquina. *ACS Sensors*, 9(8), 3898.
<https://doi.org/10.1021/acssensors.4c00124>

Lo Giudice, A., Ronsivalle, V., Santonocito, S., Lucchese, A., Venezia, P., Marzo, G., Leonardi, R., & Quinzi, V. (2022). Análise digital das alterações oclusais e morfologia palatina usando dispositivos elastodônticos: um estudo clínico prospectivo incluindo indivíduos de Classe II em dentição mista. *European Journal of Paediatric Dentistry*, 23(4), 275–280. <https://doi.org/10.23804/ejpd.2022.23.04.04>

Maspero C., Abate A., Bellincioni F., Cavagnetto D., Lanteri V. (2019). Comparison of a tridimensional cephalometric analysis performed with computed tomography and cone-beam computed tomography. *Progress in Orthodontics*, 20(1), 40. <https://doi.org/10.1186/s40510-019-0293-x>

Mendonça, S., Damásio, B., Charlita de Freitas, L., Oliveira, L., Cichy, M., & Nicita, A. (2022). A ascensão das tecnologias e sistemas 5G: Uma análise quantitativa da produção de conhecimento. *Telecommunications Policy*, 46(4), 102327. <https://doi.org/10.1016/j.telpol.2022.102327>

Meral, O., Toklu, B., Meydan, R., Kaya, A., Karadayı, B., & Acar, T. (2020). Estimativa de sexo a partir de parâmetros do forame magno na população adulta turca: um estudo de tomografia computadorizada. *Legal Medicine (Tokyo)*, 47, 101775. <https://doi.org/10.1016/j.legalmed.2020.101775>

Montazeri, A., Mohammadi, S., Hesari, P. M., Ghaemi, M., Riazi, H., & Sheikhi-Mobarakeh, Z. (2023). Diretriz preliminar para relatar revisões bibliométricas da literatura biomédica (BIBLIO): Um requisito mínimo. *Systematic Reviews*, 12(1), 239. <https://doi.org/10.1186/s13643-023-02410-2>

Ninkov, A., Frank, J. R., & Maggio, L. A. (2022). Bibliometria: Métodos para estudar publicação acadêmica. *Perspectives on Medical Education*, 11(3), 173–176. <https://doi.org/10.1007/s40037-021-00695-4>

O'Toole S., Osnes C., Bartlett D., Keeling A. (2019). Investigation into the validity of WearCompare, a 3D tooth wear monitoring tool, using surface matching and change detection software. *Dental Materials*, 35(10), 1408. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2019.07.023>

Pedrinaci, I., Calatrava, J., Flores, J., Hamilton, A., Gallucci, G. O., & Sanz, M. (2023). Protótipos anatômicos multifuncionais (MAPs): Tratamento da exposição gengival excessiva devido à erupção passiva alterada. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 35, 1058. <https://doi.org/10.1111/jerd.2023.35.1058>

Pellegrino G., Mangano C., Mangano R., Ferri A., Taraschi V., Marchetti C. (2019). Augmented reality for dental implantology: A pilot clinical report of two cases. *BMC Oral Health*, 19(1), 158. <https://doi.org/10.1186/s12903-019-0853-y>

Puett, C., Inscoc, C. R., Hilton, R. L., Regan Anderson, M. W., Perrone, L., Platin, E., Lu, J., & Zhou, O. (2021). Aplicação de radiografia sintética à tomossíntese intraoral: um passo em direção à obtenção de imagens 3D na clínica odontológica. *Dentomaxillofacial Radiology*, 50(2), 20200159. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20200159>

Rashkova, M., Bogovska-Gigova, R., Tankova, H., Gateva, N., Mitova, N., & Hristov, K. (2020). Aplicação de métodos contemporâneos de ampliação no diagnóstico de lesões cariosas oclusais em primeiros molares permanentes em crianças. *Folia Medica*, 62(3), 585–591. <https://doi.org/10.3897/folmed.62.e4775>

Revilla-León M., Besné-Torre A., Sánchez-Rubio J.L., Özcan M. (2019). Digital tools and 3D printing technologies integration in full-arch implant-supported rehabilitations: A proof of concept. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 121(1), 3. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2018.02.020>

Santos, A. T., Costa, C. M., Delgado-Márquez, L., & Banheiro, R. M. (2023). Analisando a influência das iniciativas da OMS no discurso científico das doenças crônicas não transmissíveis por meio de uma abordagem bibliométrica. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(18), 6714. <https://doi.org/10.3390/ijerph20186714>

Schofield, A., Magnusson, M., & Mimno, D. (2017). Pulling out the stops: Rethinking stopword removal for topic models. In *Proceedings of the 15th Conference of the European Chapter of the Association for Computational Linguistics: Volume 2, Short Papers* (pp. 432–436). Association for Computational Linguistics. <https://doi.org/10.18653/V1/E17-2069>

Shujaat, S., Shaheen, E., Novillo, F., Politis, C., & Jacobs, R. (2021). Precisão de moldes derivados de tomografia computadorizada de feixe cônico: um estudo comparativo. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 125(1), 95–102. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2019.11.021>

Thurzo, A., Strunga, M., Havlínová, R., Reháková, K., Urban, R., Surovková, J., & Kurilová, V. (2022). Smartphone-based facial scanning as a viable tool for facially driven orthodontics? *Sensors*, 22(20), 7752. <https://doi.org/10.3390/s22207752>

Xepapadeas, A. B., Weise, C., Frank, K., Spintzyk, S., Poets, C. F., Wiechers, C., Arand, J., & Koos, B. (2020). Nota técnica sobre a introdução de um fluxo de trabalho digital para recém-nascidos com anomalias craniofaciais com base em exames intraorais —

Parte I: placa de estimulação palatina impressa e fresada em 3D para trissomia 21. *BMC Oral Health*, 20, 20. <https://doi.org/10.1186/s12903-020-1001-4>

Xie, B., Xu, D., Zou, X.-Q., Lu, M.-J., Peng, X.-L., & Wen, X.-J. (2024). Inteligência artificial em odontologia: uma análise bibliométrica de 2000 a 2023. *Journal of Dental Sciences*, 19, 1722–1733. <https://doi.org/10.1016/j.jds.2023.10.025>