



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS DA SAÚDE
DEPARTAMENTO DE ODONTOLOGIA

BRUNA GIOVANA ARAGÃO LEITE

**PANORAMA GLOBAL DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL APLICADA À
ORTODONTIA E ORTOPEDIA DENTOFACIAL: ANÁLISE
BIBLIOMÉTRICA DA LITERATURA CIENTÍFICA ENTRE 2016 A 2026**

ARACAJU

2026

BRUNA GIOVANA ARAGÃO LEITE

PANORAMA GLOBAL DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL APLICADA À ORTODONTIA E ORTOPEDIA DENTOFACIAL: ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DA LITERATURA CIENTÍFICA ENTRE 2016 A 2026

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Odontologia como requisito parcial à conclusão do Curso de Odontologia da Universidade Federal de Sergipe para obtenção do grau de Cirurgião-Dentista.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Bianca Núbia Souza Silva

**ARACAJU
2026**

RESUMO

O objetivo deste estudo foi analisar o panorama científico mundial da Inteligência Artificial (IA) aplicada à Ortodontia e à Ortopedia Dentofacial por meio de técnicas bibliométricas, caracterizando a evolução da literatura e identificando os principais atores e tendências da área. Realizou-se uma pesquisa na base de dados *Web of Science Core Collection* (WoS-CC), abrangendo o período de 2016 a 2026. Os dados foram processados no software R, utilizando o pacote *Bibliometrix* para a extração de indicadores de desempenho e mapeamento científico. Foram identificados 588 documentos, revelando um crescimento exponencial da produção científica com taxa anual de 45,04% e pico de publicações em 2025. A China liderou a produção mundial em volume (134 documentos), enquanto a Coreia do Sul apresentou o maior impacto científico relativo, com média de 34,28 citações por artigo. O periódico *BMC Oral Health* destacou-se como a fonte mais produtiva. A estrutura conceitual do campo revelou que o aprendizado de máquina (*machine learning*) e o diagnóstico automatizado consolidaram-se como os principais temas motores da especialidade. Conclui-se que a aplicação da IA na ortodontia evoluiu de uma fase metodológica para um estágio de maturidade científica, expandindo-se para áreas complexas como a previsão de crescimento craniofacial e o suporte à decisão terapêutica personalizada.

Descritores: Ortodontia. Inteligência artificial. Diagnóstico por imagem. Aprendizado de máquina.

ABSTRACT

The aim of this study was to analyze the global scientific landscape of Artificial Intelligence (AI) applied to Orthodontics and Dentofacial Orthopedics through bibliometric techniques, characterizing the evolution of the literature and identifying key scientific actors and thematic trends. A search was conducted in the Web of Science Core Collection (WoS-CC) database, covering the period from 2016 to 2026. Data were processed in R software using the Bibliometrix package to extract performance indicators and scientific mapping. A total of 588 documents were identified, revealing exponential growth in scientific production with an annual rate of 45.04% and a peak in publications in 2025. China led global production in volume (134 documents), while South Korea presented the highest relative scientific impact, with an average of 34.28 citations per article. The journal *BMC Oral Health* stood out as the most productive source. The conceptual structure of the field revealed that machine learning and automated diagnosis have consolidated as the primary motor themes of the specialty. It is concluded that the application of AI in orthodontics has evolved from a methodological phase to a stage of scientific maturity, expanding into complex areas such as craniofacial growth prediction and personalized therapeutic decision support.

Keywords: Orthodontics. Artificial intelligence. Diagnostic imaging. Machine learning

1 INTRODUÇÃO

A Inteligência Artificial (IA) tem promovido uma transformação significativa em diversos setores da sociedade, destacando-se como uma das tecnologias mais promissoras da atualidade. Na área da saúde, seu desenvolvimento tem impulsionado avanços importantes na automação de processos, no apoio à tomada de decisão clínica, na interpretação de exames por imagem e na predição de desfechos terapêuticos, contribuindo para maior precisão diagnóstica, eficiência operacional e personalização do cuidado [1, 2, 3].

Na Odontologia, a incorporação da IA tem ocorrido de maneira acelerada, impulsionada pela crescente digitalização dos fluxos de trabalho clínicos e pelo desenvolvimento de algoritmos de aprendizado de máquina (Machine Learning) e aprendizado profundo (Deep Learning). Essas tecnologias possibilitam o processamento de grandes volumes de dados clínicos e de imagens odontológicas, permitindo a identificação automática de padrões complexos que frequentemente não são percebidos durante a avaliação convencional. Como consequência, aplicações envolvendo detecção de lesões de cárie, doenças periodontais, lesões bucais, planejamento cirúrgico, implantodontia, radiologia e ortodontia têm demonstrado resultados promissores, frequentemente com desempenho semelhante ao de especialistas experientes [4, 5].

Entre as especialidades odontológicas, a Ortodontia e a Ortopedia Dentofacial figuram entre as áreas que mais incorporaram recursos baseados em inteligência artificial. O avanço da documentação digital, da tomografia computadorizada de feixe cônico (CBCT), dos escaneamentos intraorais e da fotografia digital favoreceu o desenvolvimento de algoritmos capazes de realizar análises cefalométricas automatizadas, identificação de marcos anatômicos, classificação de más oclusões, previsão do crescimento craniofacial, planejamento ortodôntico e monitoramento dos resultados terapêuticos. Essas aplicações têm potencial para reduzir a subjetividade diagnóstica, aumentar a reprodutibilidade das avaliações e otimizar o tempo clínico, tornando os processos diagnósticos mais objetivos e eficientes [6, 7, 8].

Paralelamente ao desenvolvimento tecnológico, observa-se um crescimento expressivo da produção científica relacionada à aplicação da inteligência artificial na Ortodontia. Esse aumento reflete não apenas o interesse crescente da comunidade científica, mas também a rápida evolução dos métodos computacionais e sua incorporação progressiva à prática clínica. Estudos recentes demonstram que, especialmente após a última década, houve expansão significativa das pesquisas envolvendo redes neurais convolucionais, aprendizado profundo e modelos preditivos voltados ao diagnóstico e ao planejamento ortodôntico, consolidando a IA como um dos principais eixos de inovação da especialidade [9, 10].

Nesse contexto, compreender como esse conhecimento científico vem sendo produzido torna-se tão importante quanto avaliar o desempenho das próprias tecnologias. As análises bibliométricas constituem ferramentas robustas para investigar a evolução de determinado campo científico, permitindo identificar tendências temporais, principais autores, instituições, países, periódicos, redes de colaboração e temas emergentes. Além disso, esse tipo de investigação possibilita reconhecer lacunas do conhecimento, orientar futuras agendas de pesquisa e fornecer uma visão abrangente da maturidade científica de uma determinada área [11].

Embora revisões sistemáticas tenham sintetizado as aplicações clínicas da inteligência artificial na Odontologia e na Ortodontia, ainda são relativamente escassos os estudos que investigam, sob a perspectiva bibliométrica, a evolução global dessa produção científica, especialmente considerando indicadores de produtividade, impacto, colaboração internacional e estrutura conceitual do campo. A compreensão desses aspectos pode contribuir para identificar áreas prioritárias de investigação, compreender o comportamento da literatura científica e subsidiar pesquisadores no desenvolvimento de novas pesquisas e tecnologias [4, 12].

Diante desse cenário, torna-se relevante analisar o panorama científico mundial da Inteligência Artificial aplicada à Ortodontia e à Ortopedia Dentofacial por meio de técnicas bibliométricas, permitindo caracterizar a evolução da literatura, identificar os principais atores científicos, mapear redes de colaboração e

reconhecer tendências temáticas que vêm direcionando o desenvolvimento dessa área de pesquisa.

2 METODOLOGIA

2.1 Estratégia de busca

A pesquisa foi realizada em junho de 2026 utilizando a base de dados Web of Science Core Collection (WoS-CC). Essa base foi selecionada devido à sua ampla cobertura de periódicos científicos de elevado impacto, além da disponibilização de dados padronizados de citações, autoria e indicadores bibliométricos, permitindo análises robustas e reproduzíveis.

Foram incluídos artigos originais e artigos de revisão, sem restrição de idioma. O período analisado compreendeu os anos de 2016 a 2026. A delimitação temporal foi estabelecida considerando o crescimento recente das aplicações de inteligência artificial na odontologia e, particularmente, na ortodontia, impulsionado pelos avanços em aprendizado de máquina (machine learning), aprendizado profundo (deep learning) e análise automatizada de imagens diagnósticas.

A presente revisão bibliométrica seguiu as recomendações da Diretriz para Relatórios de Revisões Bibliométricas da Literatura Biomédica (BIBLIO) (MONTAREZI et al., 2023) [13] visando assegurar transparência, reprodutibilidade e rigor metodológico.

A estratégia de busca foi desenvolvida para contemplar os principais conceitos relacionados à inteligência artificial e sua aplicação na ortodontia e ortopedia dentofacial. Foram utilizados termos controlados e palavras-chave livre combinados por operadores booleanos

Blocos conceituais	Termos de pesquisa
1. Inteligência Artificial	"artificial intelligence" OR "machine learning" OR "neural network" OR "convolutional neural network" OR "AI"
2. Ortodontia e Ortopedia Dentofacial	"orthodontics" OR "orthodontic" OR "dentofacial orthopedics" OR "orthopedic treatment" OR "malocclusion" OR "cephalometry" OR "cephalometric" OR "orthognathic surgery"

A estratégia final foi estruturada pela combinação dos conjuntos utilizando o operador booleano AND (#1 AND #2), permitindo identificar estudos relacionados ao desenvolvimento, aplicação e avaliação de técnicas de inteligência artificial no contexto ortodôntico.

2.2 Critérios de elegibilidade

Foram incluídos estudos originais e revisões que abordassem aplicações da inteligência artificial na ortodontia e ortopedia dentofacial, incluindo diagnóstico, análise cefalométrica, detecção de marcos anatômicos, planejamento ortodôntico, previsão de crescimento craniofacial, classificação de más oclusões e apoio à tomada de decisão clínica.

Foram excluídos editoriais, cartas ao editor, resumos de eventos científicos, notas técnicas, correções, retratações e estudos que não apresentassem relação direta com aplicações da inteligência artificial na ortodontia ou ortopedia dentofacial.

2.3 Processo de seleção dos estudos

Inicialmente, todos os registros recuperados na Web of Science Core Collection foram exportados em formato de texto simples (.txt). Posteriormente, os dados foram importados para o software R para processamento bibliométrico.

Por se tratar de uma análise bibliométrica baseada em metadados indexados, não foi realizada triagem manual de títulos e resumos. Após a aplicação dos filtros de elegibilidade previamente definidos, o conjunto final de documentos foi utilizado para as análises bibliométricas.

2.4 Extração de dados

Os registros selecionados foram exportados diretamente da Web of Science Core Collection e convertidos para um banco de dados bibliométrico por meio da função *convert2df* do pacote *Bibliometrix*. A partir desse banco, foram extraídas informações referentes ao título do documento, autores, ano de publicação, periódico de publicação, país de afiliação dos autores, número total de citações, palavras-chave dos autores (*Author Keywords*), *Keywords Plus®*, tipo de documento e informações sobre colaboração internacional. Posteriormente, os dados passaram

por um processo de revisão para verificação da consistência e padronização dos nomes de autores, periódicos e países, garantindo maior confiabilidade e precisão nas análises bibliométricas subsequentes.

2.5 Análise dos dados

2.5.1 Análise bibliométrica

As análises bibliométricas foram realizadas utilizando o pacote *Bibliometrix* (versão 4.3), por meio da interface gráfica *Biblioshiny*, executada no software R (versão 4.5.0). Foram calculados indicadores de desempenho científico relacionados à produção anual, aos autores mais produtivos, aos periódicos mais relevantes, aos documentos mais citados, aos países com maior produção científica e aos indicadores de colaboração internacional. Além disso, foram conduzidas análises de estrutura conceitual e de mapeamento científico, contemplando a evolução temporal da produção científica, a produtividade dos autores ao longo do tempo, as redes de colaboração entre países, as análises de citações, a dinâmica das fontes de publicação, a frequência e a evolução temporal das palavras-chave, bem como a construção de mapas temáticos e a identificação de temas motores, básicos, emergentes e de nicho.

Os mapas temáticos foram elaborados com base nos índices de centralidade e densidade propostos por Michel Callon e colaboradores (1991), permitindo avaliar simultaneamente o grau de desenvolvimento e a relevância dos diferentes temas investigados. Os resultados foram apresentados na forma de mapas científicos e representações gráficas geradas automaticamente pelo pacote *Bibliometrix*.

3 RESULTADOS

3.1 Caracterização geral da produção científica

A análise bibliométrica identificou 588 documentos publicados entre 2016 e 2026, distribuídos em 164 fontes científicas. A taxa de crescimento anual da literatura foi de 45,04%, demonstrando rápida expansão do campo ao longo do período investigado. Os documentos apresentaram idade média de 2,12 anos, média de 16,13 citações por publicação e média anual de 3,66 citações por documento.

Foram identificados 2.648 autores, responsáveis por 3.535 ocorrências de autoria. A média de coautores por publicação foi de 6,01, enquanto apenas 15

documentos foram produzidos por um único autor. O percentual de colaboração internacional atingiu 31,12%. Os artigos originais corresponderam à maior parte da produção científica (n=470; 79,9%), seguidos por revisões de literatura (n=118; 20,1%).

3.2 Evolução temporal da produção científica

A produção científica apresentou crescimento contínuo durante todo o período analisado (Figura 1). Em 2019 foram identificadas apenas oito publicações, aumentando para 16 em 2020 e alcançando 51 documentos em 2021.

A partir de 2023 observou-se uma aceleração expressiva do crescimento científico, passando de 76 publicações em 2023 para 105 em 2024 e atingindo o pico de 165 publicações em 2025. Embora 2026 tenha apresentado redução para 108 documentos, esse resultado deve ser interpretado com cautela, uma vez que o ano ainda se encontrava em andamento durante a coleta dos dados. A Figura 1 evidencia uma curva de crescimento típica de áreas científicas emergentes, caracterizada por rápida expansão após uma fase inicial de consolidação.

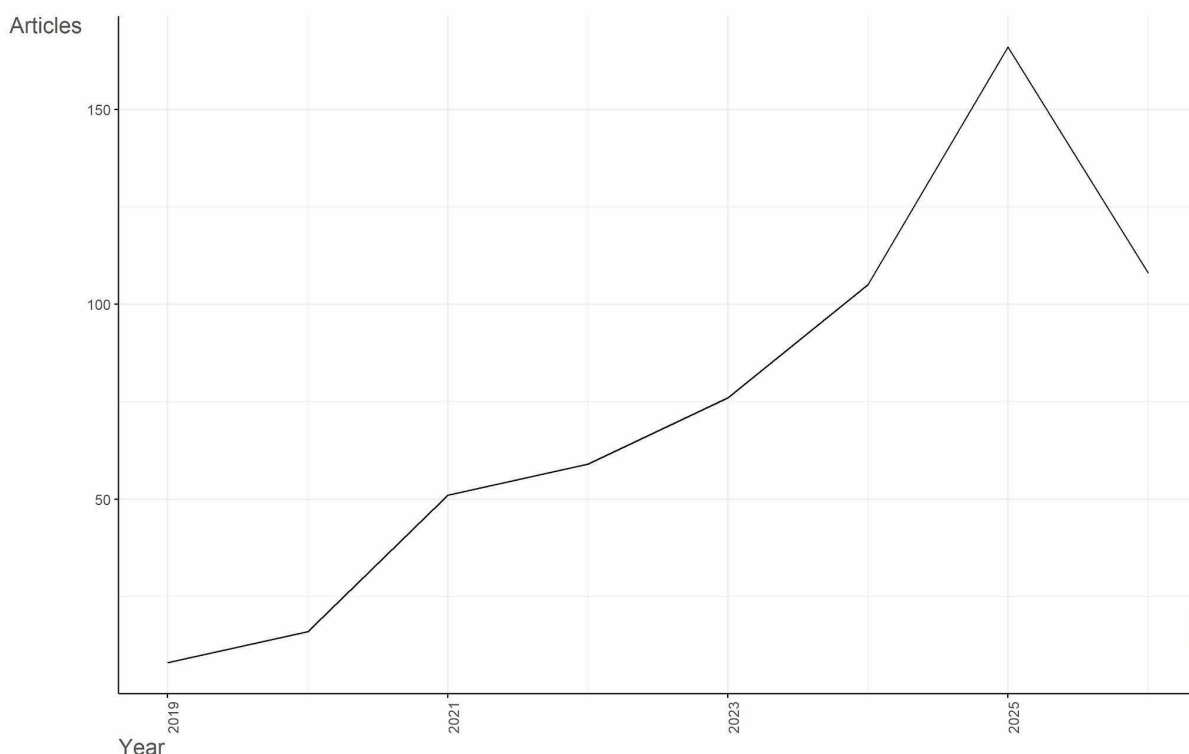


Figura 1. Produção científica anual sobre inteligência artificial aplicada à ortodontia entre 2019 e 2026.

3.3 Autores mais produtivos e dinâmica de autoria

Os autores mais produtivos foram Kim N (13 artigos), Baek SH (11 artigos), Bianchi J (10 artigos), Kazimierczak N (10 artigos), Kim YJ (10 artigos), Proff P (10 artigos) e Serafin Z (10 artigos). A análise temporal dos autores (Figura 2) demonstra que os pesquisadores mais produtivos mantiveram atividade contínua ao longo dos últimos anos, com destaque para Kim Nam-Kug, Baek Seung-Hak e Kim Yoon-Ji, cujas publicações se distribuem desde os primeiros anos do período analisado.

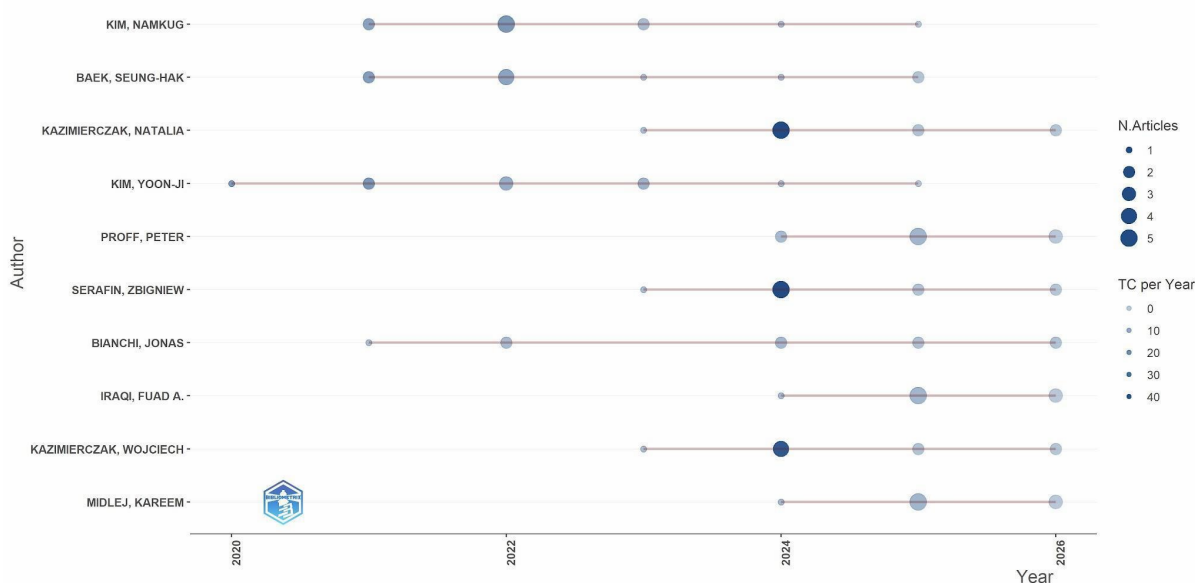


Figura 2. Produção dos autores mais produtivos ao longo do tempo.

Observa-se ainda o surgimento recente de autores como Kazimierczak Natalia, Serafin Zbigniew e Proff Peter, cuja produção se intensifica principalmente entre 2024 e 2026.

3.4 Distribuição geográfica, colaboração internacional e impacto científico

A produção científica apresentou ampla distribuição geográfica (Figura 3), com destaque para países asiáticos, europeus e norte-americanos. A China liderou a produção mundial com 134 documentos (22,9%), seguida pelos Estados Unidos (56), Coreia do Sul (46), Turquia (40), Itália (30), Alemanha (27), Índia (27), Irã (26), Arábia Saudita (20) e Polônia (19).

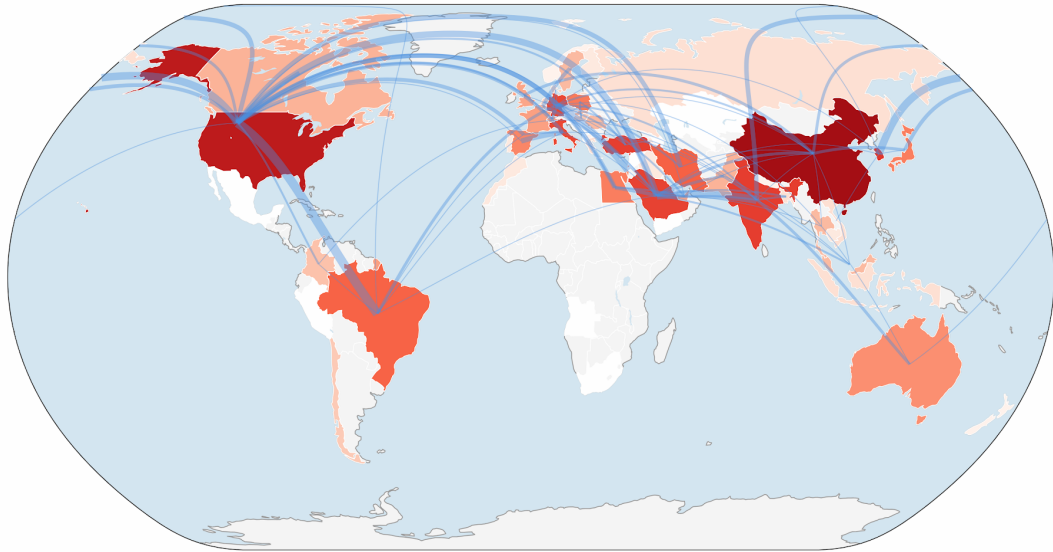


Figura 3. Rede de colaboração científica internacional.

Legenda: Mapa global de colaboração entre países na produção científica sobre inteligência artificial aplicada à ortodontia. As linhas representam colaborações internacionais entre autores de diferentes países.

A Figura 4 demonstra forte concentração da produção científica em países asiáticos, especialmente China e Coreia do Sul. O mapa de colaboração internacional (Figura 3) evidencia uma rede global altamente conectada, com intensa cooperação entre China, Estados Unidos, Coreia do Sul, Alemanha, Itália e países do Oriente Médio. As conexões científicas mostram a existência de um ecossistema internacional consolidado de pesquisa em inteligência artificial aplicada à ortodontia.

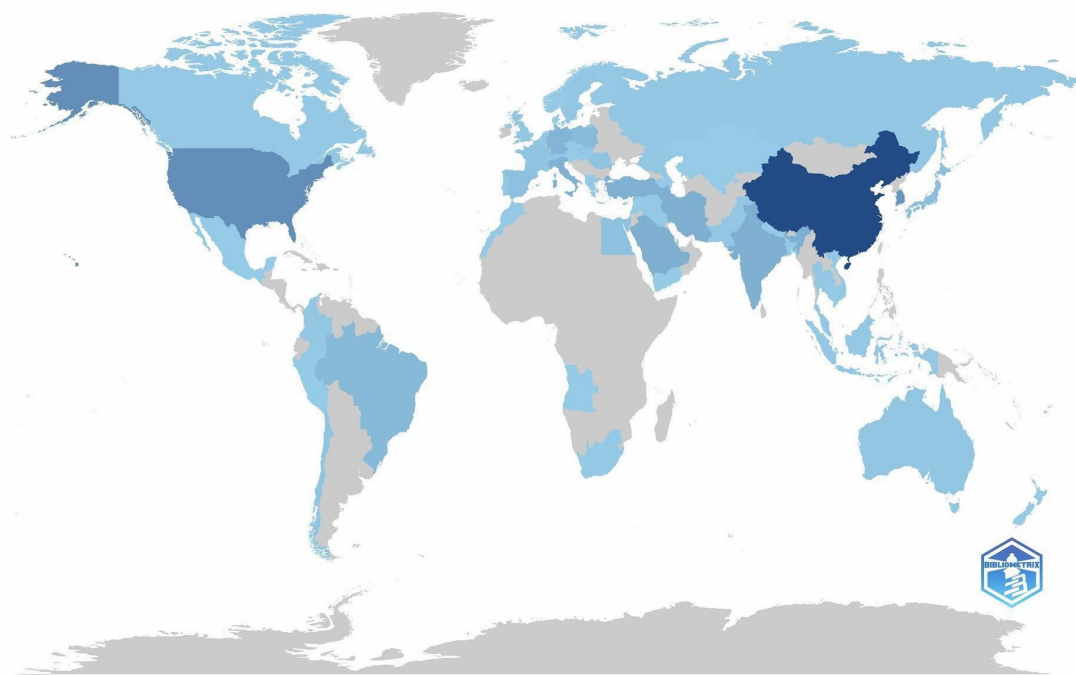


Figura 4. Distribuição geográfica da produção científica mundial.

Legenda: Produção científica por país no período de 2019 a 2026. Tons mais escuros representam maior número de publicações.

Em relação ao impacto científico, a China apresentou o maior número absoluto de citações (2.036), seguida pela Coreia do Sul (1.577), Alemanha (734), Arábia Saudita (659) e Estados Unidos (613) (Figura 5). Entretanto, ao considerar a média de citações por artigo, destacaram-se Coreia do Sul (34,28 citações/artigo), Arábia Saudita (32,95 citações/artigo) e Alemanha (27,19 citações/artigo), indicando elevado impacto relativo dessas produções.

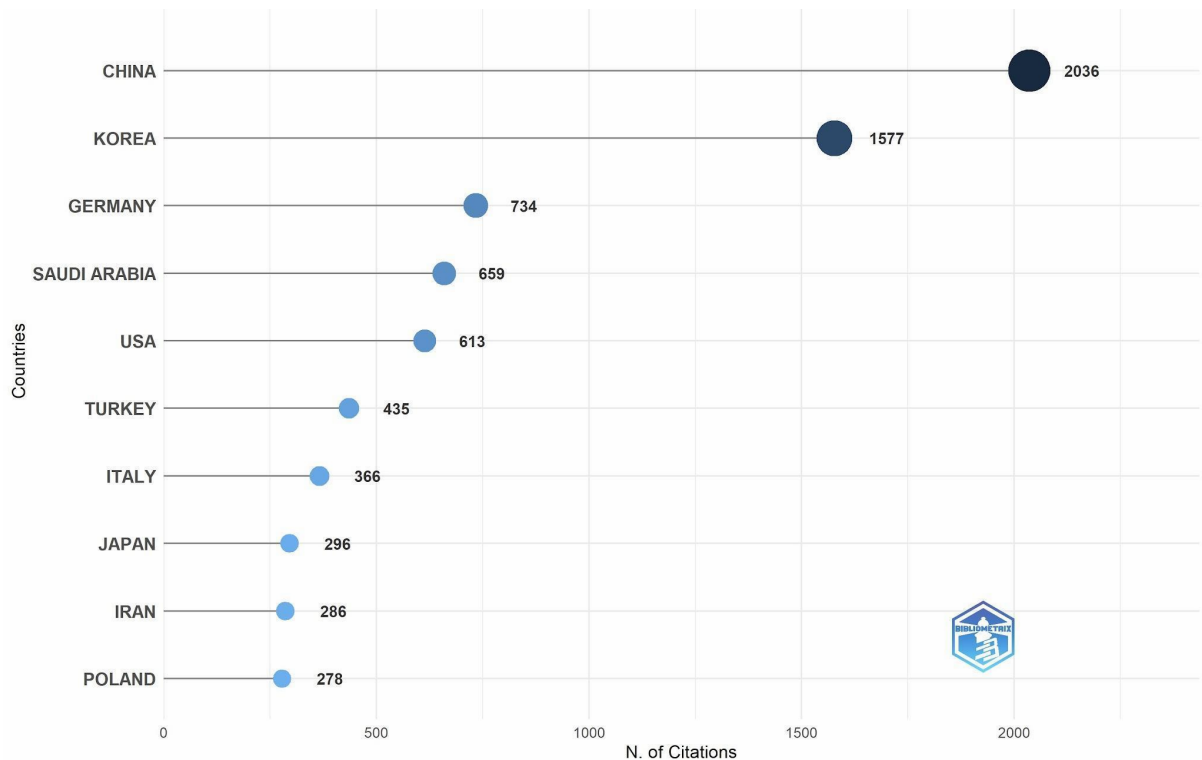


Figura 5. Países com maior impacto científico.

Legenda: Número total de citações recebidas pelos países mais influentes da área. O tamanho dos círculos é proporcional ao número de citações acumuladas.

3.5 Fontes científicas e documentos de maior influência

Os periódicos mais produtivos foram *BMC Oral Health* (40 artigos), *Diagnostics* (31), *Orthodontics & Craniofacial Research* (30), *Applied Sciences* (27) e *Scientific Reports* (23). A dinâmica temporal das fontes (Figura 6) evidencia crescimento acentuado da participação do periódico *BMC Oral Health* a partir de 2024, tornando-se a principal fonte de publicação da área. Também foi observado crescimento consistente de *Diagnostics* e *Orthodontics & Craniofacial Research* ao longo do período.

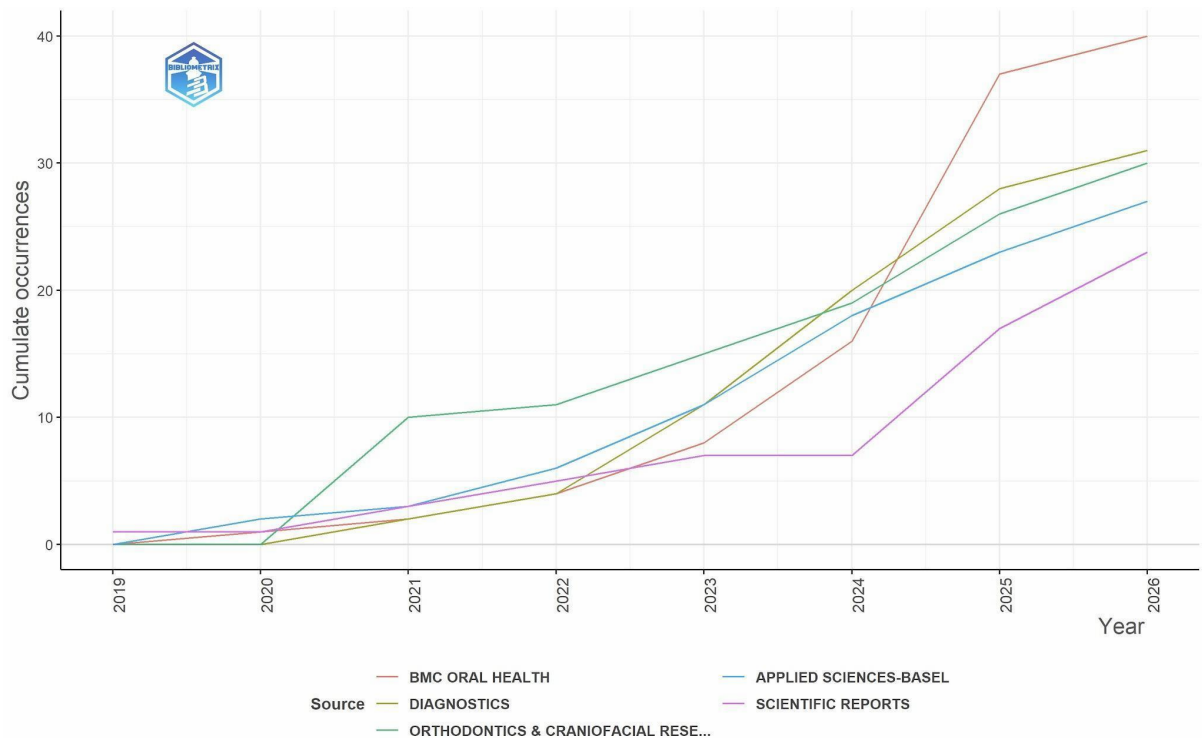


Figura 6. Evolução temporal das principais fontes de publicação.

Legenda: Crescimento acumulado das publicações nos periódicos mais produtivos da área.

Entre os documentos mais influentes (Figura 7), destacou-se o estudo de Khanagar et al. (2021) [4], publicado no *Journal of Dental Sciences*, com 375 citações globais. Em seguida apareceram Schwendicke et al. (2019) [14] com 313 citações, Hwang et al. (2020) [7] com 178 citações, e Ahmed et al. (2021) [15] com 175 citações.

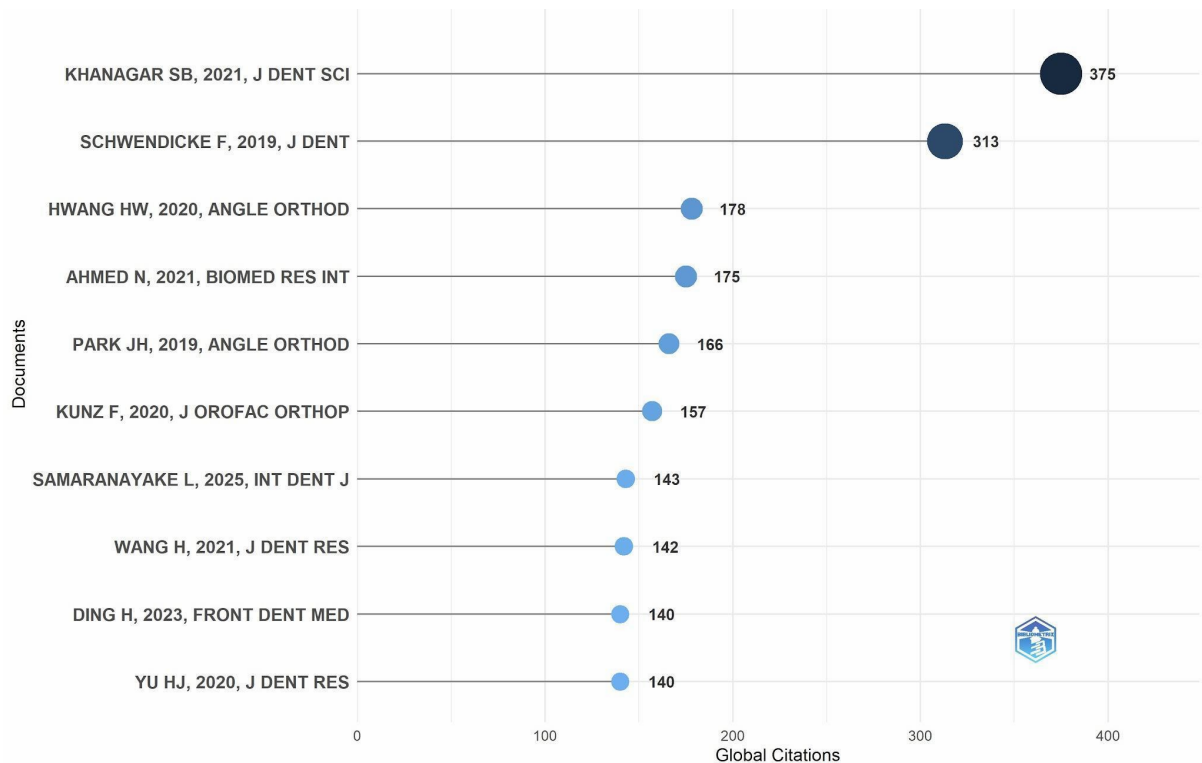


Figura 7. Documentos com maior impacto científico global.

Legenda: Dez artigos mais citados da literatura sobre inteligência artificial aplicada à ortodontia.

3.6 Estrutura conceitual e evolução temática

A análise das palavras-chave revelou predomínio dos termos "Artificial Intelligence" (n=279), "Deep Learning" (n=159), "Orthodontics" (n=157) e "Machine Learning" (n=113). A nuvem de palavras (Figura 8) demonstra a centralidade da inteligência artificial como eixo estruturante da produção científica, associada principalmente a aplicações em ortodontia, aprendizado profundo, diagnóstico e classificação.

Legenda: Frequência acumulada dos principais descritores empregados na literatura entre 2019 e 2026.

O mapa temático (Figura 10) permitiu identificar a estrutura conceitual da produção científica analisada, considerando centralidade e densidade dos temas. No quadrante de temas motores, localizaram-se os termos *machine learning*, *diagnosis* e *artificial-intelligence*, indicando que esses tópicos apresentam simultaneamente alta relevância para o campo e elevado grau de desenvolvimento interno.

No quadrante de temas básicos, observaram-se os termos *artificial intelligence*, *orthodontics* e *deep learning*. Esse achado demonstra que esses conceitos constituem a base estrutural da área, com elevada centralidade, porém ainda em processo de maior desenvolvimento conceitual e metodológico.

Os termos *malocclusion*, *orthognathic surgery* e *orthodontic treatment* foram posicionados como temas de nicho, indicando tópicos bem desenvolvidos, mas com menor integração ao eixo central da literatura analisada. Já *convolutional neural networks*, *cephalometric landmark detection* e *artificial neural networks* apareceram no quadrante de temas emergentes ou declinantes, sugerindo áreas ainda em consolidação ou com deslocamento terminológico para expressões mais amplas, como *deep learning* e *machine learning*.

Por fim, os termos *growth*, *cervical vertebral maturation* e *skeletal maturation* ocuparam posição intermediária, próxima ao centro do mapa, indicando temas transversais relacionados à avaliação do crescimento e maturação esquelética, mas ainda sem consolidação suficiente como temas motores.

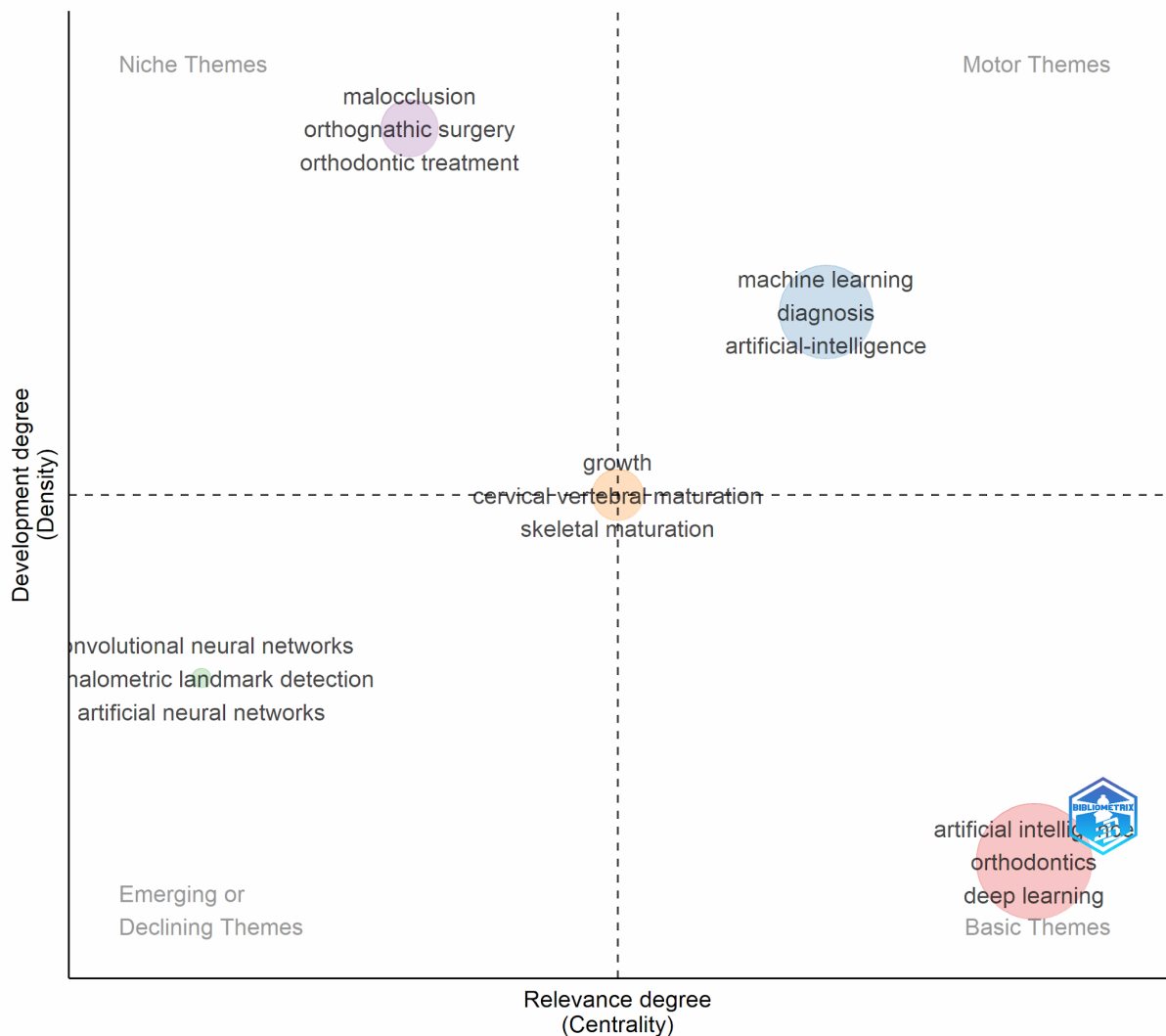


Figura 10. Mapa temático da estrutura conceitual da literatura.

Legenda: Mapa temático baseado na centralidade e densidade dos temas identificados. Os quadrantes representam temas motores, temas básicos, temas de nicho e temas emergentes ou declinantes. O tamanho das bolhas é proporcional à frequência dos temas na literatura.

4 DISCUSSÃO

Os resultados desta análise bibliométrica demonstram um crescimento acelerado da produção científica relacionada à inteligência artificial aplicada à ortodontia entre 2019 e 2026, evidenciado por uma taxa de crescimento anual de 45,04%. Esse comportamento sugere que a área se encontra em plena expansão e consolidação, acompanhando uma tendência observada em diferentes

especialidades da saúde após o avanço dos algoritmos de aprendizado profundo e o aumento da capacidade computacional disponível para pesquisa [1, 5]. O aumento expressivo das publicações a partir de 2023 coincide com a ampliação do uso de modelos de deep learning em aplicações clínicas e diagnósticas, bem como com a crescente disponibilidade de grandes bases de dados de imagens odontológicas para treinamento e validação de algoritmos [3]

A predominância de artigos originais em relação aos artigos de revisão sugere que a área ainda se encontra em fase de desenvolvimento e validação de novas aplicações. Esse padrão é característico de campos científicos emergentes, nos quais o esforço inicial concentra-se na geração de evidências primárias capazes de demonstrar a viabilidade, acurácia e aplicabilidade clínica das novas tecnologias [4]. Embora as revisões representem aproximadamente um quinto da produção científica, elas exercem papel fundamental na consolidação do conhecimento, fato corroborado pela elevada frequência de citações observada em estudos de síntese da literatura.

A elevada média de coautores por documento e a baixa frequência de publicações de autoria única reforçam o caráter multidisciplinar da área. O desenvolvimento de sistemas de inteligência artificial depende da interação entre ortodontistas, radiologistas, cientistas da computação, estatísticos e engenheiros de software, exigindo competências que extrapolam a formação tradicional em odontologia. Segundo Topol (2019) [1], a implementação efetiva da inteligência artificial na saúde somente é possível por meio da integração entre conhecimento clínico e expertise tecnológica, tornando a colaboração científica um componente essencial para o avanço do campo.

A análise temporal da produção científica evidenciou uma curva de crescimento típica de áreas emergentes. O aumento progressivo das publicações demonstra que a inteligência artificial deixou de ser uma temática periférica para ocupar posição central na pesquisa ortodôntica contemporânea. Esse fenômeno também foi identificado por Khanagar et al. (2021) [4], que observaram crescimento substancial das publicações relacionadas à inteligência artificial em odontologia durante a última década. A redução observada em 2026 deve ser interpretada com cautela, uma vez que os dados foram coletados antes do encerramento do ano, refletindo apenas parte da produção científica disponível.

A distribuição geográfica da produção científica revelou forte protagonismo de países asiáticos, especialmente da China e da Coreia do Sul. A liderança chinesa em número de publicações pode ser atribuída aos investimentos governamentais realizados nos últimos anos em inteligência artificial, ciência de dados e transformação digital da saúde. Liang et al. (2023) [16] destacam que a China consolidou-se como um dos principais polos mundiais de pesquisa em inteligência artificial devido à combinação entre financiamento público, infraestrutura tecnológica e disponibilidade de grandes bancos de dados populacionais.

Apesar da liderança chinesa em produtividade, a Coreia do Sul apresentou maior impacto relativo, representado pela elevada média de citações por artigo. Esse resultado pode estar associado à tradição sul-coreana em pesquisas envolvendo análise cefalométrica automatizada e diagnóstico por imagem. Estudos desenvolvidos por Hwang et al. (2020) [7] e Park et al. (2019) [6] figuram entre os trabalhos mais influentes da área e contribuíram significativamente para a validação de sistemas automatizados de identificação de pontos cefalométricos, um dos marcos iniciais da aplicação da inteligência artificial na ortodontia.

A análise do mapa de colaboração internacional demonstrou uma rede científica amplamente conectada, envolvendo países da Ásia, Europa, América do Norte e Oriente Médio. Esse padrão de cooperação é particularmente relevante em pesquisas envolvendo inteligência artificial, uma vez que a robustez dos algoritmos depende da utilização de bases de dados heterogêneas e da validação externa em diferentes populações. Hung et al. (2023) [17] ressaltam que a generalização clínica dos modelos de inteligência artificial constitui um dos principais desafios atuais da odontologia digital, tornando as colaborações multicêntricas fundamentais para o desenvolvimento de sistemas mais confiáveis e aplicáveis à prática clínica.

Os periódicos mais produtivos identificados nesta análise refletem a natureza interdisciplinar da temática. A predominância de revistas como *BMC Oral Health*, *Diagnostics* e *Scientific Reports* sugere que a produção científica ainda está fortemente direcionada à validação tecnológica e ao diagnóstico por imagem. Paralelamente, a presença de periódicos especializados em ortodontia, como *Orthodontics and Craniofacial Research* e *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, demonstra crescente interesse da comunidade ortodôntica na incorporação dessas tecnologias ao planejamento e à tomada de decisão clínica.

Os artigos mais citados da amostra reforçam essa tendência. O estudo de Khanagar et al. (2021) [4], que liderou o ranking de citações, constitui uma das primeiras revisões sistemáticas abrangentes sobre aplicações da inteligência artificial em odontologia. Da mesma forma, os trabalhos de Schwendicke et al. (2019) [14] e Ahmed et al. (2021) [15] contribuíram para consolidar conceitos metodológicos e demonstrar o potencial dos algoritmos em tarefas diagnósticas, justificando sua elevada influência científica.

A análise das palavras-chave revelou que os termos “artificial intelligence”, “deep learning”, “machine learning” e “orthodontics” constituem o núcleo conceitual da área. A evolução temporal desses descritores demonstra crescimento acentuado a partir de 2023, sugerindo que a literatura tem migrado progressivamente de abordagens exploratórias para aplicações clínicas mais específicas. Esse comportamento acompanha o observado em outras áreas da medicina digital, nas quais os modelos de aprendizado profundo passaram a apresentar desempenho comparável ou superior ao de especialistas em tarefas de classificação e diagnóstico por imagem [18, 1].

O mapa temático forneceu informações importantes sobre a maturidade científica dos diferentes tópicos investigados. Os termos *machine learning*, *diagnosis* e *artificial intelligence* foram classificados como temas motores, caracterizados simultaneamente por elevada centralidade e densidade. Isso indica que esses tópicos não apenas ocupam posição central na estrutura conceitual do campo, mas também apresentam alto grau de desenvolvimento científico. Esse resultado reforça a ideia de que a principal aplicação da inteligência artificial na ortodontia continua concentrada no diagnóstico automatizado e na interpretação de imagens, áreas nas quais já existem evidências robustas de desempenho clínico [3].

Por outro lado, os termos *artificial intelligence*, *deep learning* e *orthodontics* foram identificados como temas básicos. Embora altamente centrais para a área, esses conceitos ainda representam eixos amplos de investigação, funcionando como sustentação teórica para o desenvolvimento de aplicações mais específicas. A presença desses termos nesse quadrante sugere que a literatura continua expandindo suas fronteiras metodológicas e clínicas, incorporando novas possibilidades de utilização da inteligência artificial no contexto ortodôntico.

Os temas relacionados à má oclusão, cirurgia ortognática e tratamento ortodôntico foram classificados como temas de nicho. Essa configuração indica que esses tópicos apresentam desenvolvimento interno consistente, mas permanecem relativamente desconectados do núcleo principal da produção científica. Uma possível explicação reside na maior complexidade dessas aplicações, que exigem integração de múltiplos fatores clínicos, anatômicos e funcionais, tornando o desenvolvimento de algoritmos mais desafiador quando comparado a tarefas diagnósticas baseadas exclusivamente em imagens.

Por sua vez, os termos *convolutional neural networks*, *cephalometric landmark detection* e *artificial neural networks* apareceram no quadrante dos temas emergentes ou declinantes. Embora essa classificação possa sugerir redução de interesse, é provável que reflita uma mudança terminológica decorrente da evolução tecnológica. Nos primeiros estudos da área, as redes neurais convolucionais e a identificação automatizada de pontos cefalométricos constituíam temas centrais. Entretanto, à medida que a tecnologia evoluiu, esses conceitos passaram a ser incorporados em abordagens mais abrangentes, frequentemente agrupadas sob os descritores *deep learning* e *machine learning*. Esse fenômeno já foi descrito por Park et al. (2019) [19] e Hwang et al. (2020) [7], cujos estudos pioneiros contribuíram para a consolidação dessas técnicas no contexto ortodôntico.

Finalmente, a posição intermediária dos temas relacionados ao crescimento craniofacial, maturação vertebral cervical e maturação esquelética sugere uma área promissora para futuras investigações. Embora esses tópicos sejam clinicamente relevantes para o planejamento ortodôntico e ortopédico, sua aplicação por meio de inteligência artificial ainda parece menos consolidada quando comparada ao diagnóstico automatizado. Dessa forma, os resultados apontam para uma possível tendência futura de expansão das pesquisas voltadas à previsão de crescimento, determinação do potencial maturacional e apoio à tomada de decisão terapêutica individualizada.

Em conjunto, os achados demonstram que a inteligência artificial aplicada à ortodontia evoluiu de uma fase predominantemente metodológica para um estágio de crescente maturidade científica, caracterizado pela consolidação do diagnóstico automatizado e pela expansão progressiva para áreas clínicas mais complexas. O fortalecimento das colaborações internacionais, o aumento da produção científica e

a diversificação temática sugerem que a inteligência artificial continuará desempenhando papel cada vez mais relevante na pesquisa e na prática ortodôntica nas próximas décadas.

5 REFERÊNCIAS

- 1- ESTEVA, A. et al. A guide to deep learning in healthcare. **Nature Medicine**, New York, v. 25, n. 1, p. 24-29, 2019. DOI: 10.1038/s41591-018-0316-z.
- 2- TOPOL, E. J. Deep Medicine: How Artificial Intelligence Can Make Healthcare Human Again. **New York: Basic Books**, 2019.
- 3- SCHWENDICKE, F.; SAMEK, W.; KROIS, J. Artificial intelligence in dentistry: chances and challenges. **Journal of Dental Research**, Thousand Oaks, v. 99, n. 7, p. 769-774, 2020. DOI: 10.1177/0022034520915714.
- 4- KHANAGAR, S. B. et al. Application and performance of artificial intelligence technology in dentistry: a systematic review. **Journal of Dental Sciences**, Taipei, v. 16, n. 1, p. 508-522, 2021. DOI: 10.1016/j.jds.2020.06.019.
- 5- JODA, T. et al. Augmented intelligence in dental medicine. **Journal of Dental Research**, Thousand Oaks, v. 102, n. 11, p. 1165-1174, 2023. DOI: 10.1177/00220345231180769.
- 6- PARK, J. H. et al. Automated identification of cephalometric landmarks: Comparisons between the latest deep-learning methods YOLOv3 and SSD. **The Angle Orthodontist**, v. 89, n. 6, p. 903–909, 2019.
- 7- HWANG, H. W. et al. Automated identification of cephalometric landmarks: part 2—might it be better than human? **The Angle Orthodontist**, Appleton, v. 90, n. 1, p. 69-76, 2020. DOI: 10.2319/022019-129.1.
- 8- LEE, J. H. et al. Application of artificial intelligence in orthodontics: A scoping review. **American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics**, v. 161, n. 6, p. 878–889, 2022.
- 9- WONG, K. F. et al. Artificial intelligence in orthodontics and orthognathic surgery: a bibliometric analysis of the 100 most-cited articles. **British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery**, 2023.
- 10- NORMAN, N. H. et al. Integration of artificial intelligence in orthodontic imaging: A bibliometric analysis of research trends and applications. **Imaging Science in Dentistry**, v. 55, p. 151–164, 2025.

- 11- ARIA, M.; CUCCURULLO, C. bibliometrix: an R-tool for comprehensive science mapping analysis. **Journal of Informetrics**, Amsterdam, v. 11, n. 4, p. 959-975, 2017. DOI: 10.1016/j.joi.2017.08.007.
- 12- XIE, B. et al. Artificial intelligence in dentistry: A bibliometric analysis from 2000 to 2023. **Journal of Dental Sciences**, v. 19, n. 3, p. 1722–1733, 2024.
- 13- Montazeri A, Mohammadi S, Hesari PM, Ghaemi M, Riazi H, Sheikhi-Mobarakeh Z. Preliminary guideline for reporting bibliometric reviews of the biomedical literature (BIBLIO): a minimum requirements. *Syst Rev*. 2023;12:239. doi:10.1186/s13643-023-02410-2.
- 14- SCHWENDICKE, F. et al. Artificial intelligence in dentistry: chances and challenges. **Journal of Dental Research**, v. 99, n. 7, p. 769–774, 2020.
- 15- AHMED, N. et al. Artificial intelligence techniques: analysis, application, and outcome in dentistry: a systematic review. **BioMed Research International**, New York, v. 2021, p. 1-15, 2021. DOI: 10.1155/2021/9751564.
- 16- LIANG, X. et al. Global trends of artificial intelligence in healthcare research: a bibliometric analysis. **Frontiers in Public Health**, Lausanne, v. 11, p. 1-15, 2023. DOI: 10.3389/fpubh.2023.1142491.
- 17- HUNG, K. F. et al. Artificial intelligence in dentomaxillofacial radiology. **Dentomaxillofacial Radiology**, London, v. 52, n. 2, p. 20220335, 2023. DOI: 10.1259/dmfr.20220335.
- 18- LITJENS, G. et al. A survey on deep learning in medical image analysis. **Medical Image Analysis**, Amsterdam, v. 42, p. 60-88, 2017. DOI: 10.1016/j.media.2017.07.005.
- 19- PARK, J. H. et al. Automated classification of malocclusion using deep learning technology. **European Journal of Orthodontics**, v. 41, n. 4, p. 1–7, 2019.