

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA CAMPUS
GOVERNADOR VALADARES
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DA VIDA
DEPARTAMENTO DE ODONTOLOGIA

Lucca Pasolini Franco

**Aplicação da Realidade Virtual e da Realidade Aumentada no ensino das
práticas cirúrgicas em Odontologia: uma revisão de escopo**

Governador Valadares
2025



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA

Lucca Pasolini Franco

Aplicação da Realidade Virtual e da Realidade Aumentada no Ensino das Práticas Cirúrgicas em Odontologia: uma Revisão de Escopo

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Odontologia, do Instituto de Ciências da Vida, da Universidade Federal de Juiz de Fora, Campus Governador Valadares, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Odontologia.

Aprovado em 06 de agosto de 2025

BANCA EXAMINADORA

Dr(a). **Mônica Regina Pereira Senra Soares** – Orientador(a)
Universidade Federal de Juiz de Fora, Campus Governador Valadares

Dr(a). **Alexa Magalhães Dias**
Universidade Federal de Juiz de Fora, Campus Governador Valadares

Dr(a). **Sibele Nascimento de Aquino**
Universidade Federal de Juiz de Fora, Campus Governador Valadares



Documento assinado eletronicamente por **Mônica Regina Pereira Senra Soares, Professor(a)**, em 07/08/2025, às 16:21, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Alexa Magalhaes Dias, Professor(a)**, em 11/08/2025, às 10:53, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Sibele Nascimento de Aquino, Professor(a)**, em 14/08/2025, às 12:53, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no Portal do SEI-Ufjf (www2.ufjf.br/SEI) através do ícone Conferência de Documentos, informando o código verificador **2527692** e o código CRC **2EA36B10**.

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Pasolini Franco, Lucca.

Aplicação da Realidade Virtual e da Realidade Aumentada no ensino das práticas cirúrgicas em Odontologia: : uma revisão de escopo / Lucca Pasolini Franco. -- 2025.

35 p.

Orientadora: Monica Regina Pereira Senra Soares

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Odontologia, 2025.

1. Educação. 2. Realidade Virtual. 3. Cirurgia Maxilofacial. I. Pereira Senra Soares, Monica Regina, orient. II. Título.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que me concedeu tudo o que precisei para chegar até este momento.

Aos meus pais e irmãos, que são minha força motora e que sempre me apoiaram e me deram suporte durante todo o curso, que compreenderam a minha ausência e comemoraram as vitórias, mesmo que longe.

Aos meus avós, que me guiaram com sabedoria por esta importante fase e por me ancorarem nos tempos difíceis.

Aos meus tios, por toda a ajuda e conselhos durante o curso.

A minha namorada, Thaís, por me apoiar e me acompanhar durante os tempos difíceis, oferecendo um porto seguro e sempre me incentivando.

Aos meus amigos, pela amizade sincera, por estarem sempre por perto, pelas risadas nos momentos de descanso, pelo apoio nas horas difíceis e por fazerem dessa caminhada algo tão prazeroso.

A todos os professores e profissionais que fizeram parte da minha formação, transmitindo não apenas conhecimento, mas também valores que levarei para a vida.

Por fim, a todos que, de alguma forma, contribuíram direta ou indiretamente para que este trabalho fosse possível: meu sincero muito obrigado.

RESUMO

Esta revisão de escopo teve como objetivo mapear e sintetizar as evidências científicas disponíveis acerca do uso de realidade virtual (RV) e realidade aumentada (RA) no ensino de procedimentos cirúrgicos odontológicos, com foco em sua aplicabilidade, benefícios pedagógicos e desafios de implementação. A metodologia seguiu as diretrizes do Instituto Joanna Briggs (JBI) e o checklist PRISMA-ScR, utilizando a estratégia PCC (População, Conceito, Contexto) para estruturar a questão norteadora da pesquisa. As buscas foram realizadas nas bases PubMed (62), Scopus (27), Web of Science (62) e Google Scholar (91), com recorte temporal de dez anos (2015–2025). Após a triagem e análise, 13 estudos foram incluídos na amostra final. Os estudos selecionados foram classificados em quatro categorias temáticas: (1) educação e treinamento imersivo, evidenciando ganhos no desempenho prático, autonomia e engajamento discente por meio de simulações realistas em RV; (2) realidade aumentada aplicada à cirurgia ortognática, demonstrando avanços na acurácia do planejamento e execução cirúrgica; (3) simuladores hápticos e físicos, destacando a importância do feedback tátil no desenvolvimento de habilidades psicomotoras; e (4) inovações digitais e o uso do metaverso como ferramenta emergente na construção de ambientes educacionais colaborativos. Os resultados indicaram que a aplicação de tecnologias imersivas no ensino odontológico potencializa o desenvolvimento de competências clínicas e cognitivas, embora ainda existam barreiras relacionadas à infraestrutura tecnológica, à padronização metodológica e à formação docente, sobretudo em países do sul global. Conclui-se que, embora ainda em processo de consolidação, o uso de RV e RA representa um avanço significativo na modernização do ensino cirúrgico em Odontologia, com potencial para tornar a formação mais acessível, segura e eficaz.

Palavras-chave: realidade virtual, realidade aumentada, realidade mista, odontologia, cirurgia maxilofacial, ensino.

ABSTRACT

This scoping review aimed to map and synthesize the available scientific evidence on the use of virtual reality (VR) and augmented reality (AR) in the teaching of surgical procedures in dentistry, with an emphasis on their applicability, pedagogical benefits, and implementation challenges. The methodological framework followed the Joanna Briggs Institute (JBI) guidelines and the PRISMA-ScR checklist. The PCC strategy (Population, Concept, Context) was used to guide the research question. Searches were conducted across PubMed, Scopus, Web of Science, and Google Scholar, covering publications from 2013 to 2025. After screening and full-text analysis, 13 studies were selected. The included studies were grouped into four thematic categories: (1) immersive education and training, highlighting improvements in practical performance, learner autonomy, and engagement through realistic VR simulations; (2) augmented reality applied to orthognathic surgery, demonstrating increased accuracy in planning and surgical execution; (3) haptic and physical simulators, emphasizing the value of tactile feedback for the development of psychomotor skills; and (4) digital innovations and the emerging use of the metaverse in collaborative educational environments. The findings suggest that immersive technologies significantly enhance the development of clinical and cognitive competencies in dental education. However, challenges remain, particularly in Latin America, due to technological limitations, lack of standardized protocols, and insufficient faculty training. It is concluded that, while still evolving, the integration of VR and AR marks a substantial step forward in modernizing dental surgical education, offering safer, more efficient, and more inclusive learning experiences.

Keywords: virtual reality, augmented reality, mixed reality, dentistry, maxillofacial surgery, education.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS.....	12
3 METODOLOGIA	13
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	17
5 CONCLUSÃO.....	37
REFERÊNCIAS.....	39

1 INTRODUÇÃO

O ensino das práticas cirúrgicas em Odontologia, tradicionalmente baseado na observação clínica, no uso de manequins e na atuação supervisionada em pacientes reais, enfrenta constantes desafios relacionados à segurança, acessibilidade e padronização do aprendizado. Neste contexto, os avanços tecnológicos vêm desempenhando um papel crucial na reformulação das metodologias educacionais, sobretudo com incorporação da Realidade Virtual (RV), Realidade Aumentada (RA) e ambientes imersivos digitais desde meados de 2010 (Pujjala et al. 2018).

A RV permite que os alunos experimentem situações clínicas simuladas por meio de cenários tridimensionais imersivos, promovendo um treinamento repetitivo, seguro e controlado de habilidades manuais e cognitivas. Esta tecnologia tem se mostrado promissora no ensino de procedimentos cirúrgicos complexos, como as osteotomias ortognáticas, possibilitando a visualização anatômica em diferentes planos, a manipulação de estruturas e sua imersão em contextos operatórios realistas (Koyachi et al., 2025; Pulijala et al., 2018). Já a RA possibilita a sobreposição de imagens virtuais sobre o mundo real, sendo aplicada tanto no planejamento quanto na execução cirúrgica, ampliando a precisão e interatividade nos processos de ensino-aprendizagem (Pujjala et al., 2025; Liu et al., 2025).

O uso de simuladores hápticos e físicos tem ganhado espaço por sua capacidade de reproduzir sensações táteis associadas à instrumentação clínica, colaborando para o desenvolvimento da memória motora e da percepção de resistência tecidual. Apesar de seu potencial, estudos indicam que estes simuladores ainda são subutilizados no ensino da cirurgia bucomaxilofacial (Maliha et al., 2018). Além disso, o conceito de metaverso, que surgiu como uma evolução dos ambientes digitais interativos, também começa a causar impacto na Odontologia. A possibilidade de criar espaços virtuais compartilhados, acessíveis remotamente e com múltiplas camadas de interação, pode transformar tanto o ensino como o atendimento clínico, promovendo uma nova era de educação

personalizada e colaborativa (Brar et al., 2025).

Revisões recentes apontaram que embora haja um crescimento expressivo no emprego dessas tecnologias, a quantidade de pesquisas robustas, de alta qualidade metodológica, que avaliam seus impactos reais ainda é limitada, o que pode dificultar a tomada de decisões baseadas em evidências, além de apontarem outros desafios de ética e logística (Fahim et al., 2022; Ayoub & Pulijala, 2019).

Diante disso, esta revisão de escopo objetivou compreender quais são as aplicações mais recorrentes da RV e RA no contexto do ensino das práticas cirúrgicas em Odontologia, além de identificar as abordagens tecnológicas mais utilizadas, os formatos educacionais empregados e os efeitos relatados no processo de ensino-aprendizagem.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Esta revisão de escopo tem como objetivo principal mapear e sintetizar as evidências científicas disponíveis sobre o uso da realidade virtual (RV) e da realidade aumentada (RA) no ensino de práticas cirúrgicas odontológicas.

2.2 Objetivos específicos

Identificar as principais aplicações educacionais dessas tecnologias em contextos cirúrgicos, classificar os tipos de procedimentos abordados nas publicações, verificar os formatos tecnológicos e as plataformas utilizadas, analisar os principais benefícios e limitações relatados no processo de ensino-aprendizagem, além de agrupar os estudos conforme seus enfoques predominantes, como educação, simulação háptica, realidade aumentada aplicada à cirurgia e inovação tecnológica.

3 METODOLOGIA

Trata-se de uma revisão de escopo sobre aplicabilidade e uso da RV e da RA no ensino das cirurgias maxilofaciais. A metodologia adotada seguiu rigorosamente as diretrizes propostas pelo Instituto Joanna Briggs (JBI) para revisões de escopo, bem como as recomendações do checklist PRISMA-ScR (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses extension for Scoping Reviews), garantindo transparência e reprodutibilidade nos procedimentos adotados.

Adaptando-se aos propósitos deste estudo, a estrutura desta revisão consistiu nas seguintes etapas consecutivas: 1) identificação da questão e objetivos da pesquisa; 2) identificação de estudos mais relevantes, que viabilizaram a amplitude e abrangência dos propósitos desta revisão; 3) seleção de estudos, conforme os critérios predefinidos de elegibilidade; 4) mapeamento de dados; 5) sumarização dos resultados, em subtemas por meio de uma análise temática; 6) apresentação dos resultados, identificando os seguintes subtemas: **Educação e treinamento imersivo**, envolvendo o uso de ambientes virtuais para o desenvolvimento de habilidades clínicas; **realidade aumentada aplicada a cirurgias ortognáticas**, com foco na precisão do planejamento e execução cirúrgica; **simuladores hápticos e físicos**, que oferecem feedback tátil em simulações odontológicas; e **metaverso e inovações digitais**, destacando o uso de ambientes virtuais colaborativos como novas possibilidades para a formação odontológica. Essa categorização permitiu uma compreensão mais ampla do panorama atual de aplicação das tecnologias imersivas no ensino cirúrgico em Odontologia, respeitando a diversidade de enfoques clínicos e pedagógicos presentes na literatura científica recente.

A pergunta de pesquisa foi estruturada com base na estratégia PCC, recomendada pelo JBI para este tipo de estudo: “*Quais são as evidências*

disponíveis na literatura científica sobre a aplicação da realidade virtual e da realidade aumentada no ensino de procedimentos cirúrgicos em Odontologia para estudantes e profissionais da área?” Assim, definiu-se como População os profissionais e estudantes da área odontológica; como Conceito, o uso de realidade virtual ou aumentada; e como Contexto, o ensino de procedimentos cirúrgicos em Odontologia. A partir dessa delimitação, buscou-se identificar a extensão, a natureza e os tipos de evidências disponíveis na literatura científica acerca do tema.

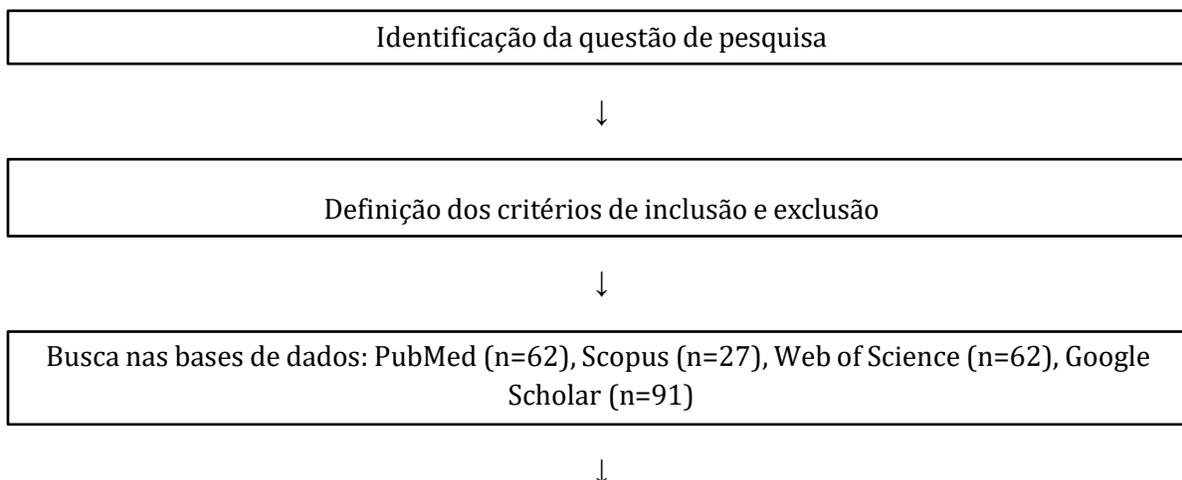
As buscas foram realizadas de forma independente por dois pesquisadores, com apoio da plataforma Rayyan para organização, triagem e remoção de duplicatas. Foram consultadas quatro bases de dados: PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science e Google Scholar. As estratégias de busca foram elaboradas com base na combinação dos descritores “Virtual reality”, “Augmented reality”, “Virtual Reality Educational”, “Educational Virtual Reality”, “Dentistry”, “Health”, “Maxillofacial surgery” e “Dentistry education”, considerando como recorte temporal os últimos dez anos (2015 a 2025).

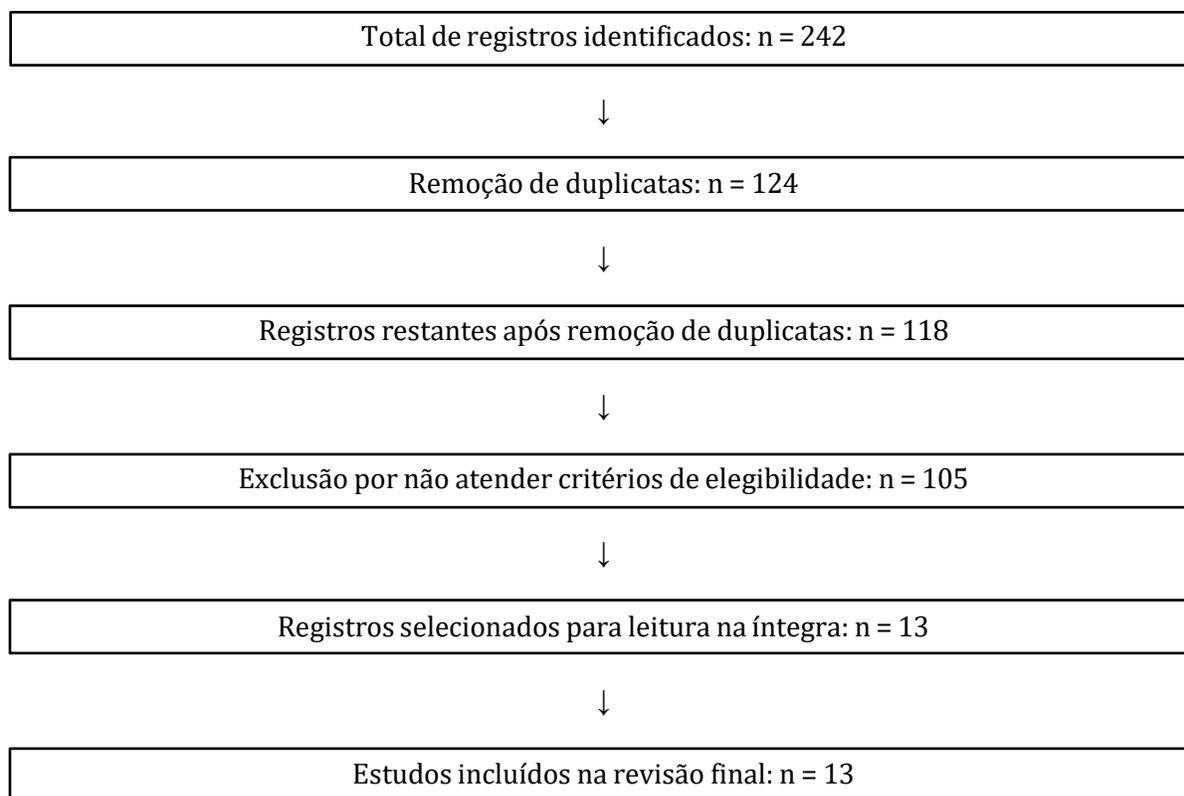
Na base PubMed/MEDLINE, as expressões de busca utilizadas foram: (Virtual reality OR augmented reality OR Virtual Reality Educational OR Educational Virtual Reality) AND (dentistry) AND (health) AND (maxillofacial surgery), o que resultou em 62 publicações. Na base Scopus, a seguinte estratégia foi aplicada: (Virtual reality OR augmented reality OR Virtual Reality Educational OR Educational Virtual Reality) AND (dentistry) AND (health), obtendo-se 27 resultados. Já na Web of Science: (Virtual reality OR augmented reality OR Virtual Reality Educational OR Educational Virtual Reality) AND (dentistry education) AND (maxillofacial surgery), totalizando 62 estudos. Na plataforma Google Scholar, a busca foi realizada com os termos: ALL ("Virtual reality" OR "augmented reality" OR "Virtual Reality Educational" OR "Educational Virtual Reality") AND ("maxillofacial surgery") AND ("Dentistry Education"), sendo considerada, para fins de triagem, apenas a primeira página de resultados, em

função do alto volume retornado (91 publicações), priorizando-se os estudos mais relevantes e os mais citados (Tabela 1).

Todos os 242 artigos encontrados foram importados para a plataforma Rayyan, onde foi realizada a leitura dos títulos e resumos com base em critérios de elegibilidade previamente estabelecidos. Foram incluídos os estudos disponíveis na íntegra, publicados nos últimos dez anos, redigidos em inglês ou português, e que abordassem diretamente a aplicação de RV ou RA no contexto educacional de procedimentos cirúrgicos odontológicos. Na sequência, foram excluídos 124 artigos duplicados, 105 revisões narrativas que não se adequavam, os relatos de experiência desprovidos de dados empíricos e os estudos cujo foco não apresentavam elementos que atendessem aos objetivos desta revisão, restando 13 artigos. Quando a relevância de um estudo não era clara a partir do resumo, o artigo completo era recuperado para a leitura na íntegra. Entre os 13 trabalhos incluídos, observou-se uma diversidade metodológica: revisões (4 artigos, 30,7%), que oferecem uma visão geral do campo; ensaios clínicos/experimentais (3 artigos, 23%), que trazem evidências de eficácia; validações metodológicas (2 artigos, 15,3%), com foco em acurácia e aceitação; e estudos descritivos/aplicativos (4 artigos, 30,7%), voltados a novas propostas e perspectivas de aplicação. A Figura 1 apresenta o fluxograma do processo de seleção das publicações que fizeram parte desta revisão.

Fig. 1: Diagrama de fluxo de identificação, triagem e inclusão de estudos





Fonte: o autor, 2025.

A seleção dos estudos foi realizada por dois revisores, e as eventuais divergências foram solucionadas com discussão entre ambos, não havendo a necessidade de decisão por um terceiro avaliador. A extração dos dados dos estudos incluídos seguiu uma planilha previamente estruturada, contendo informações como: autores, ano de publicação, país de origem, tipo de estudo, tecnologia utilizada, dispositivo ou plataforma empregada, tipo de procedimento cirúrgico abordado, público-alvo e principais resultados e conclusões. A análise foi conduzida por meio de abordagem descritiva e síntese narrativa, com categorização temática dos estudos conforme seus focos centrais, tais como: educação e treinamento, recursos hápticos, realidade aumentada aplicada à cirurgia e inovação tecnológica.

Tabela 1 – Estratégias de busca e resultados por base de dados

BASE DE DADOS	ESTRATÉGIA DE BUSCA	RESULTADOS
PubMed/MEDLINE	(Virtual reality OR augmented reality OR Virtual Reality Educational OR Educational Virtual	62

	Reality) AND (dentistry) AND (health) AND (maxillofacial surgery)	
Scopus	(Virtual reality OR augmented reality OR Virtual Reality Educational OR Educational Virtual Reality) AND (dentistry) AND (health)	27
Web of Science	(Virtual reality OR augmented reality OR Virtual Reality Educational OR Educational Virtual Reality) AND (dentistry education) AND (maxillofacial surgery)	62
Google Scholar	ALL ("Virtual reality" OR "augmented reality" OR "Virtual Reality Educational" OR "Educational Virtual Reality") AND ("maxillofacial surgery") AND ("Dentistry Education")	91 (primeira página)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dos 242 artigos encontrados, 229 foram excluídos baseados nos critérios de elegibilidade e os 13 artigos que fizeram parte desta revisão estão descritos na tabela 2, abaixo. Foi realizada a extração dos dados dos artigos selecionados e que resultou na organização sistemática de informações relevantes acerca do foco deste estudo e que contemplou os aspectos metodológicos, tecnológicos e pedagógicos. Essa estrutura permitiu identificar padrões quanto ao tipo de abordagem empregada, quais as ferramentas tecnológicas utilizadas e as áreas nas quais essas inovações têm sido aplicadas no contexto do ensino odontológico.

Tabela 2: Estudos sobre Realidade Virtual e Aumentada na Odontologia

AUTORES	TIPO DE ESTUDO	FERRAMENTAS	RESUMO	ÁREA	TECNOLOGIA REPORTADA	TIPO DE EXIBIÇÃO	TAXONOMIA SUGERIDA
Maliha et al. (2018)	Revisão de escopo	Baseado na web, háptico, físico	Identificou 22 simuladores para cirurgia maxilofacial ; baixa	Cirurgia maxilo facial	RV	Diversos	Simuladores de RV

			evidência nos estudos analisados.				
Pulijala et al. (2018)	Estudo de validação	Oculus Rift, Leap Motion	Desenvolveu e validou ferramenta VR imersiva para osteotomia Le Fort I; boa aceitação por especialistas.	Cirurgia maxilo facial	RV	Head-mounted display	RV imersiva
Kwon et al. (2018)	Revisão narrativa	Diversos	Discutiu o potencial da AR para ensino anatômico e procedimentos odontológicos.	Educação odontológica	RA	Head-mounted display	RA aplicada à educação
Ayoub & Pulijala (2019)	Revisão sistemática	Diversos simuladores RV e RA	Revisão sobre aplicações de VR e AR em cirurgia oral e maxilofacial; destaque para planejamento e treinamento cirúrgico.	Cirurgia maxilo facial	RV/RA	Diversos	RV e RA aplicados
Koyachi et al. (2021)	Estudo experimental	CAD/CAM e HoloLens	Estudo sobre precisão em cirurgia ortognática com uso de realidade mista e tecnologia CAD/CAM.	Cirurgia ortognática	RA	Head-mounted display	Realidade mista aplicada à cirurgia
Fahim et al. (2022)	Revisão narrativa	Diversas plataformas	Resumo dos avanços e aplicações	Educação e clínica	RV/RA	Diversos	Panorama atual de XR odontológica

			recentes de AR e VR na odontologia.				
Keser & Pekiner (2024)	Capítulo de livro	Diversas plataformas	Discussão ampla sobre VR/AR em odontologia, com foco em benefícios educacionais.	Educação odontológica	RV/RA	Diversos	Aplicações educacionais de XR
Lima et al. (2024)	Revisão de literatura	Realidade virtual e aumentada	Aponta potencial imersivo da RV/RA para ensino, com alertas sobre custos e ética.	Educação odontológica	RV/RA	Head-mounted display	Aplicações imersivas
Taysi et al. (2024)	Estudo quasi-experimental	Modelos simuladores	Mostra eficácia de simuladores na preparação clínica de alunos.	Educação cirúrgica	RV	Modelos físicos	Simulação prática em exodontia
Koyachi et al. (2025)	Estudo transversal	VR (vídeos 360°), HMD	Uso de VR para ensino de higienização cirúrgica pré-operatória; aumento de conhecimento e aceitação positiva.	Educação odontológica	RV	Head-mounted display	VR imersiva
Brar et al. (2025)	Estudo cross-sectional	Metaverso, RV e RA	Pesquisa com 476 participantes revela aceitação das tecnologias XR na educação, com desafios financeiros	Educação digital	RV/RA/Metaverso	Head-mounted display	Educação imersiva em metaverso

			e estruturais.				
Suenaga et al. (2025)	Estudo experimental	Planejamento virtual + RA	Mostrou que o uso de AR sem marcadores aumentou a precisão e facilidade na fixação de placas cirúrgicas.	Cirurgia ortognática	RA	Head-mounted display	AR para navegação cirúrgica
Liu et al. (2025)	Ensaio randomizado	Sistema baseado em RV, HMD	RV apresentou melhores resultados de aprendizagem imediata e a longo prazo em cirurgia ortognática.	Educação odontológica	RV	Head-mounted display	VR imersiva

Foram incluídos desde estudos empíricos com delineamentos experimentais, como o ensaio clínico randomizado conduzido por Liu et al. (2025), que comparou o desempenho de estudantes treinados com realidade virtual (RV) àqueles submetidos ao ensino convencional, até investigações de natureza exploratória, como a revisão de escopo de Maliha et al. (2018), a qual mapeou o uso de simuladores hápticos e físicos na prática cirúrgica odontológica, destacando a carência de evidências robustas na maioria dos estudos analisados.

No que se refere à aplicação das tecnologias XR (realidade estendida), observou-se predominância da realidade virtual imersiva, com uso de Óculos de realidade virtual (HMDs) e interfaces sensoriais como *Leap Motion*, dispositivo que permite o rastreamento de movimentos da mão replicando-os em ambiente virtual, exemplificado no trabalho de Pulijala et al. (2018), que validou uma plataforma voltada ao treinamento em osteotomias Le Fort I. Koyachi et al. (2025), por sua vez, utilizaram vídeos em 360 graus para promover o ensino de práticas de

higienização cirúrgica, evidenciando não somente aumento de conhecimento, mas também elevada aceitação da tecnologia pelos participantes. Em termos de abrangência temática, os estudos concentraram-se majoritariamente em contextos de formação acadêmica e clínica, com ênfase no ensino de procedimentos cirúrgicos, no aprimoramento da percepção espacial e na familiarização com ambientes operatórios simulados.

Além disso, algumas investigações incluídas se dedicaram à análise crítica das aplicações e limitações dessas tecnologias no contexto odontológico. A revisão sistemática realizada por Ayoub e Pulijala (2019) destacou o potencial da VR e da realidade aumentada (AR) no planejamento e treinamento cirúrgico, enquanto alertou para a necessidade de padronização metodológica e validação de ferramentas. A categorização das tecnologias quanto ao tipo de exibição (imersiva, baseada em web ou multimodal) e à função pedagógica (simulação, visualização, treinamento motor) fundamentou a proposta de uma taxonomia sugerida, a qual visa contribuir para a organização conceitual e metodológica da produção científica da área.

Portanto, uma análise preliminar da tabela forneceu subsídios para a elaboração de uma categorização temática mais refinada, que considerou tanto os aspectos técnicos das ferramentas empregadas quanto os seus objetivos instrucionais e clínicos. A seguir, os treze estudos selecionados para esta revisão foram agrupados em quatro eixos temáticos centrais com base na natureza das tecnologias utilizadas e nas finalidades pedagógicas ou assistenciais abordadas, possibilitando uma leitura mais integrada das contribuições contemporâneas no campo da odontologia cirúrgica digital (Tabela 3). Esta organização em subtemas permitiu uma compreensão mais estruturada da literatura recente sobre o uso da realidade virtual (RV) e da realidade aumentada (RA) no ensino de práticas cirúrgicas odontológicas.

A categorização temática dos estudos revelou predominância de investigações voltadas à educação imersiva, sinalizando que o ensino odontológico tem se beneficiado amplamente da introdução de tecnologias

digitais. Ainda que os estudos sobre RA em procedimentos cirúrgicos demonstrem resultados promissores, foi observada a necessidade de ampliação de pesquisas com maior rigor metodológico. O desenvolvimento de simuladores hápticos e o surgimento do metaverso configuram perspectivas inovadoras para a formação clínica e colaborativa de cirurgiões dentistas no ambiente digital.

Tabela 3:

Tema	Descrição	Estudos principais	Observações
Educação e treinamento imersivo	Uso de ambientes virtuais para melhorar habilidades clínicas em estudantes de odontologia.	Koyachi et al. (2025), Taysi et al. (2024), Pulijala et al. (2018), Ayoub & Pulijala (2019), Fahim et al. (2022), Keser & Pekiner (2024)	Melhora no desempenho prático, aumento da autoconfiança, boa aceitação, necessidade de padronização dos métodos.
Realidade aumentada em cirurgias ortognáticas	Aplicação da RA no planejamento e execução de cirurgias Le Fort I.	Liu et al. (2025), Suenaga et al. (2025), Koyachi et al. (2021), Kwon et al. (2018)	Maior precisão na fixação, maior controle intraoperatório, alta reprodutibilidade da posição maxilar planejada.
Simuladores hápticos e físicos	Simuladores que fornecem feedback tátil durante procedimentos odontológicos.	Maliha et al. (2018), Pulijala et al. (2018)	Identificação de vários simuladores, mas maioria com baixo nível de evidência; estímulos táteis realistas.
Metaverso e inovações digitais	Uso do metaverso como ambiente de aprendizagem e colaboração remota em Odontologia.	Brar et al. (2025)	Receptividade positiva, imersão 3D, colaboração remota, limitações na infraestrutura e regulamentações.

1. Impacto da Realidade Virtual e Aumentada na Educação Odontológica

O primeiro e mais representativo eixo diz respeito à educação e treinamento imersivo, com predominância de estudos que aplicaram ambientes virtuais para o aprimoramento de habilidades clínicas em estudantes de Odontologia. Estudos como os de Koyachi et al. 2025 utilizaram vídeos em 360 graus integrados a sistemas de RV para treinar estudantes em higiene cirúrgica e paramentação, demonstrando melhora significativa no desempenho prático. Taysi et al. 2024 avaliaram o uso de modelos físicos para simulação de exodontias, identificando aumento da autoconfiança e da segurança técnica dos alunos. Pulijala et al. 2018 testaram uma aplicação de RV imersiva com *Leap Motion* e observaram boa aceitação, realismo e aplicabilidade didática.

Também fizeram parte desse grupo três revisões de literatura. Ayoub e Pulijala 2019 apontaram a crescente adoção de tecnologias digitais na formação odontológica e destacaram sua contribuição para a visualização tridimensional de estruturas. Fahim et al. 2022 discutiram os principais avanços da RV e da RA e ressaltaram a necessidade de padronização dos métodos de avaliação. Já Keser e Pekiner 2024 analisaram múltiplas possibilidades de aplicação clínica e educacional dessas tecnologias, com ênfase na personalização e na interatividade dos recursos digitais.

A consolidação da realidade virtual (RV) e da realidade aumentada (RA) no ensino odontológico reflete um movimento mais amplo de digitalização das práticas educacionais em saúde. Nas últimas décadas, o avanço dessas tecnologias tem redefinido o processo formativo, especialmente em disciplinas que demandam o desenvolvimento de habilidades técnico-cirúrgicas, coordenação visomotora e tomada de decisão em tempo real. No contexto da Odontologia, onde a destreza manual e a familiaridade com a anatomia tridimensional são competências centrais, a integração de tecnologias imersivas tem se mostrado particularmente promissora (Pulijala et al. 2018) e (Ayoub & Pulijala 2019).

Os estudos analisados nesta revisão evidenciaram impactos positivos e recorrentes no uso da RV e RA como ferramentas de apoio à formação clínica. Em Koyachi et al. (2025), por exemplo, o uso de vídeos em 360 graus para o ensino de higienização e paramentação cirúrgica resultou em significativa melhora no desempenho prático e na aceitação da tecnologia entre os estudantes. Já Liu et al. (2025), ao comparar o ensino tradicional com o suporte da realidade virtual em procedimentos ortognáticos, identificaram não apenas maior retenção de conteúdo, mas também superioridade no aprendizado em longo prazo. Tais achados reforçam a eficácia das abordagens digitais no desenvolvimento de competências cirúrgicas, oferecendo uma alternativa viável às práticas clínicas presenciais, sobretudo em cenários onde o acesso a pacientes reais é limitado por questões éticas, legais ou logísticas.

Do ponto de vista pedagógico, as tecnologias imersivas favorecem um modelo de aprendizagem mais ativo, interativo e autônomo, o que dialoga com as teorias contemporâneas da educação, como o construtivismo e o aprendizado baseado em simulação. Além disso, a repetibilidade dos procedimentos em ambientes virtuais permite ao discente cometer erros sem prejuízos reais, contribuindo para a internalização mais segura e eficaz das práticas clínicas. O valor formativo da RV e da RA, portanto, não reside apenas na simulação técnica, mas também na construção cognitiva do raciocínio clínico e na redução do estresse associado ao ambiente operatório.

No entanto, ao ampliar a discussão para um panorama global, é possível notar variações relevantes quanto ao estágio de adoção dessas tecnologias nas diferentes regiões do mundo. Estudos conduzidos em países como Japão e Coreia do Sul (Koyachi et al. 2025; Suenaga et al. 2025) revelaram um ecossistema tecnológico mais consolidado, com integração institucional da realidade estendida em cursos de graduação e programas de residência. Nesses contextos, observou-se maior investimento em pesquisa aplicada, desenvolvimento de *hardware* especializado e apoio governamental à inovação educacional. De modo semelhante, iniciativas oriundas da Ásia Ocidental e do

Oriente Médio, como relatado por Brar et al. (2025), demonstraram crescente receptividade ao uso do metaverso e de ambientes colaborativos tridimensionais, ainda que esbarrem em limitações relacionadas à infraestrutura e regulamentação.

Em contraste, o cenário brasileiro apresentou avanços mais pontuais e geralmente vinculados às iniciativas isoladas de grupos de pesquisa ou instituições com maior capital tecnológico. Embora o país tenha tradição consolidada no ensino odontológico, incorporar sistematicamente as tecnologias imersivas ainda se encontra em fase embrionária. Fatores como desigualdade no acesso à infraestrutura digital, escassez de políticas públicas voltadas à inovação acadêmica e limitações orçamentárias contribuem para esse descompasso. Apesar disso, há um campo fértil para o crescimento, sobretudo diante do potencial que a RV e a RA apresentam para democratizar o ensino clínico, tornando-o menos dependente de estruturas físicas complexas e mais acessível às instituições periféricas (Lima et al., 2024).

Ainda, em comparação com outras áreas da saúde, como a Medicina ou a Enfermagem, a Odontologia demonstrou uma incorporação mais gradual das tecnologias XR. Enquanto simuladores de realidade aumentada já são amplamente utilizados em procedimentos laparoscópicos e em treinamentos de emergência médica, na Odontologia seu uso ainda se restringe a áreas como cirurgia bucomaxilofacial e endodontia. Essa lacuna pode ser atribuída tanto à especificidade anatômica da cavidade oral quanto à menor escala de financiamento em projetos voltados à saúde bucal. Ainda assim, os dados analisados sugeriram uma trajetória de expansão, com crescente interesse por soluções que integrem realismo visual, feedback tátil e personalização da aprendizagem (Maliha et al., 2018).

Dessa forma, é possível afirmar que a RV e a RA têm impactado positivamente o ensino odontológico, oferecendo alternativas eficazes para o treinamento técnico e para a construção do raciocínio clínico. No entanto, a consolidação dessas tecnologias como parte estruturante da formação profissional depende de uma série de fatores sistêmicos, que vão desde o investimento em

pesquisa e infraestrutura até a formulação de diretrizes curriculares que legitimem seu uso pedagógico.

2. Predominância da Realidade Aumentada Imersiva em Cirurgias Ortognáticas

O segundo agrupamento temático envolveu o uso da realidade aumentada em cirurgias ortognáticas, principalmente nos procedimentos do tipo Le Fort I. Liu et al. 2025, em um ensaio clínico randomizado, demonstraram que o uso da RA no planejamento cirúrgico promove maior precisão na fixação de placas. Suenaga et al. 2025 utilizaram uma abordagem sem marcadores para guiar a cirurgia em tempo real, como demonstrado na figura 1, e relataram maior controle intraoperatório. Koyachi et al. 2021 empregaram realidade mista associada a CAD/CAM e constataram alta reprodutibilidade da posição maxilar planejada.

A análise dos estudos incluídos nesta revisão revelou uma predominância marcante da realidade virtual imersiva (iVR) como tecnologia de escolha no desenvolvimento de estratégias de ensino cirúrgico em Odontologia. Essa preferência reflete a busca por soluções que não somente simulem visualmente um procedimento, mas também que envolvam o estudante de forma sensorial e cognitiva integral, promovendo uma imersão que se aproxima da complexidade do ambiente clínico real. Os *head-mounted displays* (HMDs), como o Óculos VR, utilizados por Pulijala et al. (2018), ou os sistemas de visualização 360° empregados por Koyachi et al. (2025), constituem ferramentas que ampliam a presença do usuário no ambiente simulado, reforçando a construção de habilidades técnicas e a familiarização com o espaço operatório tridimensional.

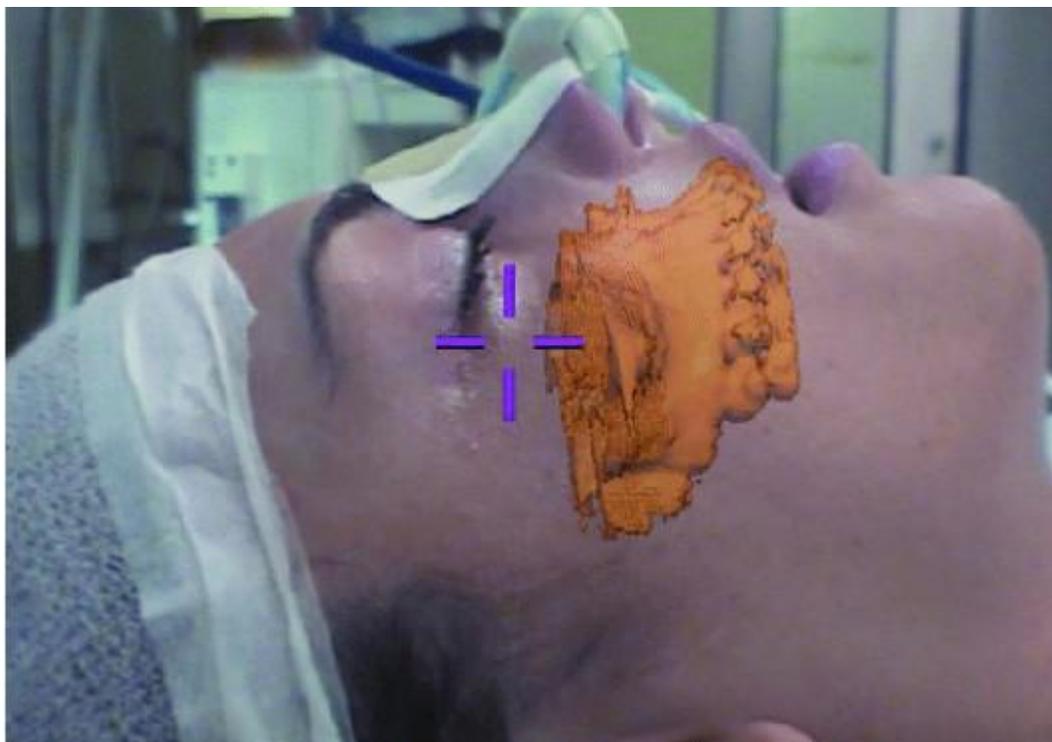


Figura 1. Fonte: Mischkowski et al. *J Craniomaxillofac Surg* 2006;34:478-83 [21]

Do ponto de vista pedagógico, a realidade virtual imersiva tem se destacado por favorecer à aprendizagem experiencial, proporcionando não apenas observação, mas também participação ativa e interativa no procedimento simulado. Essa característica é especialmente valiosa no ensino cirúrgico odontológico, no qual a visualização de detalhes anatômicos finos, o treinamento de micro coordenação e o controle da profundidade espacial são habilidades cruciais. Liu et al. (2025) demonstraram que estudantes treinados com iVR apresentaram melhor desempenho tanto em avaliações práticas quanto teóricas, inclusive com retenção do conhecimento em longo prazo, sugerindo que esta imersão contribui também para processos cognitivos mais profundos de assimilação e consolidação.

Ao observar a distribuição geográfica dos estudos, notou-se que a adoção da iVR está mais avançada em países tecnologicamente consolidados, como

Japão, Coreia do Sul e Reino Unido. Nessas localidades, a realidade imersiva é frequentemente integrada a sistemas cirúrgicos CAD/CAM, a plataformas de modelagem anatômica e a simuladores hápticos, como demonstraram os estudos de Suenaga et al. (2025) e Pulijala et al. (2018). O ecossistema tecnológico presente nesses países favorece a criação de soluções educacionais interdisciplinares, que aliam engenharia, ciência da computação e ciências da saúde. Na Coreia e no Japão, por exemplo, a presença de grandes centros universitários e empresas desenvolvedoras de *hardware* contribui para a rápida implementação e validação desses sistemas no contexto acadêmico.

Por outro lado, países emergentes como Brasil, Índia e outros da América Latina demonstraram uma adoção mais recente e pontual da realidade imersiva, muitas vezes limitada a projetos piloto ou ações de pesquisa experimental. No caso brasileiro, embora haja instituições com tradição em inovação pedagógica na área da saúde, a aquisição e manutenção de equipamentos de alto desempenho, bem como a capacitação docente para seu uso, ainda constituem barreiras significativas à disseminação da iVR no ensino odontológico de forma sistemática. Isso reforça a necessidade de estratégias de democratização do acesso às tecnologias imersivas, com o desenvolvimento de soluções mais acessíveis e adaptáveis à realidade das instituições de ensino superior no sul global (Lima et al., 2024).

Além disso, cabe destacar aqui que, apesar do entusiasmo crescente em torno da realidade imersiva, parte da literatura pesquisada alertou para a ausência de protocolos padronizados quanto à duração ideal das sessões, à carga cognitiva gerada e aos parâmetros de avaliação da eficácia pedagógica. Ainda que os benefícios sejam evidentes, a falta de normativas técnicas dificulta a replicabilidade dos estudos e a comparação entre resultados. Dessa forma, a predominância da iVR no panorama atual não deve ser interpretada apenas como um reflexo de seu potencial, mas também como um indicativo da necessidade de amadurecimento científico e curricular quanto ao seu uso (Ayoub & Pulijala, 2019).

Em síntese, a realidade virtual imersiva ocupa atualmente uma posição

central no conjunto de tecnologias aplicadas ao ensino cirúrgico odontológico, oferecendo recursos altamente promissores para a qualificação da formação profissional. Sua consolidação como ferramenta pedagógica, entretanto, dependerá do equilíbrio entre inovação tecnológica, sustentabilidade institucional e rigor metodológico.

3. Limitações Metodológicas e Nível de Evidência no uso de simuladores

O terceiro eixo refere-se aos simuladores hápticos e físicos, que dão *feedback* tátil durante a simulação de procedimentos odontológicos. Maliha et al. 2018 realizaram uma revisão de escopo na qual identificaram vinte e dois simuladores maxilofaciais, mas ressaltaram que a maioria dos estudos apresenta baixo nível de evidência. Pulijala et al. 2018 também incorporaram sensores táteis ao sistema de RV, permitindo que os usuários experimentassem estímulos relacionados à resistência dos tecidos simulados.

Neste tópico foram discutidas as principais fragilidades metodológicas observadas na literatura analisada, com ênfase na qualidade das evidências e nos desafios de validação científica. Apesar dos avanços observados na aplicação da realidade virtual (RV) e da realidade aumentada (RA) no ensino de práticas cirúrgicas odontológicas, a literatura científica ainda apresenta limitações importantes no que se refere à qualidade metodológica dos estudos disponíveis. A maioria das publicações utiliza delineamentos exploratórios, com amostras reduzidas, ausência de grupos controle e métodos de avaliação pouco padronizados.

O levantamento conduzido por Maliha et al. (2018) identificaram 22 simuladores aplicados à cirurgia maxilofacial, mas ressaltou que grande parte dos estudos avaliados possuía baixo nível de evidência científica, baseando-se predominantemente em indicadores subjetivos de aceitação ou satisfação dos usuários. De modo semelhante, Fahim et al. (2022) alertaram para uma escassez

de parâmetros objetivos e protocolos validados que pudessem mensurar, com rigor, o impacto das tecnologias imersivas sobre o desempenho clínico dos estudantes de Odontologia.

Essas limitações são amplificadas em regiões com menor estrutura de pesquisa, como América Latina e Caribe. No Brasil, em particular, a adoção da RV e da RA em cursos de graduação e pós-graduação ainda se dá de maneira pontual e fragmentada. Conforme destacado por Lima et al. (2022), os estudos brasileiros que tratam do uso de tecnologias imersivas na educação odontológica são geralmente conduzidos em caráter experimental, por grupos isolados, e carecem de apoio institucional sistemático. Entre os entraves recorrentes estão a ausência de infraestrutura adequada, a limitação de financiamento para projetos interdisciplinares e a falta de diretrizes curriculares que incorporem essas tecnologias de maneira orgânica ao processo formativo.

Além disso, a integração entre as áreas da saúde e da engenharia, essencial para o desenvolvimento e a avaliação de soluções tecnológicas em realidade estendida, ainda é incipiente no cenário latino-americano. A escassez de colaborações interdisciplinares contribui para a reprodução de modelos de pesquisa desarticulados, que não alcançam maturidade científica nem continuidade longitudinal. Isso também se reflete na dificuldade em replicar estudos e gerar evidências comparáveis internacionalmente, o que fragiliza a posição da região no cenário global da inovação educacional em saúde (Fahim et al., 2022).

Em contrapartida, países asiáticos como Japão e Coreia do Sul, mesmo diante de desafios semelhantes, têm conseguido estabelecer programas estruturados de validação tecnológica, frequentemente apoiados por parcerias entre universidades, indústria e governo (Koyachi et al., 2021) e (Kwon et al., 2018). A ausência de políticas públicas semelhantes na América Latina dificulta a consolidação de centros de referência em simulação odontológica com uso de realidade estendida (Lima et al., 2024).

Dessa forma, é necessário reconhecer que as limitações metodológicas observadas na literatura não são apenas reflexo do estágio de desenvolvimento da tecnologia, mas também produto de uma estrutura de pesquisa desigual, marcada por disparidades regionais e institucionais. No Brasil e na América Latina na totalidade, superar esse cenário exige não somente investimentos financeiros, mas também o fortalecimento de redes colaborativas, a valorização da pesquisa aplicada e a formulação de diretrizes educacionais mais abertas à inovação tecnológica. Somente assim será possível avançar na construção de evidências robustas, capazes de legitimar o uso da RV e da RA como ferramentas pedagógicas eficazes e cientificamente fundamentadas na formação de cirurgiões-dentistas (Lima et al., 2024).

Simuladores Hápticos e Feedback Tátil: Potencialidades e Desafios

Os simuladores hápticos, que oferecem *feedback* tátil durante a simulação de procedimentos odontológicos, representam uma inovação promissora para o ensino cirúrgico, ao permitir que os estudantes experimentem sensações táteis semelhantes às encontradas em procedimentos reais (Maliha et al., 2018). Essa tecnologia potencializa o aprendizado prático, ao integrar estímulos sensoriais que contribuem para o desenvolvimento da coordenação motora fina e do controle da força aplicada, habilidades essenciais para a cirurgia odontológica (Pulijala et al., 2018).

Contudo, apesar do potencial pedagógico, a literatura indica que o uso dos simuladores hápticos ainda está em fase inicial de desenvolvimento e aplicação. Maliha et al. (2018) apontaram que a maioria dos estudos existentes apresentou baixo nível de evidência, com limitações metodológicas semelhantes às encontradas em outras abordagens de realidade estendida. Ademais, Pulijala et al. (2018) demonstraram que, mesmo quando integrados a sistemas de realidade virtual, os sensores táteis ainda enfrentam desafios técnicos relacionados à precisão, latência e custo elevado.

A adoção dos simuladores hápticos também é desigual entre as regiões do

globo. Países com maior investimento em pesquisa tecnológica, como Japão e Reino Unido, têm conseguido desenvolver e validar sistemas mais sofisticados, frequentemente associados a outras tecnologias digitais, como a realidade mista e o CAD/CAM (Koyachi et al., 2021; Suenaga et al., 2025). No entanto, no Brasil e em países latino-americanos, o acesso a esses dispositivos é restrito, o que limita sua integração curricular e a produção científica local (Lima et al., 2022).

Além disso, a implementação efetiva desses simuladores exige um conjunto complexo de habilidades técnicas e pedagógicas por parte dos docentes, além de infraestrutura adequada para suportar os sistemas (Ayoub & Pulijala, 2019). A falta de capacitação docente e suporte técnico são barreiras frequentemente relatadas em estudos que analisaram a inserção de tecnologias digitais no ensino da Odontologia na América Latina (Lima et al., 2022).

Dessa forma, embora os simuladores hápticos ofereçam uma perspectiva inovadora e potencialmente transformadora para a formação prática em cirurgia odontológica, seu desenvolvimento e incorporação curricular requerem esforços conjuntos de pesquisadores, instituições e políticas públicas. A expansão da pesquisa científica com delineamentos mais robustos e a democratização do acesso a essas tecnologias são fundamentais para que elas deixem de ser ferramentas experimentais e se consolidem como componentes regulares do ensino odontológico (Maliha et al., 2018).

4. Metaverso e Inovações Digitais em Odontologia: Potencial, Barreiras e Desafios Emergentes

Por fim, o quarto eixo se referiu ao uso do metaverso e inovações digitais em Odontologia. Brar et al. 2025 investigaram a percepção de 476 estudantes e profissionais sobre o uso do metaverso como ambiente de aprendizagem. O estudo indicou receptividade positiva, especialmente pelas possibilidades de imersão tridimensional e colaboração remota, embora também tenham sido relatados entraves relacionados à infraestrutura e à falta de regulamentações institucionais.

O metaverso e as tecnologias digitais emergentes representam a fronteira mais recente na aplicação da realidade estendida (XR) na odontologia, oferecendo ambientes imersivos que combinam realidade virtual, aumentada e mista para proporcionar experiências educacionais e colaborativas inovadoras (Brar et al., 2025). A imersão tridimensional e a possibilidade de interação remota entre estudantes, professores e profissionais ampliam as oportunidades de aprendizado, especialmente em tempos de demandas por ensino a distância e colaboração global.

Nesse contexto, a realidade mista, que funde elementos virtuais e reais de forma integrada, tem sido destacada como uma ferramenta crucial para a sobreposição de imagens tridimensionais em tempo real, promovendo maior precisão e interatividade no ensino cirúrgico (Kwon et al., 2023). O estudo de Kwon et al. demonstrou como essa tecnologia permite a visualização simultânea de estruturas anatômicas virtuais sobre o ambiente físico, facilitando a compreensão espacial e o planejamento pré-operatório com elevada fidelidade. Tal abordagem transcende as limitações das tecnologias convencionais de RV e RA, ao mesclar o mundo real e digital em um ambiente contínuo e dinâmico.

Apesar do entusiasmo, os desafios para a implementação do metaverso em odontologia são complexos. Brar et al. (2025) identificaram que, embora haja receptividade positiva entre estudantes e profissionais, questões relacionadas à infraestrutura tecnológica, custos elevados, e ausência de regulamentações institucionais são barreiras significativas. Essas dificuldades são especialmente agudas em regiões como a América Latina, onde a disparidade no acesso a tecnologias avançadas limita a adoção e o desenvolvimento local dessas inovações (Lima et al., 2022).

Ademais, a integração do metaverso à formação odontológica demanda esforços coordenados para o desenvolvimento de conteúdos pedagógicos específicos e para a capacitação dos docentes, de modo que as experiências virtuais sejam eficazes e alinhadas às necessidades curriculares (Ayoub & Pulijala, 2019). A superação desses desafios depende do fortalecimento das redes

colaborativas internacionais e do investimento em políticas públicas que incentivem a pesquisa e a inovação tecnológica na região.

Assim, o metaverso configura-se como uma perspectiva revolucionária para a educação e prática odontológica, com potencial para transformar a maneira como os profissionais aprendem, colaboram e atuam. No entanto, sua consolidação exige não apenas avanços tecnológicos, mas também a construção de bases institucionais sólidas, capazes de suportar e regulamentar essa nova realidade educacional e profissional.

A implementação da realidade virtual (RV) e da realidade aumentada (RA) no ensino cirúrgico odontológico enfrenta desafios tecnológicos significativos que vão além da simples disponibilidade de *hardware* e *software* (Fahim et al., 2022; Keser & Pekiner, 2024). Embora as tecnologias imersivas ofereçam benefícios evidentes, sua incorporação efetiva nos currículos depende de fatores técnicos complexos, como a qualidade da simulação, a integração entre sistemas, o suporte técnico e a experiência do usuário (Pulijala et al., 2018).

Um dos principais obstáculos está relacionado à infraestrutura necessária para suportar sistemas de RV e RA de alta fidelidade. Equipamentos como *head-mounted displays* (HMDs), sensores hápticos, câmeras de captura de movimento e computadores com alta capacidade de processamento demandam investimentos substanciais (Lima et al., 2022; Brar et al., 2025). Em regiões como América Latina, essa barreira é ampliada pela limitada disponibilidade de recursos financeiros nas instituições educacionais, o que restringe a aquisição e manutenção desses dispositivos (Lima et al., 2022; Fahim et al., 2022).

Além disso, a integração técnica entre diferentes plataformas e *softwares* ainda carece de padrões universais. Muitas soluções de RV e RA são proprietárias e apresentam baixa interoperabilidade, dificultando a adaptação e o desenvolvimento de conteúdos customizados para as necessidades específicas dos cursos de Odontologia (Keser & Pekiner, 2024; Suenaga et al., 2025). Essa fragmentação tecnológica pode resultar em experiências de aprendizagem

inconsistentes e em dificuldades para a manutenção e atualização dos sistemas (Pulijala et al., 2018).

Outro desafio crucial diz respeito à capacitação dos docentes e técnicos envolvidos no uso das tecnologias imersivas. A complexidade operacional dos equipamentos e *softwares* exige treinamento especializado para garantir que as ferramentas sejam utilizadas de forma eficiente e que os problemas técnicos sejam rapidamente solucionados, minimizando interrupções no processo educacional (Lima et al., 2022; Ayoub & Pulijala, 2019). No Brasil e em outros países latino-americanos, a carência de programas de formação específicos para docentes limita o aproveitamento pleno das potencialidades da RV e da RA (Lima et al., 2022).

Adicionalmente, as questões ergonômicas e de conforto do usuário representam desafios que afetam diretamente a experiência imersiva. Problemas como fadiga visual, desconforto no uso prolongado dos HMDs e náuseas são reportados em diversos estudos e podem impactar negativamente o engajamento dos estudantes (Fahim et al., 2022; Pulijala et al., 2018). Essas limitações técnicas ainda carecem de soluções consolidadas, o que exige constante evolução dos dispositivos e adaptação dos protocolos pedagógicos para mitigar efeitos adversos (Keser & Pekiner, 2024).

Neste sentido, as barreiras tecnológicas se combinam a desafios organizacionais e culturais dentro das instituições, que muitas vezes resistem à adoção de inovações disruptivas devido a processos burocráticos, falta de visão estratégica e prioridades orçamentárias conflitantes (Lima et al., 2022; Brar et al., 2025). A superação desses entraves requer uma abordagem multidimensional, envolvendo investimentos em infraestrutura, capacitação contínua, desenvolvimento de conteúdos pedagógicos alinhados às necessidades locais e estímulo à cultura de inovação (Ayoub & Pulijala, 2019).

É sabido que os países com maior maturidade tecnológica e investimentos coordenados, como Japão e Coreia do Sul, conseguem superar tais obstáculos

com maior facilidade, refletindo-se na qualidade e abrangência dos programas educacionais baseados em RV e RA (Suenaga et al., 2025; Koyachi et al., 2021). No contexto latino-americano, contudo, o progresso dependerá do fortalecimento das políticas públicas de inovação, do engajamento institucional e do estabelecimento de parcerias que promovam a transferência tecnológica e o desenvolvimento sustentável dessas ferramentas (Lima et al., 2022; Brar et al., 2025).

5 CONCLUSÃO

A presente revisão de escopo permitiu mapear e sintetizar as principais evidências científicas relacionadas ao uso da realidade virtual (RV) e da realidade aumentada (RA) no ensino de procedimentos cirúrgicos em Odontologia. Os estudos analisados indicaram que essas tecnologias oferecem vantagens significativas para a formação de estudantes e profissionais da área, ao viabilizarem ambientes imersivos que simulam situações clínicas reais com maior segurança, controle e repetição. O uso da RV e da RA tem se mostrado eficaz tanto na aquisição de habilidades técnicas quanto no desenvolvimento do raciocínio clínico, sendo especialmente relevante em áreas cirúrgicas como a ortognática, a implantodontia e a exodontia.

Apesar do crescente número de estudos e do avanço das tecnologias, a adoção das ferramentas imersivas ainda enfrenta desafios, principalmente no contexto latino-americano. Limitações como a infraestrutura tecnológica das instituições de ensino, a escassez de capacitação docente e a ausência de políticas públicas voltadas à inovação dificultam a consolidação dessas práticas no currículo odontológico. Ainda assim, as evidências revelaram que, quando bem integradas, essas tecnologias potencializam o processo de ensino-aprendizagem, promovendo maior engajamento discente e melhor desempenho clínico em comparação ao ensino tradicional.

A literatura também destacou a importância da formação continuada de professores, do desenvolvimento de recursos acessíveis e do incentivo a colaborações interinstitucionais como estratégias para consolidar a RV e a RA no ensino odontológico. A criação de núcleos de inovação educacional e a articulação com o setor privado são apontadas como caminhos promissores para ampliar o acesso e aprimorar o uso dessas tecnologias no ensino clínico. Dessa forma, conclui-se que a RV e a RA representam recursos didáticos promissores e cientificamente respaldados, cuja implementação sistemática pode transformar a formação em cirurgia odontológica, desde que alinhada a uma estrutura educacional preparada para absorver tais inovações.

REFERÊNCIAS:

1. MALIHA, Sadia; KASHANI, Hamid; HOLLMULLER, Julie; KOHLI, Nader. *Haptic, physical, and web-based simulators: Are they underused in maxillofacial surgery training?* Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, v. 76, n. 8, p. 1736–1742, 2018.
2. PULIJALA, Yeshwanth; MAHESWARAN, Thavarajah; PECK, John; AYOB, Ashraf. *An innovative virtual reality training tool for orthognathic surgery.* International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, v. 47, n. 9, p. 1199–1205, 2018.
3. KWON, Hyun-Seung et al. *Augmented reality in dentistry: a current perspective.* Acta Odontologica Scandinavica, v. 76, n. 7, p. 497–503, 2018.
4. AYOUB, Ashraf; PULIJALA, Yeshwanth. *The application of virtual reality and augmented reality in Oral & Maxillofacial Surgery.* BMC Oral Health, v. 19, n. 1, p. 238, 2019.
5. KOYACHI, Masashi et al. *Accuracy of Le Fort I osteotomy with combined computer-aided design/computer-aided manufacturing technology and mixed reality.* Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery, v. 49, n. 4, p. 311–318, 2021.
6. FAHIM, Urooj et al. *Augmented reality and virtual reality in dentistry: highlights from the current research.* European Journal of Dentistry, v. 16, n. 1, p. 150–155, 2022.
7. KESER, Gözde; PEKINER, Filiz Nurhan. *Augmented reality (AR) and virtual reality (VR) in dentistry.* In: PEKINER, Filiz Nurhan (ed.). **Digital dentistry.** London: IntechOpen, 2024. p. 1–18.
8. LIMA, Tainara Ribeiro et al. *Metaverse in dentistry: Bridging virtual innovation with real-world patient care and education.* Revista Brasileira de Odontologia, v. 81, n. 1, p. 1–7, 2024.
9. TAYSI, Tugba et al. *Evaluation of the efficacy of a simulation model used in oral and maxillofacial surgery education.* Clinical Oral Investigations, v. 28, n. 1, p. 233–241, 2024.

10. KOYACHI, Masashi et al. *Oral and maxillofacial surgery education for undergraduate students using 360-degree videos in virtual reality system.* Journal of Dental Education, v. 89, n. 2, p. 275–281, 2025.
11. BRAR, Gagandeep Singh et al. *Virtual Reality and the Metaverse: Attitudes and perception of dental students in India.* Journal of Dental Research and Education, v. 4, n. 1, p. 22–28, 2025.
12. SUENAGA, Hiroshi et al. *Virtual surgical planning and augmented reality for fixation of plate during Le Fort I osteotomy.* Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery, v. 53, n. 1, p. 45–51, 2025.
13. LIU, Lin et al. *Virtual reality in preclinical orthognathic surgery education for dental students: A randomized controlled trial.* British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, v. 63, p. 13–19, 2025.
14. MISCHKOWSKI, R. A. et al. Application of a new augmented reality tool for maxillofacial surgery. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, v. 34, n. 8, p. 478-483, 2006.