



CATÓLICA
— **FACULDADE DE**
MEDICINA DENTÁRIA
VISEU

**APLICAÇÃO DA IMPRESSÃO 3D NO ENSINO DA
ANATOMIA DENTÁRIA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA
SOBRE MODELOS ANATÓMICOS IMPRESSOS**

*Dissertação apresentada à Universidade Católica Portuguesa
para obtenção do grau de Mestre em Medicina Dentária*

Por: Luana Leal Fontes

Viseu, 2026



CATOLICA
— **FACULDADE DE**
MEDICINA DENTÁRIA
UISEU

APLICAÇÃO DA IMPRESSÃO 3D NO ENSINO DA ANATOMIA DENTÁRIA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA SOBRE MODELOS ANATÓMICOS IMPRESSOS

*Dissertação apresentada à Universidade Católica Portuguesa
para obtenção do grau de Mestre em Medicina Dentária*

Por: Luana Leal Fontes

Orientador: Professor Doutor Tiago Marques
Coorientadores: Professora Doutora Helena Salgado e Professora
Doutora Margarida Quezada

Viseu, 2026

Membros do Júri das Provas Públicas

Presidente: Doutora Mafalda Maria Duarte da Cunha Martins Dinis,
Professora Auxiliar Convidada da Faculdade de Medicina Dentária do
Centro Regional de Viseu da Universidade Católica Portuguesa

Arguente: Doutora Rute Patrícia Alves do Rio Pereira de Sousa,
Professora Auxiliar da Faculdade de Medicina Dentária do Centro
Regional de Viseu da Universidade Católica Portuguesa.

Orientador: Doutor Tiago Miguel Santos Marques, Professor Auxiliar da
Faculdade de Medicina Dentária do Centro Regional de Viseu da
Universidade Católica Portuguesa

Data das provas públicas: 20 / 07 / 2026

Classificação: _____ 18 Valores _____

*As raízes da educação são amargas,
mas os seus frutos são doces.*

- Aristóteles

DEDICATÓRIA

*Aos meus avós,
Ao Luís Maria Mano Leal e à Graça Maria Neto Brito*

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Professor Doutor Tiago Marques, pelo seu contributo para a realização desta dissertação, bem como pela atenção e compreensão manifestadas. Obrigada ainda por todos os conhecimentos e competências transmitidas ao longo de todo o meu percurso académico.

À minha coorientadora, Professora Doutora Helena Salgado, por toda a orientação, compreensão, disponibilidade e dedicação. Obrigada pelo apoio e acompanhamento, mas acima de tudo obrigada pela confiança que depositou em mim, ao longo destes meses, durante a realização deste trabalho.

À minha coorientadora, Professora Doutora Margarida Quezada, pela colaboração, disponibilidade e compreensão. Obrigada por todos os contributos prestados ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

À minha professora, Mestre Cláudia Lourinho, pela disponibilidade e colaboração demonstradas na realização deste projeto. Obrigada ainda pelo apoio e incentivo constantes durante este percurso.

Ao corpo docente e não docente da Faculdade de Medicina Dentária, pelos conhecimentos, competências, ensinamentos, apoio e disponibilidade demonstrados ao longo deste percurso académico, que contribuíram de forma significativa para a minha formação.

Aos meus colegas, que me acompanharam ao longo destes cinco anos, pela amizade, companheirismo, partilha de conhecimentos e experiências, bem como por tudo o que aprendi com eles e através deles, contribuindo de forma significativa para o meu crescimento académico e pessoal.

Ao meu binómio e companheiro de vida, Pedro, por ter estado sempre ao meu lado ao longo destes cinco anos. Obrigada pela paciência, amor, carinho, compreensão e apoio incondicional com que me acompanhaste em cada etapa deste percurso.

Obrigada por acreditares sempre em mim, especialmente nos momentos em que eu própria duvidava das minhas capacidades, por me dares força nos dias mais difíceis, por nunca me deixares enfrentar sozinha os desafios que surgiram pelo caminho e por celebrares cada conquista como se fosse tua. A tua presença tornou esta caminhada mais leve, mais feliz e muito mais especial. Esta conquista é também tua.

Aos meus pais, Lisa e Miguel, por serem o alicerce de tudo o que sou. Obrigada por cada sacrifício, por cada ensinamento, por cada palavra de incentivo e por todo o amor que me deram ao longo da vida. Agradeço-vos por me terem proporcionado a oportunidade de alcançar os meus objetivos e por me terem ensinado a nunca desistir deles. Esta conquista representa o culminar de um percurso que não teria sido possível sem vocês. Esta conquista será sempre, também, vossa.

À minha avó, Didi, por todo o amor, carinho e dedicação que sempre me deu ao longo da vida. Obrigada por todos os abraços cheios de amor que sempre me acolheram, tanto nos momentos bons como nos menos bons, e por todo o afeto com que me acompanhou ao longo dos anos. Guardo cada gesto de carinho no coração e sinto-me profundamente grata por ter uma avó tão especial como tu.

À minha estrelinha, avô Eduardo, que não teve a oportunidade de assistir ao início desta caminhada nem de saber que realizei o sonho de entrar neste curso. Ainda assim, gosto de acreditar que, onde quer que esteja, acompanha cada passo deste percurso. Espero que estejas orgulhoso de mim. Guardo com carinho todas as memórias, os ensinamentos e o amor que me deixaste, certa de que uma parte de ti continuará sempre presente em tudo aquilo que alcançar.

Aos meus animais, Estrela e Mochi, pelo vosso amor tão puro, que não necessita de quaisquer palavras. Obrigada pela vossa companhia e ainda pela felicidade que trouxeram aos meus dias ao longo desta caminhada. Quem me conhece sabe o lugar especial que os animais ocupam na minha vida e a forma única como conseguem tornar os momentos difíceis mais leves através do seu amor incondicional. Obrigada por me ajudarem a abstrair das preocupações, por me arrancarem tantos sorrisos e gargalhadas sinceras, mesmo nos dias menos bons, e por estarem sempre presentes à vossa maneira. À minha cadela Estrela, por me ter acompanhado durante todo este

percurso acadêmico, e ao meu gato Mochi, que chegou à minha vida no início deste último ano de curso e esteve também presente durante uma das etapas mais importantes desta caminhada: a realização desta dissertação.

À minha restante família e amigos do coração, pelo carinho, amizade, apoio, incentivo e compreensão demonstrados ao longo deste percurso. Obrigada por estarem presentes nos momentos mais importantes da minha vida, por compreenderem as minhas ausências, por me apoiarem nos momentos mais desafiantes e por celebrarem comigo cada conquista alcançada ao longo desta caminhada. De uma forma ou de outra, todos contribuíram para que este sonho se tornasse realidade e para que este percurso fosse vivido de forma mais leve e especial.

E porque os últimos são sempre os primeiros, aos meus avós, Chico e Graça, a quem dedico esta dissertação, por terem tornado possível a concretização deste sonho. Obrigada por todo o amor, dedicação, apoio e ajuda constante ao longo da minha vida. Foi graças ao vosso trabalho árduo, aos vossos sacrifícios e ao esforço de uma vida inteira que tive a oportunidade de seguir este caminho e chegar até aqui. A vossa humildade, generosidade, força de trabalho e extraordinária capacidade de dar sem nada pedir em troca sempre foram uma inspiração para mim e um exemplo dos valores que procuro levar comigo todos os dias. Esta conquista representa o culminar de um percurso que não teria sido possível sem o vosso esforço, os vossos sacrifícios e o vosso amor incondicional.

Por fim, a todos aqueles que, de forma direta ou indireta, contribuíram para este percurso e para a concretização desta etapa, deixo o meu mais sincero agradecimento.

RESUMO

Introdução: A impressão tridimensional (3D) tem vindo a assumir um papel cada vez mais relevante na Medicina Dentária, não só pelas suas aplicações clínicas, mas também pelo seu potencial como ferramenta educativa. No contexto do ensino da Anatomia Dentária, os modelos anatómicos impressos em 3D têm sido descritos como recursos pedagógicos capazes de complementar os métodos tradicionais de ensino, promovendo uma aprendizagem mais interativa e centrada no estudante. Assim, o objetivo desta revisão sistemática foi analisar a evidência científica disponível sobre a utilização de modelos anatómicos impressos em 3D no ensino da Anatomia Dentária.

Materiais e Métodos: A presente revisão sistemática foi desenvolvida de acordo com as diretrizes PRISMA. Foi realizada uma pesquisa bibliográfica nas bases de dados PubMed/MEDLINE®, ScienceDirect® e Scopus®, em janeiro de 2026, com atualização em março de 2026, recorrendo a termos relacionados com impressão 3D, anatomia dentária e educação, sendo a pesquisa complementada por literatura cinzenta. A seleção dos estudos foi efetuada por dois investigadores independentes, de acordo com critérios de inclusão e exclusão previamente definidos. A qualidade metodológica dos estudos foi avaliada através da *Checklist for Quasi-Experimental Studies do Joanna Briggs Institute* (JBI), tendo a concordância entre investigadores sido determinada através do coeficiente *Kappa de Cohen*.

Resultados: Foram identificados 948 registos, dos quais 7 cumpriram os critérios de elegibilidade e foram incluídos na revisão sistemática. De uma forma geral, os estudos incluídos sugerem que os modelos anatómicos impressos em 3D constituem um recurso pedagógico complementar relevante no ensino da Anatomia Dentária. A sua utilização parece contribuir positivamente para a compreensão da morfologia dentária, visualização tridimensional das estruturas anatómicas, desenvolvimento de competências práticas e aumento da motivação dos estudantes. Adicionalmente, os modelos impressos em 3D apresentam vantagens relacionadas com a padronização anatómica, acessibilidade e possibilidade de repetição dos procedimentos, reduzindo algumas das limitações associadas aos métodos convencionais de ensino.

Conclusão: Os modelos anatômicos impressos em 3D representam uma ferramenta pedagógica complementar promissora no ensino pré-clínico da Anatomia Dentária. A evidência atualmente disponível sugere benefícios ao nível da aprendizagem, compreensão anatômica e desenvolvimento de competências práticas. Contudo, os resultados indicam que estes modelos não deverão substituir totalmente os métodos convencionais de ensino, mas sim ser integrados como recursos complementares no processo de ensino-aprendizagem.

Palavras-chave: Impressão Tridimensional; Modelos Dentários; Anatomia Dentária; Educação Dentária; Ensino.

ABSTRACT

Introduction: Three-dimensional (3D) printing has played an increasingly important role in Dentistry, not only because of its clinical applications but also due to its potential as an educational tool. In Dental Anatomy education, 3D-printed anatomical models have been described as valuable teaching resources capable of complementing traditional teaching methods by promoting a more interactive and student-centred learning experience. Therefore, the aim of this systematic review was to analyse the available scientific evidence regarding the use of 3D-printed anatomical models in Dental Anatomy education.

Materials and Methods: This systematic review was conducted in accordance with the PRISMA guidelines. A literature search was performed in the PubMed/MEDLINE®, ScienceDirect®, and Scopus® databases in January 2026, with an update conducted in March 2026, using terms related to 3D printing, dental anatomy, and education. The search was complemented by grey literature. Study selection was carried out independently by two reviewers according to predefined inclusion and exclusion criteria. Methodological quality was assessed using the Checklist for Quasi-Experimental Studies developed by the Joanna Briggs Institute (JBI), and inter-reviewer agreement was determined using Cohen's Kappa coefficient.

Results: A total of 948 records were identified, of which seven met the eligibility criteria and were included in the systematic review. Overall, the included studies suggest that 3D-printed anatomical models constitute a relevant complementary educational resource in Dental Anatomy education. Their use appears to contribute positively to the understanding of dental morphology, three-dimensional visualisation of anatomical structures, development of practical skills, and increased student motivation. In addition, 3D-printed models offer advantages related to anatomical standardisation, accessibility, and the possibility of repeated practice, while reducing some of the limitations associated with conventional teaching methods.

Conclusion: 3D-printed anatomical models represent a promising complementary educational tool for pre-clinical Dental Anatomy teaching. The available evidence

suggests positive effects on learning, anatomical understanding, and practical skill development. However, these models should not completely replace conventional teaching methods and should instead be integrated as complementary resources within the teaching and learning process.

Keywords: Three-Dimensional Printing; Dental Models; Tooth Anatomy; Dental Education; Teaching.

ÍNDICE GERAL

ÍNDICE DE TABELAS	XXII
ÍNDICE DE FIGURAS	XXIV
LISTA DE SIGLAS E ACRÓNIMOS	XXV
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Tecnologia CAD/CAM	3
1.1.1 Técnica Subtrativa	5
1.1.2 Técnica Aditiva	5
1.2 História e evolução da impressão 3D	6
1.3 Tecnologias de impressão 3D	7
1.4 Principais técnicas de impressão 3D utilizadas na produção de modelos anatômicos em Medicina Dentária	7
1.4.1 Estereolitografia (SLA)	8
1.4.2 <i>Digital Light Processing</i> (DLP)	8
1.4.3 <i>Fused Deposition Modeling</i> (FDM)	9
1.4.4 Sinterização seletiva a laser (SLS)	9
1.5 Modelos de impressão 3D na Medicina Dentária	10
1.5.1 Tipos de modelos anatômicos	10
1.5.2 Especialidades em Medicina Dentária: Aplicações específicas	12
1.6 Inovação pedagógica no ensino em Medicina Dentária	12
1.6.1 Ensino tradicional: metodologias, recursos e limitações	13
1.6.2 Transição para metodologias digitais e práticas simuladas	13
1.6.3 Integração de novas tecnologias como ferramentas educativas	14
1.7 Objetivos	17
2. MATERIAIS E MÉTODOS	19
2.1 Questão de investigação	21
2.2 Estratégia de pesquisa	22

2.3 Seleção dos estudos	25
2.4 Extração de dados	26
2.5 Avaliação da qualidade dos estudos	27
3. RESULTADOS.....	29
3.1 Resultados da pesquisa	31
3.2 Avaliação da qualidade dos estudos	32
3.3 Características dos estudos	33
4. DISCUSSÃO.....	40
5. CONCLUSÃO	49
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	53

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Divisão segundo o acrónimo PICO.....	22
Tabela 2. Estratégia de pesquisa utilizada na PubMed/MEDLINE®	22
Tabela 3. Estratégia de pesquisa utilizada na ScienceDirect®	25
Tabela 4. Estratégia de pesquisa utilizada na Scopus®	25
Tabela 5. Seleção dos estudos	25
Tabela 6. Avaliação da qualidade dos estudos através da <i>Checklist for quasi-experimental studies</i> do JBI.....	32
Tabela 7. Identificação dos artigos finais.....	33
Tabela 8. Análise descritiva dos estudos	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fluxograma (PRISMA) de seleção de artigos	31
---	----

LISTA DE SIGLAS E ACRÓNIMOS

- 3D** – Tridimensional
- CAD** – *Computer-Aided Design*
- CAD/CAM** – *Computer-Aided Design / Computer-Aided Manufacturing*
- CAM** – *Computer-Aided Manufacturing*
- CBCT** – *Cone Beam Computed Tomography*
- CLHO** – Curso de Licenciatura em Higiene Oral
- DLP** – *Digital Light Processing*
- FDM** – *Fused Deposition Modeling*
- FFF** – *Fused Filament Fabrication*
- ICDAS** – *International Caries Detection and Assessment System*
- IDI** – Impressões Intraorais Digitais
- JB** – Joanna Briggs Institute
- MeSH** – *Medical Subject Headings*
- MIMD** – Mestrado Integrado em Medicina Dentária
- MJ** – *Material Jetting*
- OBJ** – *Object File Format*
- PICO** – *Population, Intervention, Comparison, Outcome*
- PLY** – *Polygon File Format*
- PRISMA** – *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*
- PROSPERO** – *International Prospective Register of Systematic Reviews*
- RA** – Realidade Aumentada
- SCR** – *Selective Caries Removal*
- SLA** – Estereolitografia
- SLM** – Fusão Seletiva por Laser
- SLS** – Sinterização Seletiva a Laser
- STL** – *Standard Triangle Language*
- UV** – Ultravioleta

1. INTRODUÇÃO

1.1 Tecnologia CAD/CAM

A impressão tridimensional (3D) é uma técnica emergente que consiste no fabrico de objetos 3D personalizados baseada em modelos digitais desenhados com o auxílio do computador (CAD) (*Computer Aided Design*). (1)

No CAD, um produto é inicialmente modelado geometricamente em três dimensões num computador, podendo ser visualizado e examinado de qualquer ângulo. Esse modelo pode então ser utilizado em diversas aplicações subsequentes, tais como fabrico e análise. (2)

Já o fabrico assistido por Computador (CAM) pode ser definido como a utilização de sistemas informáticos para planejar, gerir e controlar as operações de uma unidade de produção, através de interfaces computacionais diretas ou indiretas com os recursos produtivos dessa unidade. Em termos simples, o uso de sistemas informáticos em atividades que não dizem respeito ao projeto em si, mas sim ao processo de fabrico, é designado por CAM. (3)

O projeto e o fabrico auxiliados por computador foram desenvolvidos na década de 1960 para uso nas indústrias aeronáutica e automóvel. A aplicação na Medicina Dentária surgiu depois. O Dr. François Duret foi a primeira pessoa a desenvolver uma tecnologia dentária CAD/CAM (*Computer-Aided Design and Computer-Aided Manufacturing*) que fazia coroas com base numa impressão ótica do dente pilar. (4)

De forma resumida, os sistemas de CAD/CAM dentários utilizados em ambiente pré-clínico e/ou clínico são normalmente compostos por: um *scanner*, uma unidade computacional móvel e uma unidade de fabrico, que pode corresponder a uma máquina de fresagem ou a uma impressora 3D. A ponta de aquisição do *scanner* é colocada intraoralmente no simulador mecânico de pacientes ou no paciente real, sobre, por exemplo, uma preparação dentária. Os dados obtidos são apresentados no monitor sob a forma de imagens bidimensionais (2D) ou tridimensionais (3D). A etapa de modelação digital (desenho) é realizada no monitor e, em seguida, as instruções são enviadas para a máquina de processamento assistido por computador, que executa a fresagem ou a impressão 3D de, por exemplo, uma restauração. (4)

A precisão e o rigor das impressões intraorais digitais (IDI) podem ser afetados durante a digitalização, mas podem ser especialmente afetados na etapa da conversão das imagens adquiridas para diferentes formatos de ficheiro, como STL (*Standard Triangle Language*), OBJ (*Object File Format ou Wavefront OBJ file*) e PLY (*Polygon File Format ou Stanford Polygon Library*). O formato STL é o mais utilizado em sistemas CAD/CAM e na impressão 3D devido à sua compatibilidade generalizada e à representação da geometria da superfície através de uma malha de triângulos. Se for efetuada uma compressão de ficheiros STL, esta irá reduzir o número de triângulos e vértices da malha, simplificando a topografia da superfície e diminuindo a precisão da digitalização. A literatura afirma existir uma forte correlação entre a qualidade dos dados das impressões digitais e a topografia da superfície dos dentes preparados. Portanto, a utilização de arquivos STL em formato de alta resolução é a melhor opção e a mais fidedigna para os Médicos Dentistas que optam por trabalhar os meios digitais. (5)

Os sistemas CAD/CAM podem ser classificados em sistemas de consultório (*chairside*) e em sistemas de laboratório. Os sistemas *chairside* são concebidos para utilização direta no consultório, permitindo ao médico dentista realizar, por exemplo, a digitalização intraoral, o desenho digital e a fresagem da restauração numa única consulta. Exemplos destes sistemas incluem o CEREC (Dentsply Sirona) e o Planmeca FIT. Os sistemas de laboratório podem, por sua vez, assumir diferentes configurações. Numa delas, a empresa disponibiliza o seu próprio *scanner* e unidade de fresagem (por exemplo: Amann Girrbach, 3M ESPE, Dentsply Sirona e Zirkonzahn). Noutra, a empresa fornece apenas o *scanner* e o *software* CAD para desenho digital, sendo o fabrico realizado através de unidades CAM compatíveis (por exemplo: 3Shape e Dental Wings). (6)

A introdução dos sistemas CAD/CAM transformou o fluxo de trabalho na Medicina Dentária, reduzindo o tempo clínico e laboratorial, aumentando a precisão das reabilitações e diminuindo os erros associados às etapas manuais das moldagens convencionais. Assim, veio revolucionar o trabalho habitual do Médico Dentista num trabalho mais eficiente e previsível, proporcionando também maior conforto e rapidez para o paciente. (7)

Os métodos CAD/CAM são processos subtrativos (fresados) ou processos aditivos (prototipagem rápida / impressão 3D). (8)

1.1.1 Técnica Subtrativa

Atualmente, é possível identificar dois métodos subtrativos da tecnologia CAD/CAM: a eletroerosão e a fresagem. No processo de eletroerosão, a remoção do material não ocorre através do contacto mecânico entre a ferramenta de corte e o bloco pré-formado, mas sim pela ação de descargas elétricas controladas, conforme o desenho definido no *software* CAD. (9) As técnicas de fresagem englobam o desgaste com ponta de diamante, a fresagem com carbonetos e, mais recentemente, a fresagem a laser. (9, 10)

Esta técnica digital consiste na produção de diferentes formas complexas, coroas, estruturas ou modelos de trabalho através da fresagem de blocos dos diferentes materiais que podem ser utilizados por esta técnica, permitindo obter a geometria desejada conforme o desenho criado no *software* CAD. (6) Este método possibilita o fabrico de formas detalhadas e precisas, como os modelos dentários de trabalho. (11)

Quanto às vantagens desta técnica, a fresagem oferece estruturas com uma grande consistência e precisão, dado que, no caso de materiais como os blocos resinosos estes são polimerizados em condições controladas e ideais. Além disso, o processo é mais eficiente, o que reduz o desconforto do paciente, pois é necessário menos tempo e esforço. (6, 11)

No entanto, esta técnica também apresenta algumas desvantagens, como o desperdício elevado de material e a dependência da precisão dos modelos em relação ao diâmetro das brocas utilizadas na fresadora. O desgaste frequente dessas brocas é outro inconveniente, especialmente durante a produção de modelos dentários de grandes dimensões. (11)

1.1.2 Técnica Aditiva

As chamadas “técnicas aditivas” (camada sobre camada), ou também conhecidas por tecnologias de impressão 3D começaram a ser exploradas para superar algumas das desvantagens das técnicas subtrativas. (11)

A impressão 3D dá origem a um objeto tridimensional a partir de um modelo digital. Pode afirmar-se que a impressão 3D cria formas ou geometrias complexas, que não seriam capazes de ser fabricadas por outras tecnologias mais convencionais, como por exemplo as tecnologias de fabrico subtrativo. (12) As tecnologias de impressão 3D podem aceitar dados CAD rapidamente. Ou seja, podem fabricar rapidamente peças únicas e em pequenos lotes, novas amostras, produtos de formas complexas, moldes e modelos. (13)

Como tal, a impressão 3D pode ser utilizada para fabricar, por exemplo, próteses e modelos precisos, sendo isto feito com desperdício mínimo de material, e além disto é considerada uma técnica económica e rápida. (11)

1.2 História e evolução da impressão 3D

A primeira tecnologia de impressão tridimensional surgiu em 1986. Charles Hull foi o grande responsável por este feito, construiu e desenvolveu um sistema de impressão 3D. (14) Quando patenteou a primeira tecnologia de impressão 3D denominou-a de Estereolitografia (SLA), mas atualmente esta é mais conhecida como prototipagem rápida ou manufatura aditiva. (15)

Uns anos mais tarde, Scott Crump recebeu uma patente para a técnica de modelagem por deposição de material fundido (FDM), mais precisamente no ano de 1990. (14)

Apesar de toda a evolução tecnológica nos últimos 40 anos, é um facto de que os princípios substanciais do sistema de impressão 3D continuam praticamente os mesmos, sem ter ocorrido uma grande alteração significativa. (15)

Na área da Medicina, assim como na da Medicina Dentária, a evolução da tecnologia de impressão 3D está a transformar de certa forma a prestação de cuidados clínicos, e as suas aplicações melhoraram os resultados clínicos. (1)

1.3 Tecnologias de impressão 3D

O fluxo geral das tecnologias de impressão 3D inclui as etapas de desenho digital (CAD), *slicing*, impressão camada a camada, limpeza, polimerização pós-impressão e acabamento final. É importante referir que a polimerização pós-impressão é obrigatória apenas nas tecnologias que utilizam resina líquida fotopolimerizável, como a SLA, a *Digital Light Processing* (DLP) e a *PolyJet*, enquanto o pós-processamento, incluindo a remoção de suportes ou acabamento superficial, aplica-se a praticamente todas as tecnologias de impressão 3D, embora o tipo de pós-processamento varie consoante o material e a técnica utilizada. (16)

O pós-processamento em impressão 3D por fotopolimerização é composto por várias etapas sequenciais, incluindo a remoção de suportes, a lavagem para eliminação da resina não polimerizada, a secagem, a pós-polimerização (cura adicional) e, quando necessário, tratamentos de superfície ou acabamento final. Cada fase é crítica para garantir a precisão dimensional, as propriedades mecânicas ideais e a biocompatibilidade das peças impressas, sendo necessário definir cuidadosamente os parâmetros de cada etapa para alcançar resultados ótimos. Um pós-processamento inadequado pode levar à polimerização incompleta, à redução do desempenho clínico e a imprecisões dimensionais, tornando a avaliação meticulosa de cada fase essencial para a produção de dispositivos dentários funcionais e seguros. (16, 17)

O desempenho final de, por exemplo, uma prótese impressa em 3D é influenciado por parâmetros como a espessura das camadas, a direção de impressão, o grau de polimerização e a contração entre camadas, fatores que afetam a resistência mecânica e a qualidade do dispositivo. (18)

1.4 Principais técnicas de impressão 3D utilizadas na produção de modelos anatómicos em Medicina Dentária

Embora existam diversas tecnologias de fabrico aditivo aplicadas à Medicina Dentária, as técnicas SLA, DLP, FDM e SLS encontram-se entre as mais frequentemente utilizadas na produção de modelos anatómicos, devido à sua

capacidade de reproduzir estruturas dentárias com elevado grau de detalhe, precisão e previsibilidade. A escolha da técnica mais adequada depende das exigências específicas de cada aplicação, nomeadamente da precisão pretendida, dos materiais utilizados, dos custos associados e da finalidade clínica ou educativa dos modelos produzidos. (1, 12)

1.4.1 Estereolitografia (SLA)

Nesta tecnologia o equipamento é composto por um reservatório, uma plataforma de construção e um laser ultravioleta (UV). O reservatório contém uma resina líquida fotopolimerizável, a plataforma de construção é uma base metálica móvel localizada no interior do reservatório, e o laser UV é o responsável pela polimerização da resina. (1)

Durante o processo de fabrico, a plataforma de construção serve de base para a formação do modelo, e por isso é parcialmente imersa na resina líquida. O laser UV incide seletivamente sobre a superfície da resina, promovendo a sua polimerização nas zonas correspondentes à geometria da peça. Após a solidificação de cada camada, a plataforma desloca-se verticalmente uma distância equivalente à espessura dessa camada, permitindo que uma nova película de resina líquida cubra a anterior, dando assim continuidade ao processo de formação do modelo tridimensional. (1)

1.4.2 *Digital Light Processing* (DLP)

O sistema da tecnologia DLP é constituído por uma matriz retangular de microespelhos, designada por dispositivo microrrefletor digital. Cada microespelho corresponde a um pixel, e a resolução da imagem projetada depende diretamente do número total de espelhos existentes. Os ângulos de inclinação destes microrrefletores são ajustados individualmente, permitindo controlar com precisão a direção da luz emitida pela fonte luminosa, que é refletida por cada microespelho e posteriormente projetada sobre a superfície de impressão, formando assim os píxeis da imagem. (1)

Em comparação com a tecnologia SLA, na qual o laser realiza o varrimento sequencial de cada camada, a principal vantagem do DLP é o facto de toda a camada poder ser formada de uma só vez, através de uma única projeção de luz. Como cada camada é gerada independentemente da sua geometria ou do número de pixéis envolvidos, o tempo total de fabrico é significativamente reduzido. (1)

1.4.3 Fused Deposition Modeling (FDM)

Nesta técnica, um filamento termoplástico é aquecido até atingir o ponto de fusão e depositado sobre a plataforma de construção através de um bico que atinge elevadas temperaturas. Sob o controlo de um sistema computadorizado, o bico extrusor movimenta-se ao longo dos eixos X e Y, enquanto a plataforma de construção se desloca no eixo Z, permitindo a deposição precisa do material fundido. O termoplástico, ao ser depositado camada sobre camada, solidifica-se progressivamente, formando o modelo tridimensional final. (1)

1.4.4 Sinterização seletiva a laser (SLS)

Este método utiliza um laser de alta temperatura para fundir seletivamente materiais em pó, que podem incluir cerâmicas, metais ou polímeros. (12)

A SLS é especialmente útil por ser uma das poucas tecnologias capazes de produzir materiais de elevada densidade adequados a aplicações dentárias. A principal limitação desta técnica é a necessidade de uma infraestrutura complexa para garantir uma impressão adequada. (12)

Comparativamente à fundição metálica convencional, a SLS oferece resultados mais precisos e previsíveis. Uma alternativa à SLS é a Fusão Seletiva por Laser (SLM), que apresenta processos e materiais semelhantes, com a diferença de que, na SLM, o material é totalmente fundido em vez de apenas sinterizado. (12)

O desenvolvimento destas tecnologias tem contribuído para uma utilização cada vez mais alargada da impressão 3D em Medicina Dentária, permitindo a produção de modelos anatómicos com elevado rigor dimensional e fidelidade

morfológica. Estas características têm favorecido a sua aplicação em contextos educativos, laboratoriais e clínicos, consolidando a impressão 3D como uma ferramenta relevante na área da Medicina Dentária. (19)

1.5 Modelos de impressão 3D na Medicina Dentária

A evolução das tecnologias digitais tem permitido o desenvolvimento de diferentes tipos de modelos dentários e anatómicos para utilização em Medicina Dentária, destinados a finalidades de diagnóstico, planeamento e execução de procedimentos clínicos. Estes modelos podem assumir diferentes aplicações clínicas e laboratoriais, por exemplo, na área da Ortodontia para fins de planeamento e estudo ortodôntico (20) e na área da Prostodontia, nomeadamente na prática laboratorial para confeção de trabalhos protéticos. (21) Paralelamente, a sua utilização no ensino e treino pré-clínico tem vindo a ganhar crescente relevância no contexto da formação em Medicina Dentária. (22) Neste contexto, a precisão e reprodutibilidade destes modelos têm sido amplamente investigadas na literatura (23), bem como algumas das propriedades físicas e estéticas dos materiais utilizados na sua produção. (24)

Um modelo impresso necessita de cinco etapas técnicas para a sua obtenção: a seleção da área anatómica de interesse, a criação da geometria 3D, a otimização do arquivo para impressão e a seleção apropriada da tecnologia de impressão 3D, assim como dos materiais. (25)

1.5.1 Tipos de modelos anatómicos

Atualmente, a tecnologia de impressão 3D permite a produção de uma ampla variedade de modelos anatómicos, com diferentes graus de complexidade e finalidades educativas ou clínicas. Estes modelos podem apresentar a forma de dentes isolados, arcadas completas, ou até mesmo estruturas patológicas simuladas, para além da possibilidade de modelos personalizados, obtidos a partir de dados reais de pacientes. (26) O facto da impressão 3D conseguir obter modelos específicos para cada paciente, que replicam com maior precisão as estruturas anatómicas reais, proporciona assim práticas de pré-clínico mais realistas e casos personalizados. Por

esta razão, a literatura afirma que a impressão 3D é um grande apoio no estudo da anatomia, assim como a simulação de procedimentos clínicos. (27)

Para além dos modelos genéricos ou padronizados, a literatura descreve também a utilização de modelos impressos em 3D com lesões de cárie simuladas e modelos de arcada completa, aplicados em contextos de treino, diagnóstico e avaliação da precisão. (28,29)

No contexto da utilização de modelos impressos com patologias clínicas, há um estudo que relata a confeção de um modelo de um paciente adulto com várias alterações simuladas, incluindo dentes impactados, quisto dentígero, mesiodente, fraturas coronárias, reabsorções periodontais, lesões periapicais e exostoses. (30)

No contexto dos modelos anatómicos personalizados, um estudo recente avaliou a utilização de modelos específicos do paciente obtidos a partir de dados de imagiologia clínica. Ao contrário dos estudos anteriormente referidos, que utilizavam predominantemente modelos genéricos ou padronizados impressos em 3D (27-30), os modelos avaliados neste estudo eram personalizados para cada paciente. Os participantes relataram um planeamento mais eficaz e uma melhor compreensão anatómica das estruturas. (26)

1.5.1.1 Realismo e viabilidade anatómica

A maior parte dos materiais de impressão e respetivos modelos 3D disponíveis são rígidos, sem flexibilidade nem elasticidade. (25) Atualmente, tecnologias como a estereolitografia (SLA) e o processamento digital de luz (DLP) encontram-se entre as mais utilizadas para a produção de modelos anatómicos devido à sua elevada capacidade de reproduzir detalhes anatómicos e estruturas dentárias complexas. (20, 23) Para esta finalidade, são frequentemente utilizadas resinas fotopolimerizáveis, que permitem uma boa reprodução morfológica das estruturas anatómicas. Contudo, estes materiais continuam a apresentar limitações na replicação das propriedades mecânicas e táteis dos tecidos biológicos. No futuro, a manipulação e o ajuste das propriedades dos materiais através da possível criação de compósitos e/ou mistura de materiais poderá permitir a criação de modelos específicos com fidelidade anatómica e tecidual. (24, 25)

1.5.2 Especialidades em Medicina Dentária: Aplicações específicas

Em Medicina Dentária tem sido cada vez mais comum a utilização da impressão 3D, quer no ensino pré-clínico quer na prática clínica, nomeadamente nas áreas da Cirurgia Oral e Maxilofacial (31, 32), Prostodontia (33, 34), Ortodontia, Endodontia, Periodontologia e, ainda, na Implantologia. (1)

Assim, é possível afirmar que a impressão tridimensional proporcionou novas aplicações através do desenvolvimento de novos materiais dentários e da evolução dos já existentes. As suas aplicações versáteis têm contribuído para resultados clínicos mais previsíveis, precisos e exatos em diversas especialidades da Medicina Dentária. (12)

Entre as suas principais aplicações destacam-se a produção de modelos anatómicos, guias cirúrgicas, dispositivos ortodônticos, implantes e próteses dentárias personalizadas, permitindo uma maior precisão no planeamento e execução dos tratamentos. (1, 33, 34)

De forma geral, esta tecnologia tem contribuído para um planeamento mais preciso e para a personalização dos tratamentos em diferentes especialidades da Medicina Dentária. (1)

1.6 Inovação pedagógica no ensino em Medicina Dentária

Além da sua aplicação na prática clínica, a impressão 3D ganhou destaque na literatura científica devido ao seu potencial e valor educacional. No campo de Medicina, é reconhecida como uma ferramenta alternativa com boa relação custo-efetividade e de alta fidelidade às abordagens de ensino tradicionais, contribuindo para o aumento da confiança dos alunos e para a melhoria do seu desempenho clínico. (27)

A inovação pedagógica no ensino em Medicina Dentária expressa-se numa adaptação constante às novas evidências científicas, assim como às novas tecnologias. O uso de ferramentas digitais, como a impressão 3D, a realidade aumentada e os simuladores virtuais, beneficia de facto o ensino dos alunos, pois

permite uma aprendizagem mais interativa, personalizada e centrada no estudante. (35, 36) Estas tecnologias favorecem a aprendizagem de conceitos anatómicos exigentes e de difícil compreensão, e também o desenvolvimento de competências práticas, promovendo uma transição mais confiante para a prática clínica real, que será assim mais controlada e segura. (35-37)

1.6.1 Ensino tradicional: metodologias, recursos e limitações

Entre as várias disciplinas pré-clínicas do ensino em Medicina Dentária, a anatomia dentária é destacada na literatura como essencial, sendo o domínio dos conhecimentos básicos fundamental para uma formação adequada na área da saúde oral. Por isso, tanto para a formação de futuros Médicos Dentistas como de futuros Higienistas Orais, é crucial entender que tipo de métodos (mais convencionais ou mais digitais) podem fornecer os melhores alicerces para ajudarem no diagnóstico, planeamento e execução clínica futura. (38)

Tradicionalmente, o ensino da anatomia dentária apoia-se em livros, modelos em gesso e dentes naturais, mas pode afirmar-se que estes métodos têm acessibilidade limitada e pouca possibilidade de personalização. (38)

O panorama educativo atual necessita de alguma inovação que facilite uma aprendizagem clara, envolvente e cativante para os alunos. Os dentes de impressão 3D oferecem uma hipótese viável aos dentes extraídos e aos modelos dentários padrão, uma vez que são uma simulação realista de dentes naturais, para além destes novos modelos garantirem condições educativas equitativas. (38)

1.6.2 Transição para metodologias digitais e práticas simuladas

A Medicina dentária é sem dúvida uma área que se descobre cada vez mais complexa, exigindo assim que o ensino tenha de se adaptar constantemente a essa expansão do conhecimento médico e aos novos avanços em tecnologias digitais. Cada vez mais se observa também um aumento da colaboração interdisciplinar. (39)

As novas metodologias digitais não pretendem substituir completamente os métodos convencionais de ensino e aprendizagem, pois é um facto que estes métodos mais antigos são válidos e já provaram a sua eficiência ao longo dos anos. O método de aulas pré-clínicas praticadas em modelos anatómicos com modelos dentários padrão permanece uma etapa indiscutivelmente importante para os estudantes do curso de Medicina Dentária. Estas aulas práticas realizadas em modelos dentários padrão têm como objetivo principal a formação dos estudantes de graduação e pós-graduação, e para além disso aprimorar as suas habilidades práticas. Assim, quando passarem à fase do ensino que envolve o contacto com pacientes reais, vão ser capazes de demonstrar precisão, correção e rapidez adequadas na execução daquela que vai ser a sua prática diária no futuro. (39)

A introdução de *scanners* 3D, de tomografia computadorizada de feixe cónico (CBCT) e de impressoras 3D possibilitou a reprodução fiel de estruturas anatómicas reais. Desta forma, é possível criar modelos dentários simulados que correspondem com grande precisão às condições clínicas, podendo ser utilizados de forma eficaz no ensino da Medicina Dentária. (39)

A combinação de técnicas de simulação convencionais com simulação digital amplia as possibilidades educacionais melhorando o treino da tomada de decisões clínicas. (39)

1.6.3 Integração de novas tecnologias como ferramentas educativas

Numa revisão da literatura, Fayyaz *et al.* (38) analisaram diferentes estudos que avaliaram a eficácia de métodos de ensino da morfologia dentária. Num deles, foi analisada a utilização de modelos de dentes impressos em 3D como ferramenta de apoio à aprendizagem. Embora não tenham sido observadas diferenças significativas nas classificações dos exames teóricos, verificou-se uma melhoria notável nas atividades práticas de escultura em gesso, demonstrando que esses modelos 3D ajudaram os alunos a desenvolver melhor as suas habilidades manuais. Outro estudo comparou diferentes abordagens de ensino, incluindo o uso de dentes extraídos, dentes impressos em 3D, modelos virtuais em computador e aplicações de realidade aumentada (RA). Os resultados mostraram que os estudantes consideraram os

dentes naturais os mais eficazes para a aprendizagem, destacando, contudo, a facilidade de manuseamento dos modelos impressos em 3D e o interesse despertado pela utilização da realidade aumentada como recurso didático. (38)

No contexto pré-clínico da Prótese Dentária a literatura científica tem descrito que os modelos dentários impressos em 3D são ferramentas eficazes no treino pré-clínico de preparos de coroas e facetas. Os estudantes consideram-nos úteis para o aperfeiçoamento das suas competências manuais, promovendo assim uma maior confiança e autonomia durante as preparações. Modelos multicamada que simulam esmalte e dentina mostraram-se particularmente vantajosos pela sua semelhança com as estruturas naturais e pelo contributo para uma aprendizagem mais realista e interativa. (38)

Recentes estudos indicam que os modelos cirúrgicos impressos em 3D proporcionam uma experiência mais realista e didaticamente eficaz no treino de procedimentos cirúrgicos, como a apicectomia, quando comparados com os modelos convencionais, melhorando de certa forma a perceção anatómica e a destreza cirúrgica dos estudantes. (38)

A utilização de modelos dentários impressos em 3D no ensino da Endodontia tem permitido reproduzir morfologias complexas dos canais radiculares, mostrando ser realmente uma ferramenta educativa eficaz. A literatura descreve melhorias na confiança durante a prática pré-clínica, pois foi melhorada tanto a qualidade do desempenho técnico como a redução de erros dos alunos. Estes modelos foram bem aceites por estudantes e também por professores, sendo considerados mais vantajosos do que dentes extraídos. (38)

Na área da Dentisteria Operatória, o uso de dentes impressos em 3D em simulações de remoção de cárie e restaurações demonstram também um melhor desempenho técnico e maior autoconfiança dos estudantes. Estes modelos revelaram-se melhores do que os dentes de materiais convencionais (plástico, por exemplo), pois proporcionaram uma experiência de aprendizagem menos tensa, exaustiva e desgastante. Esta experiência foi mais próxima daquilo que é a realidade clínica do dia-a-dia, uma vez que os dentes foram impressos em 3D com uma representação de lesões artificiais para o ensino específico da técnica de remoção seletiva de cárie. (38)

Estudantes de Medicina Dentária participaram num estudo sobre a técnica de remoção seletiva de cárie (SCR) e 72,1% consideraram que dentes impressos eram bastante realistas para auxiliar na prática desta técnica, 75,4% indicaram que os novos dentes eram a escolha adequada para treinar essa técnica e 86,9% concordaram que o treino em dentes impressos em 3D deve acontecer antes do tratamento de pacientes reais. (28) De forma semelhante, outro estudo demonstrou que a utilização de dentes impressos em 3D para o treino da remoção de cárie constituiu uma ferramenta pedagógica útil, tendo os estudantes relatado uma experiência de aprendizagem positiva e considerado os modelos adequados para o desenvolvimento de competências pré-clínicas nesta área. (40)

Os modelos impressos 3D são de facto uma representação realista das estruturas anatómicas do corpo humano, mas podem não conseguir reproduzir ao máximo todos os detalhes necessários para uma compreensão da anatomia complexa. Como por exemplo, a compreensão da anatomia oral e maxilofacial, incluindo as relações entre os dentes, ossos, nervos e vasos sanguíneos. E sendo os Médicos Dentistas profissionais que manipulam tecidos pequenos e delicados, a necessidade de conhecimento anatómico preciso é fundamental. (41)

Uma das vantagens que apresentam é que são um recurso de maior aplicação manual do que os métodos tradicionais (por exemplo, livros), e isso pode ajudar nas aprendizagens práticas pré-clínicas dos alunos, e assim levar a melhores resultados na atuação clínica. (41)

Embora os modelos anatómicos impressos em 3D constituam uma ferramenta pedagógica útil para o ensino da Anatomia e apresentem diversas vantagens, também possuem algumas limitações. Tal como acontece com outros métodos tradicionais de ensino, quando utilizados isoladamente podem ser insuficientes para transmitir toda a complexidade de determinadas estruturas anatómicas e das relações espaciais entre elas. Além disso, por se tratarem de modelos físicos e estáticos, não permitem representar processos fisiológicos dinâmicos nem demonstrar alterações anatómicas em tempo real, limitando a componente interativa da aprendizagem. Outra desvantagem prende-se com os custos iniciais associados à sua produção, bem como com o facto de nem todos os modelos serem totalmente reutilizáveis, ao contrário de outros recursos didáticos, como os livros. (41)

Apesar das limitações descritas, a crescente integração da impressão 3D e de outras tecnologias digitais no ensino da Medicina Dentária evidencia o interesse crescente por novas abordagens pedagógicas aplicadas à Anatomia Dentária. O potencial destes recursos para complementar os métodos de ensino convencionais e contribuir para o desenvolvimento de competências teóricas e práticas tem motivado um aumento progressivo da investigação nesta área, tornando relevante a avaliação do seu verdadeiro impacto no processo de aprendizagem dos estudantes. (42, 43, 44)

1.7 Objetivos

O presente estudo tem como objetivo realizar uma revisão sistemática da evidência científica disponível acerca da utilização de modelos de impressão 3D no ensino da Anatomia Dentária, de forma a reunir, analisar e sintetizar o conhecimento atual sobre esta temática. Pretende-se, adicionalmente, identificar as principais vantagens e limitações associadas a esta tecnologia, bem como explorar os seus potenciais desenvolvimentos futuros no contexto educacional, contribuindo para uma compreensão mais aprofundada do seu impacto e aplicabilidade no processo de ensino-aprendizagem da Anatomia Dentária.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A constante evolução tecnológica e científica tem impulsionado a procura por métodos de ensino mais eficazes, sustentados por evidência científica robusta. Neste contexto, torna-se fundamental a realização de estudos que reúnam e analisem criticamente o conhecimento disponível, de forma a orientar a prática pedagógica baseada na evidência. As revisões sistemáticas da literatura assumem, por isso, um papel central, ao permitir a identificação, avaliação e síntese rigorosa dos resultados de múltiplas investigações sobre um mesmo tema. (45-47)

O presente trabalho constitui um estudo do tipo revisão sistemática da literatura, desenvolvido de acordo com as diretrizes PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*). Este desenho metodológico caracteriza-se pela aplicação de procedimentos científicos abrangentes, transparentes e reprodutíveis, com o objetivo de minimizar distorções ou desvios sistemáticos e assegurar a validade dos resultados. (48)

Desta forma, esta revisão visa reunir e analisar criticamente a evidência científica disponível sobre a utilização de modelos de impressão 3D no ensino da anatomia dentária, identificando as suas principais vantagens, limitações e potenciais desenvolvimentos futuros no contexto educacional. (45-48)

2.1 Questão de investigação

Respeitando as etapas do processo de revisão sistemática, o primeiro passo consiste na formulação de uma questão de investigação. Esta deve ser explícita e ter um foco, mas não ser muito restrita, nem, pelo contrário, muito abrangente. A forma mais comum para a definição desta questão é a sua divisão segundo o acrónimo PICO: População (P); Intervenção (I); Comparação (C); *Outcome* (O). (45, 46)

Desta forma, a questão de investigação que guiou esta revisão sistemática foi: **“Em estudantes de Mestrado Integrado em Medicina Dentária (MIMD) e Curso de Licenciatura em Higiene Oral (CLHO) (P), a utilização de modelos anatómicos impressos em 3D (I), comparada com métodos de ensino convencionais (C), é mais eficaz para melhorar o desempenho académico e a compreensão da morfologia dentária? (O)”**. (Tabela 1)

Tabela 1. Divisão segundo o acrónimo PICO

Componente	Descrição
População (P)	Estudantes de MIMD e CLHO
Intervenção (I)	Modelos anatómicos impressos em 3D
Comparação (C)	Métodos de ensino convencionais
Outcome (O)	Desempenho académico, compreensão da Morfologia Dentária e eficácia da aprendizagem

2.2 Estratégia de pesquisa

Uma vez formulada a questão de investigação, foram determinadas palavras pesquisáveis, bem como termos MeSH, definida uma equação de pesquisa e consequentemente realizada uma pesquisa eletrónica em 3 bases de dados: PubMed/MEDLINE®, ScienceDirect® e Scopus®. (Tabela 2, 3 e 4)

A estratégia combinou termos relacionados com impressão 3D, anatomia dentária e ensino/educação. Foram incluídos artigos originais e ensaios comparativos que avaliassem a utilização de modelos 3D no ensino da Anatomia Dentária. Foram utilizados termos booleanos de forma a combinar as palavras pesquisáveis e termos MeSH: “AND” e “OR”. A pesquisa foi limitada a artigos publicados apenas nos últimos 10 anos.

O protocolo de pesquisa foi registado no PROSPERO (*International Prospective Register of Systematic Reviews*) a 30 de Dezembro de 2025 e registado com o ID: 1275454.

Tabela 2. Estratégia de pesquisa utilizada na PubMed/MEDLINE®

<u>Estratégia de pesquisa</u>	<u>Palavras pesquisáveis e MeSH Terms</u>
3D Printing	"Printing, Three-Dimensional"[MeSH Terms] OR 3D printing[Text Word] OR "3D printing"[All Fields] OR "three dimensional printing"[All Fields] OR "additive manufacturing"[All Fields]

Anatomical / Dental Models	"Models, Dental"[MeSH Terms] OR dental models[Text Word] OR "dental model"[All Fields] OR "dental models"[All Fields] OR "Anatomic Models"[MeSH Terms] OR anatomical models[Text Word] OR "anatomical model"[All Fields] OR "anatomical models"[All Fields] OR "tooth model"[All Fields] OR "tooth models"[All Fields]
Dental / Dentistry	"Dentistry"[MeSH Terms] OR dental[Text Word] OR dentistry[Text Word] OR dental[All Fields] OR dentistry[All Fields] OR tooth[All Fields] OR teeth[All Fields]
Anatomy / Morphology	"Tooth Anatomy"[MeSH Terms] OR anatomy[Text Word] OR morphology[Text Word] OR anatomy[All Fields] OR morphology[All Fields] OR "tooth morphology"[All Fields] OR "dental morphology"[All Fields]
Education / Teaching	"Education"[MeSH Terms] OR "Teaching"[MeSH Terms] OR education[Text Word] OR teaching[Text Word] OR education[All Fields] OR teaching[All Fields] OR learning[All Fields] OR training[All Fields]
<u>Estratégia de pesquisa</u>	<u>Equação de pesquisa</u>
(3D Printing) AND (Anatomical Models) AND (Dental OR Dentistry) AND (Anatomy OR Morphology) AND (Education OR Teaching)	("Printing, Three-Dimensional"[MeSH Terms] OR 3D printing[Text Word] OR "3D printing"[All Fields] OR "three dimensional printing"[All Fields] OR "additive manufacturing"[All Fields]) AND

("Models, Dental"[MeSH Terms]
 OR dental models[Text Word]
 OR "dental model"[All Fields]
 OR "dental models"[All Fields]
 OR "Anatomic Models"[MeSH Terms]
 OR anatomical models[Text Word]
 OR "anatomical model"[All Fields]
 OR "anatomical models"[All Fields]
 OR "tooth model"[All Fields]
 OR "tooth models"[All Fields])
 AND
 ("Dentistry"[MeSH Terms]
 OR dental[Text Word]
 OR dentistry[Text Word]
 OR dental[All Fields]
 OR dentistry[All Fields])
 AND
 ("Tooth Anatomy"[MeSH Terms]
 OR anatomy[Text Word]
 OR morphology[Text Word]
 OR anatomy[All Fields]
 OR morphology[All Fields]
 OR "tooth morphology"[All Fields]
 OR "dental morphology"[All Fields])
 AND
 ("Education"[MeSH Terms]
 OR "Teaching"[MeSH Terms]
 OR education[Text Word]
 OR teaching[Text Word]
 OR education[All Fields]
 OR teaching[All Fields]
 OR learning[All Fields]
 OR training[All Fields])

Tabela 3. Estratégia de pesquisa utilizada na ScienceDirect®

Equação de pesquisa
(3D Printing) AND (Anatomical Models) AND (Dental OR Dentistry) AND (Anatomy OR Morphology) AND (Education OR Teaching)

Tabela 4. Estratégia de pesquisa utilizada na Scopus®

Equação de pesquisa
TITLE-ABS-KEY ("3D printing" OR "3D printed" OR "additive manufacturing") AND ("dental anatomy" OR "tooth anatomy" OR "tooth morphology" OR "tooth structure") AND (education OR teaching OR learning OR training OR students)

2.3 Seleção dos estudos

Para proceder à seleção dos estudos incluídos nesta revisão, foram previamente estabelecidos critérios de inclusão e exclusão (Tabela 5).

Tabela 5. Seleção dos estudos

Crítérios de inclusão	Crítérios de exclusão
• Estudos (observacionais ou experimentais, quasi-experimentais ou randomizados) realizados no contexto do ensino da Anatomia Dentária; • Estudos que comparem a utilização de modelos de impressão 3D com os métodos convencionais de ensino;	• Revisões sistemáticas e artigos de opinião; • Estudos que utilizem outro tipo modelos de impressão 3D que não sejam do tipo anatómico e/ou que não estejam relacionados com a área da Medicina Dentária; • Estudos que não apresentem <i>outcomes</i> relacionados com a aprendizagem.

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Estudos com participação de estudantes de MIMD e/ou estudantes de Higiene Oral. | |
|---|--|

Numa primeira fase, foram eliminados todos os artigos duplicados ou triplicados. Posteriormente, dois investigadores (LF e MQ) analisaram de forma independente os títulos e resumos dos artigos identificados. Os estudos que passaram a triagem inicial foram lidos integralmente e foram excluídos aqueles que não cumpriram os critérios estabelecidos, tendo o motivo de exclusão sido registado para cada caso.

Sempre que surgiram discrepâncias entre os investigadores, um terceiro avaliador foi acionado para resolver as divergências. De modo a avaliar a concordância entre os investigadores, foi utilizado o coeficiente de *Kappa de Cohen* (*k*). (49)

Além disso, foi utilizado o programa informático Rayyan® (Rayyan Systems Inc., Cambridge, MA, EUA) como ferramenta digital com funcionalidades de apoio por inteligência artificial para a gestão e organização dos artigos científicos identificados nas diferentes bases de dados consultadas. (50) Esta plataforma funcionou como repositório central dos estudos importados, permitindo armazenar as referências bibliográficas, identificar e remover triplicados e duplicados, organizar os artigos por critérios de inclusão e exclusão e facilitar o processo de seleção.

Após a seleção dos estudos, foi realizada a avaliação da sua qualidade metodológica e a extração dos dados relevantes.

2.4 Extração de dados

Após a seleção dos estudos incluídos, procedeu-se à extração e organização dos dados relevantes numa tabela do Microsoft® Excel (Microsoft Corporation, Redmond, WA, EUA). Foram registadas as seguintes variáveis: título do estudo, autores, ano de publicação, desenho do estudo, objetivo, características da amostra (tipo de estudantes, ano curricular e número de participantes), metodologia aplicada (incluindo o tipo de modelos impressos em 3D utilizados, os métodos de ensino comparados e

os instrumentos de avaliação), bem como os principais resultados e conclusões de cada um dos artigos.

2.5 Avaliação da qualidade dos estudos

A avaliação da qualidade metodológica dos estudos incluídos foi realizada através da utilização da ferramenta *Checklist for Quasi-Experimental Studies (Non-Randomized Experimental Studies)* (51), procedendo-se simultaneamente à extração dos dados relevantes. Este instrumento tem como finalidade analisar o rigor metodológico dos estudos e, aferir o potencial risco de viés tanto ao nível do desenho como ao nível da condução e análise dos mesmos. A ferramenta *checklist* é composta por nove itens, sendo cada um avaliado segundo quatro categorias de resposta: “sim”, “não”, “inconclusivo” e “não aplicável”.

3. RESULTADOS

3.1 Resultados da pesquisa

Após a realização da pesquisa nas bases de dados, no dia 11 de janeiro de 2026, os artigos encontrados foram colocados num ficheiro do Microsoft Excel, sendo identificados 916 artigos, na totalidade: 39 artigos na PubMed/MEDLINE®, 756 artigos na ScienceDirect® e 121 artigos na Scopus®. Tendo em conta que se trata de um tema atual e em constante evolução foi realizada uma atualização da pesquisa bibliográfica no dia 7 de março de 2026. Desta atualização resultou a identificação de um total de 947 artigos, dos quais 43 provenientes da PubMed/MEDLINE®, 782 da ScienceDirect® e 122 da Scopus®. Para além destes artigos foi ainda considerado um artigo de literatura cinzenta. Os artigos duplicados e triplicados (n=60) foram excluídos. Após esta exclusão, procedeu-se à seleção dos 888 artigos através da leitura dos títulos e *abstracts*, tendo em consideração os critérios de inclusão e exclusão, tendo sido excluídos 857 artigos nesta fase. Assim, 31 artigos foram considerados elegíveis para leitura integral. Após esta leitura integral, foram excluídos 24 artigos, por não cumprirem os critérios de elegibilidade estabelecidos, resultando assim numa amostra final de 7 artigos incluídos na revisão sistemática. (Figura 1)

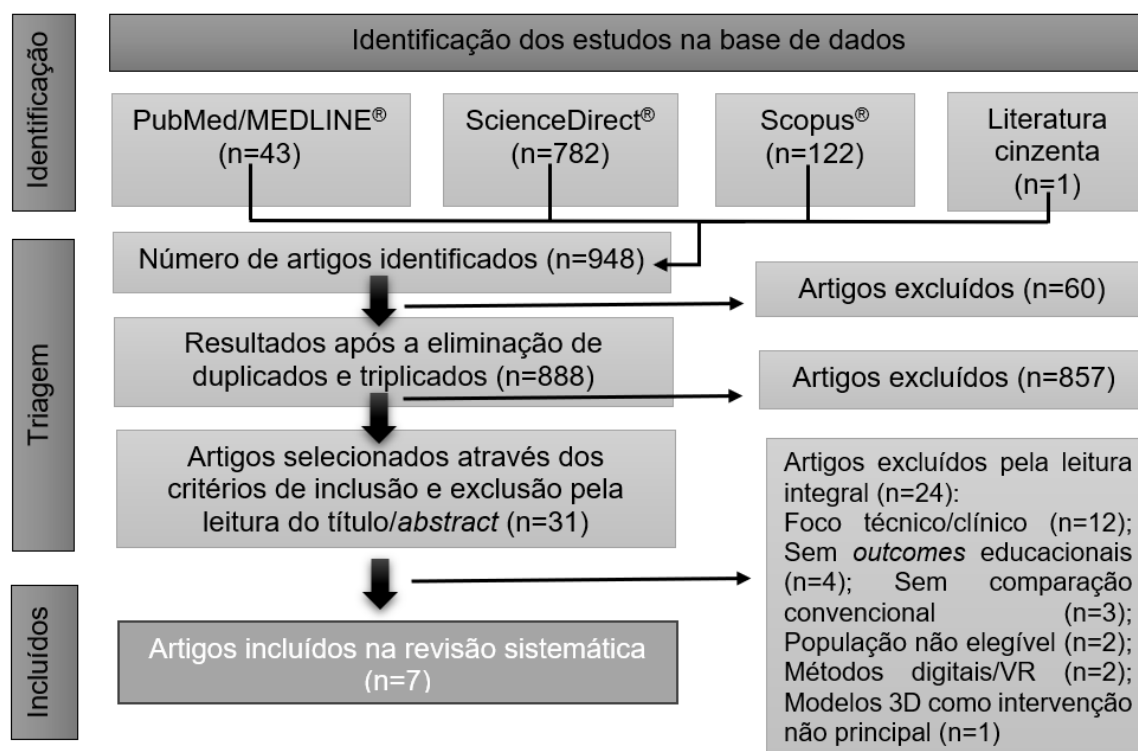


Figura 1. Fluxograma (PRISMA) de seleção de artigos

A concordância e a fiabilidade inter investigador foi avaliada através do coeficiente *Kappa de Cohen*, tendo-se obtido um valor de $K = 1,00$, o que indica uma concordância perfeita entre os revisores.

3.2 Avaliação da qualidade dos estudos

A qualidade dos 7 estudos incluídos nesta revisão sistemática foi avaliada utilizando a *checklist* do JBI para estudos quasi-experimentais (estudos experimentais não-randomizados), uma ferramenta que tem por objetivo avaliar a qualidade metodológica dos estudos. Os resultados desta avaliação estão explícitos na Tabela 6 e de uma forma global, demonstraram um baixo risco de viés, uma vez que a maioria dos itens avaliados obteve resposta “sim”, aumentando assim a confiabilidade dos estudos incluídos. A questão número 6 foi considerada “não aplicável”, pelo facto de se tratarem maioritariamente de estudos educacionais pré-clínicos, sem *follow-up* dos participantes. Relativamente à questão número 4, dois dos estudos foram classificados como “inconclusivo”, por não apresentarem um grupo de controlo tradicional. (Tabela 6)

Tabela 6. Avaliação da qualidade dos estudos através da *Checklist for quasi-experimental studies* do JBI

Questões	1	2	3	4	5	6	7
Questão 1	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Questão 2	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Questão 3	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Questão 4	Sim	Inconclusivo	Sim	Sim	Sim	Sim	Inconclusivo
Questão 5	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Questão 6	Não aplicável						
Questão 7	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Questão 8	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Questão 9	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim

Questão 1 - Está claro, no estudo, qual é a “causa” e qual é o “efeito” (não há confusão sobre qual variável vem primeiro)?
 Questão 2 - As amostras em comparação são semelhantes?
 Questão 3 - Além da intervenção/exposição em estudo, as amostras foram submetidas a tratamentos similares?
 Questão 4 - Existiu um grupo de controlo?
 Questão 5 - Houve várias medições do resultado antes e depois da intervenção/exposição?
 Questão 6 - O *follow-up* foi completo e, se não, as diferenças entre os grupos foram descritas / analisadas adequadamente?
 Questão 7 - Os resultados foram medidos da mesma forma em todos os grupos?
 Questão 8 - Os resultados foram medidos de forma confiável?
 Questão 9 - Foi utilizada análise estatística apropriada?

3.3 Características dos estudos

Dos 7 estudos incluídos nesta revisão sistemática foram recolhidas informações gerais, nomeadamente os autores, o ano de publicação, a revista, o país de realização dos estudos, que se encontram sintetizados na Tabela 7.

Tabela 7. Identificação dos artigos finais

Nº	Autor e Ano	Título	Revista	País
1	Di Lorenzo I, del Hougne M, Krastl G, Schmitter M, Höhne C. 2025	3D printed tooth for endodontic training in dental education	Scientific Reports	Alemanha
2	Mahrous A, Elgreatly A, Qian F, Schneider G. 2021	A comparison of pre-clinical instructional technologies: Natural teeth, 3D models, 3D printing, and augmented reality	Journal of Dental Education	EUA
3	Dzhondrova I, Liondev I, Galeva H, Bogdanov T, Uzunov T, Kirov D. 2026	Evaluating the Effectiveness of 3D-Printed Models in Tooth Morphology Training for Students	Journal of Dental Education	Bulgária
4	Ballester B, Pilliol V, Allaerd P, Jacquot B, Guivarc'h M. 2024	Evaluation of a new 3D-printed tooth model allowing preoperative ICDAS assessment and caries removal	European Journal of Dental Education	França
5	Bereza S, Carluccio D, Novak J, Khadembaschi D, Batstone M, Ivanovski S. 2026	Assessment of Different Technologies in the Fabrication of 3D Printed Tooth Models for Dental Education	European Journal of Dental Education	Austrália
6	Wang H, Xu H, Zhang J, Yu S, Wang M, Qiu J, Zhang M. 2020	The effect of 3D-printed plastic teeth on scores in a tooth morphology course in a Chinese university	BMC Medical Education	China
7	Souza AO, Peruzzo DC, França FMG, Oliveira AMG, Kantovitz KR. 2018	Macromodelos odontológicos impressos em 3D como recurso complementar ao ensino em escultura dentária	Revista da ABENO	Brasil

Relativamente ao desenho metodológico de estudo, os artigos que foram incluídos correspondem maioritariamente a estudos educacionais pré-clínicos, observacionais ou quasi-experimentais, focados na aplicação de modelos impressos em 3D no ensino da Anatomia Dentária.

No que diz respeito aos objetivos, todos avaliaram a utilização de modelos dentários impressos em 3D no ensino pré-clínico, quer através da análise da perceção dos estudantes relativamente à sua utilidade pedagógica, quer através da

comparação do desempenho académico e prático com métodos de ensino tradicionais (dentes naturais, modelos dentários convencionais (tipodonts), escultura dentária em sabão, estudo de imagens 2D em diapositivos, etc...).

Em relação às amostras, a maioria dos estudos incluiu estudantes de Medicina Dentária em diferentes anos de formação, variando entre o 1.º e o 6.º ano. Alguns estudos incluíram assim participantes com experiência pré-clínica e/ou clínica prévia e ainda médicos dentistas tutores.

As metodologias utilizadas variaram entre questionários de perceção, avaliação de desempenho prático, comparação de notas teóricas e práticas, escalas de *Likert*, escalas visuais analógicas e entrevistas semi-estruturadas. Na generalidade pode afirmar-se que, os estudos procuraram avaliar se os modelos impressos em 3D poderiam, num futuro próximo, tornar-se numa ferramenta complementar aos métodos tradicionais de ensino, de modo a melhorar principalmente a compreensão anatómica, a visualização tridimensional e ainda o desenvolvimento de competências práticas.

Todas estas características dos estudos e a sua respetiva análise descritiva encontram-se representadas na Tabela 8.

Tabela 8. Análise descritiva dos estudos

Nº	Objetivo	Amostra	Metodologia	Resultados / Conclusões
1	Avaliar dentes impressos em 3D como método de treino em endodontia e compará-los com os métodos convencionais, habitualmente utilizados no ensino.	38 estudantes (29 do sexo feminino e 9 do sexo masculino) do 5º ano de Medicina Dentária. A idade média destes alunos foi de 24,9 anos.	Estudo prático em contexto de curso <i>hands-on</i> . Os estudantes realizaram tratamentos endodônticos em dentes impressos em 3D e posteriormente responderam a um questionário. A comparação foi feita com métodos convencionais já utilizados: dentes naturais e blocos acrílicos transparentes. A análise incluiu avaliação por questionário com escala visual analógica e perguntas abertas.	Os dentes impressos em 3D foram considerados superiores aos blocos acrílicos em termos de adequação para treino prático e manuseamento. Quando comparados aos dentes naturais, apresentaram resultados semelhantes, embora ligeiramente inferiores em alguns parâmetros. Foram destacadas vantagens como maior realismo, possibilidade de treino repetido e ausência de problemas éticos e higiénicos. Contudo, não foram considerados capazes de substituir completamente os dentes naturais no ensino.
2	Avaliar e comparar a percepção dos estudantes relativamente a diferentes métodos / modalidades distintas de ensino da Anatomia Dentária: dente natural e modelo 3D impresso.	70 estudantes do 1.º ano de Medicina Dentária (40 do sexo feminino e 30 do sexo masculino). A idade média destes alunos foi de 23,3 anos.	Estudo transversal com quatro 'estações' de aprendizagem, todas representando o mesmo dente, o primeiro molar mandibular esquerdo: dente natural extraído, modelo 3D impresso, modelo 3D virtual e modelo em realidade aumentada. Após observarem todas as estações, os estudantes responderam a um questionário eletrónico. Foi	O dente natural foi considerado o método com maior valor educativo, enquanto o modelo 3D impresso foi considerado o mais acessível e fácil de utilizar. A realidade aumentada foi considerada a modalidade mais interessante, embora com menor facilidade de utilização e valor educativo. O estudo concluiu que cada método apresenta vantagens específicas no ensino pré-clínico, não existindo uma

			realizada uma análise bivariada para avaliar associações entre percepções, características demográficas e experiência tecnológica.	alternativa única capaz de substituir totalmente as restantes.
3	Avaliar a eficácia da utilização de modelos impressos em 3D no ensino da morfologia dentária, comparando-os com os métodos tradicionais.	200 estudantes de Medicina Dentária do 1.º ano: 100 estudantes da coorte de 2022 (grupo controlo) e 100 estudantes da coorte de 2024 (grupo experimental). Sexo dos estudantes não especificado.	Estudo comparativo entre duas coortes. O grupo controlo utilizou métodos tradicionais; o grupo experimental utilizou modelos impressos em 3D associados aos métodos tradicionais. Fazem parte da metodologia o desenho dos dentes, a escultura em sabão, a modelagem em cera, o exame teórico e o questionário aos estudantes.	Os estudantes que utilizaram modelos 3D apresentaram melhores resultados na escultura em sabão ($p < 0,00001$) e maior precisão na reprodução dos detalhes anatómicos. A maioria considerou os modelos 3D benéficos para a compreensão da anatomia dentária e para o desenvolvimento de competências práticas, sendo preferida a sua utilização em conjunto com os métodos tradicionais.
4	Desenvolver e avaliar um modelo dentário impresso em 3D com lesões de cárie simuladas, permitindo avaliação ICDAS e remoção de cárie em contexto pré-clínico.	31 estudantes: 17 do 4º ano e 14 do 6º ano de Medicina Dentária. Idade e sexo não especificados. Todos estes apresentavam experiência clínica prévia na remoção de cárie.	Estudo observacional com a avaliação de um modelo de um dente impresso em 3D. Este dente apresentava as características de multicamada: esmalte e dentina, e ainda lesões de cárie. Os dentes utilizados foram o 35 e o 36. Os estudantes avaliaram visual e radiologicamente a severidade das lesões segundo ICDAS, definiram a estratégia terapêutica segundo <i>CariesCare 4D</i> e avaliaram o modelo com	A maioria dos estudantes considerou realistas a textura (94%) e a cor (97%) das lesões e, adequada a avaliação visual (90%), segundo ICDAS. Todos concordaram que o modelo 3D proporcionava uma boa simulação de cárie, era adequado para o ensino prático e apresentava melhores resultados de aprendizagem do que o modelo padrão. Contudo, foram identificadas limitações na diferenciação entre esmalte e dentina, tendo os estudantes com maior experiência clínica (6ºano)

			escala <i>Likert</i> de 5 pontos. A comparação foi feita com um modelo dentário padrão artificial comercial (modelo tipodont AG-3)	apresentado avaliações mais favoráveis.
5	Comparar diferentes tecnologias de impressão 3D na produção de modelos dentários para ensino, avaliando a sua adequação face a um modelo convencional.	12 estudantes do 4º e 5º ano de Medicina Dentária. Idade e sexo não especificados.	Estudo experimental comparativo. Foram fabricados modelos de molares superiores por diferentes tecnologias de impressão 3D: SLS, FFF (<i>Fused Filament Fabrication</i>), MJ (<i>Material Jetting</i>), SLA e DLP. Estes foram comparados com um modelo convencional de tipodont constituído por dentes artificiais de Ivorine. Os participantes realizaram preparações cavitárias e avaliaram os modelos quanto a <i>feedback</i> háptico, aparência visual, precisão anatómica e adequação geral através de escala <i>Likert</i> de 5 pontos e entrevistas semi-estruturadas.	As tecnologias MJ, SLA e DLP apresentaram resultados mais próximos ao modelo convencional, destacando-se a DLP pelo melhor desempenho global. As tecnologias FFF e SLS apresentaram desempenho significativamente inferior em todos os parâmetros avaliados. O estudo concluiu que os modelos 3D devem ser utilizados como complemento aos métodos convencionais, embora apresentem potencial para apoiar a autoaprendizagem.
6	Avaliar o efeito da utilização de dentes impressos em 3D no desempenho dos estudantes numa unidade curricular	45 estudantes de Estomatologia / Medicina Dentária: 22 estudantes do ano curricular 2014 (grupo de controlo) e 23 estudantes do ano curricular 2016 (grupo experimental). Idade,	Estudo comparativo entre duas coortes (não randomizado). A coorte de 2016 recebeu um conjunto de 14 dentes impressos em 3D para usar durante o processo de aprendizagem, enquanto a coorte de 2014	Não foram observadas diferenças significativas nas notas do exame teórico nem na nota total entre os grupos ($p>0,05$). Contudo, a nota da escultura dentária em gesso foi significativamente superior no grupo que utilizou os dentes impressos em 3D ($p = 0,002$).

	de morfologia dentária.	sexo e grau não especificados	utilizou os métodos tradicionais de ensino. Foram comparadas as notas do exame teórico, a nota da escultura dentária manual em gesso e a nota total. Também foi aplicado um questionário anónimo à coorte que usou os modelos impressos 3D.	Mais de 90% dos estudantes consideraram os modelos 3D úteis para compreender a Anatomia Dentária e melhorar as competências práticas.
7	Avaliar a percepção dos estudantes relativamente à utilização de macromodelos odontológicos impressos em 3D como recurso complementar no ensino da escultura dentária, comparando-os com métodos tradicionais como diapositivos.	38 estudantes do 5.º semestre de Medicina Dentária, dos quais (27 do sexo feminino e 11 do sexo masculino). A idade média foi de 25 anos.	Estudo observacional baseado na percepção dos estudantes. Foram produzidos macromodelos dentários impressos em 3D (incisivo central, canino, primeiro pré-molar e primeiro molar superiores) utilizados durante as aulas para demonstração das estruturas anatómicas. No final do semestre foi respondido pelos alunos um questionário com questões fechadas e abertas para avaliar o impacto na aprendizagem. A comparação foi feita através do método tradicional previamente utilizado (diapositivos).	A maioria dos estudantes considerou os macromodelos 3D úteis para a compreensão da técnica de escultura dentária e da morfologia dentária. Os modelos contribuíram para a identificação de dificuldades e para a consolidação dos conceitos anatómicos, sendo considerados uma melhoria relativamente ao uso de diapositivos. Contudo, os estudantes consideraram que não substituem a demonstração prática pelo docente, devendo ser utilizados como complemento no ensino da Anatomia Dentária.

4. DISCUSSÃO

As revisões sistemáticas representam um dos mais elevados níveis de evidência científica, ao utilizarem metodologias rigorosamente estruturadas para identificar, selecionar e analisar criticamente os estudos disponíveis na literatura científica. (45-48)

A Anatomia Dentária constitui uma das bases fundamentais do ensino e da formação em Medicina Dentária, particularmente no ambiente pré-clínico, pois representa uma área essencial para o desenvolvimento da compreensão morfológica, para além de proporcionar aos alunos mais noções espaciais. Adicionalmente, acaba por fornecer competências manuais necessárias à prática clínica futura. (41, 52, 53, 54)

Contudo, os métodos tradicionais que são habitualmente utilizados no ensino, como imagens bidimensionais, dentes naturais, modelos em gesso, escultura em cera ou sabão e ainda os modelos dentários convencionais (tipodonts), apresentam algumas limitações na representação tridimensional da Anatomia Dentária (52-54). Em virtude destes motivos, a impressão 3D tem vindo a assumir um papel altamente relevante no ensino desta área, ao proporcionar o desenvolvimento de modelos anatómicos mais padronizados, acessíveis e reproduzíveis. (41, 52-59)

Os resultados obtidos nesta revisão sistemática demonstraram, na sua generalidade, que os modelos dentários impressos em 3D apresentam um potencial pedagógico importante e com bastante relevância no ensino pré-clínico da Anatomia Dentária. (41, 52-60) Esta representa uma área fundamental no ensino e encontra-se intimamente associada às disciplinas pré-clínicas mais importantes do curso de Medicina Dentária, que terão depois um componente clínico. (56, 57, 58, 60) Este potencial pedagógico é relevante sobretudo ao nível da compreensão morfológica, visualização tridimensional, desenvolvimento de competências práticas e aumento da motivação dos estudantes. (41, 52-60)

A maioria dos estudos incluídos relataram perceções positivas quanto à utilização destes modelos como uma ferramenta complementar dos métodos convencionais de ensino, pois vários autores defendem que esta ainda não substitui totalmente os recursos convencionais. (41, 52-59)

No estudo de Wang *et al.* (53), os estudantes que utilizaram dentes acrílicos impressos em 3D como a sua referência anatômica tridimensional durante todo o processo de escultura dentária em gesso, obtiveram resultados significativamente superiores. Isto quando comparados com os estudantes que foram submetidos apenas aos métodos convencionais de ensino. Os autores verificaram ainda que os modelos 3D permitiram aos estudantes uma interpretação mais intuitiva das imagens 2D presentes nos manuais, facilitando a compreensão tridimensional das estruturas anatômicas dentárias. Mais de 90% dos estudantes consideraram os modelos impressos em 3D úteis na aprendizagem da Anatomia Dentária e na melhoria das competências do processo de escultura dentária. Por outro lado, não foram observadas diferenças consideráveis relativamente às avaliações teóricas. A utilização de modelos impressos em 3D foi mais impactante para os alunos no desenvolvimento das competências práticas e na compreensão / visualização espacial, do que propriamente na aquisição de conhecimento teórico isolado. (53)

Dzhondrova *et al.* (54) observaram resultados similares, quando compararam estudantes que utilizavam modelos impressos em 3D associados aos métodos convencionais, com estudantes que recorreram apenas a métodos convencionais. Os autores verificaram que os estudantes que experienciaram os modelos 3D, apresentaram um desempenho superior na escultura dentária em sabão, demonstrando maior precisão e detalhe anatômico. No entanto, tal como observado por Wang *et al.* (53), não foram encontradas diferenças significativas relativamente ao desempenho teórico, reforçando a hipótese de que os modelos impressos em 3D parecem beneficiar sobretudo ao nível da aprendizagem prática e da compreensão espacial das estruturas dentárias. (53, 54) Uma grande maioria de estudantes (mais de 80%) referiram que os modelos impressos em 3D contribuíram para uma melhoria da compreensão da Anatomia Dentária, influenciando diretamente e, de uma forma positiva, as competências de escultura. (54)

O estudo de Souza *et al.* (55) demonstra igualmente resultados concordantes, uma vez que os estudantes consideraram os macromodelos dentários impressos em 3D um recurso facilitador da compreensão da técnica de escultura dentária e da visualização das estruturas anatômicas. Os autores descreveram ainda que os macromodelos 3D contribuíram para a consolidação dos conceitos anatômicos e

favoreceram na compreensão das noções espaciais das estruturas dentárias, funcionando como um recurso complementar aos métodos convencionais baseados apenas em diapositivos e aulas expositivas. Apesar disso, os estudantes referiram que estes recursos não substituem totalmente a demonstração prática da escultura dentária realizada pelo docente, reforçando novamente a ideia de complementaridade pedagógica entre os diferentes métodos de ensino. (55)

A importância da complementaridade entre diferentes modalidades de ensino foi também evidenciada por Mahrous *et al.* (56), que compararam diferentes recursos pedagógicos utilizados no ensino pré-clínico da Anatomia Dentária, incluindo dente natural extraído, modelo 3D impresso, modelo virtual 3D e realidade aumentada. Os autores concluíram que o dente natural foi considerado o método com maior valor educativo, enquanto os modelos impressos em 3D foram considerados os mais acessíveis e fáceis de utilizar. Já a realidade aumentada foi percebida, entre todas as modalidades, como a mais interessante e motivadora para os estudantes. Estes resultados sugerem que os diferentes métodos poderão apresentar vantagens pedagógicas específicas, reforçando a importância da integração de múltiplas estratégias de ensino no contexto pré-clínico, sendo os recursos 3D complementares aos recursos convencionais uma delas. (56)

Di Lorenzo *et al.* (57) demonstraram e reforçaram o potencial da impressão 3D em áreas do ensino pré-clínico em Medicina Dentária nas quais é essencial ter um conhecimento sólido quanto à Anatomia Dentária, tanto externa como interna. Neste estudo avaliaram dentes impressos em 3D para treino endodôntico e verificaram que estes foram considerados significativamente superiores aos blocos acrílicos transparentes relativamente à adequação prática e facilidade de manuseamento. Os autores destacaram vantagens como maior realismo anatómico, para além destes modelos 3D facilitarem logisticamente as aulas pré-clínicas, possibilitando treino repetido, menor necessidade de preparação prévia do material e redução das questões higiénicas, isto para além dos problemas éticos que existem associados à utilização de dentes naturais. Apesar disso, os estudantes continuaram a considerar os dentes naturais, em alguns parâmetros relacionados com o realismo clínico, ligeiramente superiores, demonstrando que os modelos impressos em 3D ainda

apresentam algumas limitações relativamente à reprodução completa das características dos tecidos dentários naturais. (57)

Resultados semelhantes foram descritos por Ballester *et al.* (58), que desenvolveu um modelo dentário multicamada impresso em 3D para prática em contexto pré-clínico. Este modelo foi concebido para auxiliar nas respetivas avaliações de ICDAS e remoção de cárie. Os estudantes consideraram estes modelos uma boa adequação pedagógica para a simulação de lesões de cárie e treino prático, devido à sua textura e coloração das lesões bastante realistas. (58) Todos os participantes deste estudo concordaram que os modelos impressos em 3D proporcionavam melhores resultados de aprendizagem do que o modelo padrão convencional utilizado previamente. (58) Os autores defendem que a impressão 3D poderá reduzir a distância entre a realidade pré-clínica e clínica, particularmente em áreas relacionadas com diagnóstico e técnica minimamente invasiva da cárie dentária. (58)

Relativamente à temática das propriedades físicas e hápticas dos modelos impressos em 3D, Bereza *et al.* (59) compararam diferentes tecnologias de impressão 3D, incluindo SLS, FFF, MJ, SLA e DLP. Os autores verificaram que as tecnologias MJ, SLA e DLP apresentaram resultados comparáveis aos modelos convencionais de Ivorine – nitrato de celulose – e, relativamente ao *feedback* háptico, precisão anatómica e adequação geral. Contudo, os modelos 3D produzidos por FFF e SLS apresentaram resultados inferiores nesses parâmetros. Apesar dos avanços observados, os autores concluíram que os modelos impressos em 3D ainda não reproduzem totalmente as características físicas e táteis dos tecidos dentários naturais, devendo ser utilizados principalmente como complemento aos modelos convencionais, funcionando assim como uma ferramenta de apoio à autoaprendizagem. (59)

Outros estudos da literatura destacaram ainda o potencial das tecnologias digitais tridimensionais enquanto ferramenta complementar no treino pré-clínico em Medicina Dentária, particularmente ao nível da avaliação prática e padronização do processo de aprendizagem. (60) Estes resultados encontram-se em concordância com os estudos previamente descritos, nos quais os modelos impressos em 3D demonstraram contribuir positivamente para o desenvolvimento das competências

práticas e melhoria do processo de ensino e aprendizagem em contexto pré-clínico. (53-58)

Para além dos resultados observados nos estudos previamente descritos, a literatura destaca igualmente a importância da representação 3D no ensino da Anatomia, sendo salientado que os modelos dentários impressos em 3D permitem melhorar a perceção espacial e a compreensão morfológica das estruturas dentárias, favorecendo a identificação de características anatómicas complexas. Ainda é defendido que os modelos impressos em 3D poderão constituir uma alternativa complementar aos dentes naturais e aos modelos plásticos convencionais, ultrapassando limitações relacionadas com disponibilidade, variabilidade anatómica e questões éticas associadas à utilização de dentes extraídos. (52)

Do mesmo modo, a literatura verifica que métodos digitais tridimensionais e tecnologias imersivas podem melhorar moderadamente os resultados educacionais, particularmente ao nível da motivação, envolvimento dos estudantes e compreensão / interpretação tridimensional. (41) Contudo, é sugerido que estas tecnologias não deverão substituir totalmente os métodos tradicionais, mas sim atuar como complemento pedagógico integrado no ensino pré-clínico. (41) Esta ideia encontra-se em concordância com os resultados observados nos estudos incluídos nesta revisão sistemática, nos quais os modelos impressos em 3D foram frequentemente descritos como ferramentas complementares e não substitutivas dos métodos convencionais de ensino. (41, 52-59)

De um modo geral, os estudos incluídos nesta revisão sistemática parecem demonstrar consenso relativamente às principais vantagens dos modelos impressos em 3D no ensino pré-clínico da Anatomia Dentária: melhoria da visualização tridimensional, padronização anatómica, acessibilidade, possibilidade de repetição dos procedimentos e aumento da motivação dos estudantes. (41, 52-60) Adicionalmente, estes modelos permitem ultrapassar algumas dificuldades e limitações associadas à utilização de dentes naturais, tais como variabilidade anatómica, dificuldades de obtenção, questões éticas e a necessidade de cumprir protocolos específicos de desinfeção e armazenamento. (52, 56-59)

Apesar dos resultados promissores, importa salientar algumas limitações identificadas nos estudos analisados. A maioria dos estudos apresentou amostras relativamente reduzidas e metodologias heterogêneas, dificultando a comparação direta entre resultados. (53-59) Foram ainda utilizados diferentes métodos de avaliação, incluindo questionários de percepção, escalas de *Likert*, avaliações práticas, exames teóricos e análises qualitativas, contribuindo para significativa heterogeneidade metodológica. (52-59) Para além disso, vários estudos avaliaram predominantemente percepções subjetivas dos estudantes (opiniões, níveis de satisfação e autoavaliação da aprendizagem) existindo ainda escassez de evidência relativamente ao impacto a longo prazo da utilização destes modelos no desempenho clínico real. (53-59)

Não obstante as limitações identificadas, os resultados desta revisão sistemática sugerem que os modelos dentários impressos em 3D poderão constituir uma ferramenta pedagógica complementar relevante no ensino da Anatomia Dentária, nomeadamente em contexto pré-clínico. A sua utilização parece contribuir particularmente para a melhoria da compreensão morfológica, visualização espacial e desenvolvimento de competências práticas, sobretudo quando integrados com os métodos convencionais de ensino, e não como substitutos absolutos destes recursos tradicionais. (41, 52-59)

Futuramente serão necessários mais estudos com metodologias padronizadas e avaliação clínica a longo prazo, de forma a compreender melhor o verdadeiro impacto destas tecnologias no desempenho académico e clínico dos estudantes de Medicina Dentária. Será particularmente importante a realização de estudos com amostras mais representativas, protocolos de ensino uniformizados e instrumentos de avaliação validados, permitindo comparações mais consistentes entre diferentes modelos impressos em 3D. Adicionalmente, futuras investigações deverão analisar não apenas a percepção dos estudantes, mas também indicadores objetivos de desempenho, a retenção de conhecimentos e a transferência das competências adquiridas para o contexto clínico.

5. CONCLUSÃO

Tendo em conta os resultados da presente revisão sistemática, podem ser retiradas as seguintes conclusões relativamente à utilização de modelos dentários impressos em 3D no ensino da Anatomia Dentária no curso de Medicina Dentária:

- Os modelos dentários impressos em 3D representam um recurso pedagógico complementar relevante no ensino pré-clínico da Anatomia Dentária;
- A utilização destes modelos parece contribuir positivamente para a compreensão morfológica das estruturas dentárias, compreensão tridimensional, desenvolvimento de competências práticas e aumento da motivação dos estudantes;
- Os modelos impressos em 3D apresentam vantagens relacionadas com a padronização anatómica, acessibilidade, possibilidade de repetição dos procedimentos e redução de algumas limitações associadas à utilização de dentes naturais, nomeadamente variabilidade anatómica, dificuldades de obtenção e questões éticas;
- Os estudos incluídos sugerem que os modelos impressos em 3D não deverão substituir totalmente os métodos convencionais de ensino, mas sim funcionar como ferramentas complementares integradas no ensino da Anatomia Dentária;
- Apesar dos avanços observados, os modelos impressos em 3D ainda apresentam algumas limitações relativamente à reprodução completa das características físicas e táteis dos tecidos dentários naturais, particularmente ao nível do *feedback* háptico e realismo clínico.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Tian Y, Chen C, Xu X, Wang J, Hou X, Li K, et al. A review of 3D printing in dentistry: technologies, affecting factors, and applications. *Scanning*. 2021;2021:9950131.
2. Bok SH, Bhattacharjee A, Nee AY, Pho RW, Teoh SH, Lim SY. Computer-aided design and computer-aided manufacture (CAD-CAM) applications in cosmetic below-elbow prostheses. *Ann Acad Med Singap*. 1990;19(5):699-705.
3. Elanchezhian C, Selwyn TS, Sundar GS. Computer-aided manufacturing (CAM). 2nd ed. New Delhi: Laxmi Publications; 2007.
4. Davidowitz G, Kotick PG. The use of CAD/CAM in dentistry. *Dent Clin North Am*. 2011;55(3):559-70.
5. Asar NV, Yun S, Schwartz S, Turkyilmaz I. Analysis of the relationship between the surface topography of prepared tooth surfaces and data quality of digital impressions from an intraoral scanner. *J Dent Sci*. 2022;17(1):545-50.
6. Alghazzawi TF. Advancements in CAD/CAM technology: options for practical implementation. *J Prosthodont Res*. 2016;60(2):72-84.
7. Miyazaki T, Hotta Y, Kunii J, Kuriyama S, Tamaki Y. A review of dental CAD/CAM: current status and future perspectives from 20 years of experience. *Dent Mater J*. 2009;28(1):44-56.
8. Srinivasan M, Kamnoedboon P, McKenna G, Angst L, Schimmel M, Özcan M, et al. CAD-CAM removable complete dentures: a systematic review and meta-analysis. *J Dent*. 2021;113:103777.
9. Bilgin MS, Baytaroğlu EN, Erdem A, Dilber E. A review of computer-aided design/computer-aided manufacture techniques for removable denture fabrication. *Eur J Dent*. 2016;10(2):286-91.
10. Beuer F, Schweiger J, Edelhoff D. Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM-generated restorations. *Br Dent J*. 2008;204(9):505-11.
11. Sidhom M, Zaghloul H, Mosleh IE, Eldwakhly E. Effect of different CAD/CAM milling and 3D printing techniques on accuracy of PMMA prostheses. *Polymers (Basel)*. 2022;14(7):1285.
12. Jeong M, Radomski K, Lopez D, Liu JT, Lee JD, Lee SJ. Materials and applications of 3D printing technology in dentistry. *Dent J (Basel)*. 2024;12(1):1.
13. Bassoli E, Gatto A, Iuliano L, Violante MG. 3D printing technique applied to rapid casting. *Rapid Prototyp J*. 2007;13(3):148-55.

14. Gross BC, Erkal JL, Lockwood SY, Chen C, Spence DM. Evaluation of 3D printing and its potential impact on biotechnology and the chemical sciences. *Anal Chem.* 2014;86(7):3240-53.
15. Maglara E, Angelis S, Solia E, Apostolopoulos AP, Tsakotos G, Vlasis K, *et al.* Three-dimensional printing in orthopedics education. *J Long Term Eff Med Implants.* 2020;30(4):255-8.
16. Hassanpour M, Narongdej P, Alterman N, Moghtadernejad S, Barjasteh E. Effects of post-processing parameters on 3D-printed dental appliances. *Polymers (Basel).* 2024;16(19):2795.
17. Aktas N, Bankoglu Gungor M. Effects of 3D-Printing Technology and Cement Type on the Fracture Resistance of Permanent Resin Crowns for Primary Teeth. *Int J Prosthodont.* 2024;37(7):195-202.
18. Kim D, Shim JS, Lee D, Shin SH, Nam NE, Park KH, *et al.* Effects of post-curing time on mechanical and color properties of 3D-printed materials. *Polymers (Basel).* 2020;12(11):2762.
19. Barazanchi A, Li KC, Al-Amleh B, Lyons K, Waddell JN. Additive technology: update on current materials and applications in dentistry. *J Prosthodont.* 2017;26(2):156-63.
20. Tsolakis IA, Gizani S, Panayi N, Antonopoulos G, Tsolakis AI. 3D printing technology in orthodontics. *Children (Basel).* 2022;9(8):1106.
21. Arnold C, Hey J, Schweyen R, Setz JM. Accuracy of CAD-CAM-fabricated removable partial dentures. *J Prosthet Dent.* 2018;119(4):586-92.
22. Dobroś K, Hajto-Bryk J, Zarzecka J, Zarzecka-Francica M, Kawala M. Application of 3D-printed teeth models in teaching dentistry students: a scoping review. *Eur J Dent Educ.* 2023;27(1):126-34.
23. Hazeveld A, Huddleston Slater JJR, Ren Y. Accuracy and reproducibility of dental replica models by rapid prototyping. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2014;145(1):108-15.
24. Espinar C, Della Bona A, Pérez MM, Pulgar R. Color and optical properties of 3D-printing restorative materials. *J Esthet Restor Dent.* 2022;34(6):853-64.
25. Garcia J, Yang Z, Mongrain R, Leask RL, Lachapelle K. 3D printing materials in medical education. *BMJ Simul Technol Enhanc Learn.* 2018;4(1):27-40.

26. Shiezadeh F, Moghadasin M, Mastour H. Educational use of patient-specific 3D-printed models in dental operative procedures: enhancing clinical training through technology. *BMC Med Educ.* 2025;25(1):1223.
27. de Mello WM, Dutra V, Liedke GS. 3D Printing in Dental Education: A Scoping Review. *Med Princ Pract.* 2026;35(2):114-25.
28. Panpisut P, Doungkom P, Padunglappisit C, Romalee W, Suksudaj N. Assessment of 3D-Printed Tooth Containing Simulated Deep Caries Lesions for Practicing Selective Caries Removal: A Pilot Study. *Int J Environ Res Public Health.* 2023;20(1):90.
29. Hartley O, Shanbhag T, Smith D, Grimm A, Salameh Z, Tadakamadla SK, *et al.* Effect of Stacking on the Accuracy of 3D-Printed Full-Arch Dental Models. *Polymers (Basel).* 2022;14(24):5465.
30. Freitas DQ, Lins CC, Melo DP, Campos CN, Rodrigues CD, Pontual ML. 3D-printed model for preclinical training in oral radiology: anatomic and pathological conditions. *Dentomaxillofac Radiol.* 2025;54(8):674-81.
31. Oberoi G, Nitsch S, Edelmayer M, Janjić K, Müller AS, Agis H. 3D printing—encompassing the facets of dentistry. *Front Bioeng Biotechnol.* 2018;6:172.
32. Prechtel A, Reymus M, Edelhoff D, Hickel R, Stawarczyk B. Comparison of various 3D-printed and milled PAEK materials. *Dent Mater.* 2020;36(2):197-209.
33. Charoenphol K, Peampring C. Fit accuracy of complete denture bases fabricated by CAD/CAM milling and 3D printing. *Eur J Dent.* 2023;17(3):889-94.
34. Alhallak KR, Nankali A. 3D printing technologies for removable dentures manufacturing. *Eur J Prosthodont Restor Dent.* 2022;30(4):237-44.
35. AlJanabi MF, Elbashti ME, Hattori M. Applications of 3D printing in dental education. *J Dent Educ.* 2022;86(8):1049-60.
36. Dzyuba N, Jandu J, Yates J, Kushnerev E. Virtual and augmented reality in dental education: The good, the bad and the better. *Eur J Dent Educ.* 2025;29(3):497-515.
37. Reymus M, Liebermann A, Diegritz C. 3D-printed replicas for dental education. *Eur J Dent Educ.* 2022;26(1):5-13.
38. Fayyaz Y, Ali M, Ullah R, Shaikh MS. Applications of 3D-printed teeth in dental education. *J Taibah Univ Med Sci.* 2024;19(4):816-22.

39. Petre AE, Pantea M, Drafta S, Imre M, Țâncu AMC, Liciu EM, *et al.* Modular digital and 3D-printed dental models. *Medicina (Kaunas)*. 2023;59(1):116.
40. Sinha A, Osnes C, Keeling AJ. Pilot study assessing 3D-printed teeth as a caries removal teaching tool. *Eur J Dent Educ*. 2022;26(2):329-36.
41. Bevizova K, El Falougy H, Thurzo A, Harsanyi S. Is virtual reality enhancing dental anatomy education? *BMC Med Educ*. 2024;24:1395.
42. Bürklein S, Schäfer E, Donnermeyer D. Evaluation of a 3D-printed model as complete case scenario in undergraduate dental education—diagnosis, treatment planning and clinical practice. *Eur J Dent Educ*. 2025;30(1):133-47.
43. Gund MP, Strähle UT, Naim J, Waldmeyer M, Hannig M, Rupf S. Comparison of 3D-printed patient model versus animal cadaveric model in periodontal surgery block course—what is more feasible for beginners? A pilot study. *Eur J Dent Educ*. 2026;30(1):39-45.
44. Seifert LB, Schnurr B, Herrera-Vizcaino C, Begic A, Thieringer F, Schwarz F, *et al.* 3D-printed patient individualised models vs cadaveric models in an undergraduate oral and maxillofacial surgery curriculum: comparison of student's perceptions. *Eur J Dent Educ*. 2020;24(4):799-806.
45. Linares-Espinós E, Hernández V, Domínguez-Escrig JL, Fernández-Pello S, Hevia V, Mayor J, *et al.* Methodology of a systematic review. *Actas Urol Esp*. 2018;42(8):499-506.
46. Donato H, Donato M. Stages for undertaking a systematic review. *Acta Med Port*. 2019;32(3):227-35.
47. Lasserson TJ, Thomas J, Higgins JPT. Starting a review. In: Higgins JPT, Thomas J, Chandler J, Cumpston M, Li T, Page MJ, Welch VA, editors. *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions*. Version 6.2. Cochrane; 2021. p.1-11.
48. Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG; PRISMA Group. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses. *PLoS Med*. 2009;6(7):e1000097.
49. McHugh ML. Interrater reliability: the kappa statistic. *Biochem Med (Zagreb)*. 2012;22(3):276-82.
50. Ouzzani M, Hammady H, Fedorowicz Z, Elmagarmid A. Rayyan—a web and mobile app for systematic reviews. *Syst Rev*. 2016;5(1):210.

- 51.** Tufanaru C, Munn Z, Aromataris E, Campbell J, Hopp L. Chapter 3: Systematic reviews of effectiveness. In: Aromataris E, Munn Z, editors. Joanna Briggs Institute Reviewer's Manual. The Joanna Briggs Institute; 2017. Available from: <https://reviewersmanual.joannabriggs.org/>
- 52.** Cantín M, Muñoz M, Olate S. Generation of 3D tooth models based on three-dimensional scanning to study the morphology of permanent teeth. *Int J Morphol.* 2015;33(2):782-7.
- 53.** Wang H, Xu H, Zhang J, Yu S, Wang M, Qiu J, *et al.* The effect of 3D-printed plastic teeth on scores in a tooth morphology course in a Chinese university. *BMC Med Educ.* 2020;20:469.
- 54.** Dzhondrova I, Liondev I, Galeva H, Bogdanov T, Uzunov T, Kirov D. Evaluating the effectiveness of 3D-printed models in tooth morphology training for students. *J Dent Educ.* 2026;0:1-7.
- 55.** Souza AO, Peruzzo DC, França FMG, Oliveira AMG, Kantovitz KR. Macromodelos odontológicos impressos em 3D como recurso complementar ao ensino em escultura dentária. *Rev ABENO.* 2018;18(4):58-63.
- 56.** Mahrous A, Elgreatly A, Qian F, Schneider GB. A comparison of pre-clinical instructional technologies: natural teeth, 3D models, 3D printing, and augmented reality. *J Dent Educ.* 2021;85(11):1795-801.
- 57.** Di Lorenzo I, del Hougne M, Krastl G, Schmitter M, Höhne C. 3D printed tooth for endodontic training in dental education. *Sci Rep.* 2025;15:20185.
- 58.** Ballester B, Pilliol V, Allaerd P, Jacquot B, Guivarc'h M. Evaluation of a new 3D-printed tooth model allowing preoperative ICDAS assessment and caries removal. *Eur J Dent Educ.* 2024;28(1):161-9.
- 59.** Bereza S, Carluccio D, Novak J, Khadembaschi D, Batstone M, Ivanovski S. Assessment of Different Technologies in the Fabrication of 3D Printed Tooth Models for Dental Education. *Eur J Dent Educ.* 2026;0:1-10.
- 60.** Romalee W, Suksudaj N, Doungkom P, Wang DH, Hsu ML, Panpisut P. Utilization of 3D evaluation for assessing selective caries removal practice in pre-clinical dental students: a pilot study. *BMC Med Educ.* 2024;24:289.