



**UNIVERSIDADE
FERNANDO
PESSOA**

IMPRESSÃO 3D NO ENSINO DA ENDODONTIA – REVISÃO INTEGRATIVA

[3D printing in endodontic education – Integrative review]

Dissertação de Mestrado

Mestrado Integrado em Medicina Dentária

Alberto Mannino

Orientador:

Doutor Duarte Antunes Guimarães

Junho 2025

IMPRESSÃO 3D NO ENSINO DA ENDODONTIA – REVISÃO INTEGRATIVA

[3D printing in endodontic education – Integrative review]

Dissertação de Mestrado

Mestrado Integrado em Medicina Dentária

Alberto Mannino

Orientador:

Doutor Duarte Antunes Guimarães

Junho 2025

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, o professor Doutor Duarte Nuno Guimarães, e aos estimados professores da UFP que colocaram à disposição as suas competências e seriedade, mostrando-me um caminho rumo à excelência pessoal e profissional.

Aos meus entes mais queridos. Aqueles que, mais do que todos os outros, apoiaram-me nesta jornada tão rica quanto entusiasmante, dedicando cada pensamento e o seu próprio esforço a este ambicioso projeto de realização profissional.

A Maria Grazia Di Palermo, minha mãe, por ser um modelo de coragem extraordinária, ela que com a sua grande sede de conhecimento abriu as portas a mundos novos e inexplorados. Desde sempre me impulsionou a ter fé e a acreditar em mim próprio.

A Antonio Mannino, o meu pai, que com o seu empenho diário sempre me mostrou a perseverança e dedicação de um homem justo e honesto, tornando-se um modelo de vida.

A Anastasia De Marco, a metade do meu coração, por estar sempre ao meu lado e por me dar o combustível necessário para cada jornada, um amor que permite superar os obstáculos mais impensáveis.

Ao meu irmão Vincenzo e à Nonna Angel pela força e doçura, pela visão de futuro e sabedoria. Obrigado.

Aos meus colegas mais queridos: Marco, Pietro, Rosario, Pedro, Francesca, Carla, Ivan e Giovanni, com quem partilhei alegrias e tristezas de cada dia nesta extraordinária aventura.

Aos amigos que levarei sempre no coração e a esta maravilhosa cidade sobre a qual tive o privilégio de caminhar durante os últimos cinco anos.

Imensamente grato a Deus.

Alberto Mannino

RESUMO

Tradicionalmente, para estudos *ex vivo* e cursos pré-clínicos, os dentes humanos extraídos têm sido a prática padrão e são considerados os melhores para simular o ambiente clínico, proporcionando uma boa compreensão da anatomia interna e permitindo que os alunos experimentem a sensação tátil de trabalhar com dentina. No entanto, os dentes humanos extraídos têm várias desvantagens, sendo que os dentes impressos em 3D oferecem possibilidades inesperadas para o desenvolvimento de novos modelos individuais. Desta forma, o objetivo desta revisão integrativa foi reunir evidências sobre dentes impressos em 3D no ensino da Endodontia. Para tal, foi realizada uma pesquisa bibliográfica em três bases de dados - PubMed, Scopus e Science Direct - pretendendo-se responder à seguinte questão: “O uso de dentes artificiais resulta em melhores resultados educacionais em comparação com dentes extraídos para alunos em treinamento de habilidades endodônticas?”. Foram definidos critérios PICO e, a fim de especificar o tipo de artigo para análise posterior, foram definidos critérios de elegibilidade. Da pesquisa e posterior aplicação destes critérios resultaram 8 estudos que foram incluídos. Verifica-se que os vários estudos apresentam amostras que vão desde 30 alunos até 145 alunos e apenas um estudo deles avaliou estudantes de pós-graduação, sendo que os restantes avaliaram estudantes na fase pré-clínica. Os resultados dos vários estudos mostraram que, na generalidade, os resultados do tratamento pré-clínico ou clínico dos estudantes não foram significativamente diferentes. Assim, dentes artificiais impressos em 3D podem ser utilizados para substituir dentes extraídos no treinamento pré-clínico. A impressão 3D de dentes naturais para fabricar modelos 3D proporcionará aos estudantes de medicina dentária uma experiência de aprendizagem tridimensional e oportunidades ilimitadas de prática pré-clínica. Contudo, verifica-se a existência de poucos estudos recentes a avaliar a utilização de impressão 3D no ensino da endodontia. Desta forma, futuramente é necessário o desenvolvimento de mais estudos que avaliem a percepção de estudantes na utilização de dentes artificiais.

Palavras-chave: “Dentes impressos em 3D”, “dentes artificiais”, “impressão 3D”, “Endodontia”, “treino endodôntico”, “treino pré-clínico”.

ABSTRACT

Traditionally, for ex vivo studies and preclinical courses, extracted human teeth have been the standard practice and are considered the best to simulate the clinical environment, providing a good understanding of the internal anatomy and allowing students to experience the tactile sensation of working with dentine. However, extracted human teeth have several disadvantages, and 3D printed teeth offer unexpected possibilities for the development of new individual models. Therefore, the aim of this integrative review was to gather evidence on 3D printed teeth in Endodontic education. To this end, a literature search was conducted in three databases - PubMed, Scopus and Science Direct - aiming to answer the following question: “Do the use of artificial teeth result in better educational outcomes compared to extracted teeth for students in endodontic skills training?”. PICO criteria were defined and, in order to specify the type of article for further analysis, eligibility criteria were defined. The search and subsequent application of these criteria resulted in 8 studies that were included. It can be seen that the various studies present samples ranging from 30 to 145 students and only one of them evaluated postgraduate students, while the others evaluated students in the preclinical phase. The results of the various studies showed that, in general, the results of the preclinical or clinical treatment of the students were not significantly different. Thus, 3D printed artificial teeth can be used to replace extracted teeth in preclinical training. 3D printing of natural teeth to manufacture 3D models will provide dental students with a three-dimensional learning experience and unlimited opportunities for preclinical practice. However, there are few recent studies evaluating the use of 3D printing in endodontic teaching. Therefore, in the future it is necessary to develop more studies that evaluate the perception of students in the use of artificial teeth.

Keywords: “3D printed teeth”, “artificial teeth”, “3D printing”, “Endodontics”, “endodontic training”, “pre-clinical training”.

ÍNDICE GERAL

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 2. DESENVOLVIMENTO..... | 5 |
| 2.1. Materiais e métodos..... | 5 |
| 2.1.1. Fontes de pesquisa..... | 5 |
| 2.1.2. Critérios de elegibilidade..... | 6 |
| 2.1.3. Recolha de dados..... | 6 |
| 2.2. Revisão de Literatura..... | 8 |
| 2.2.1. Impressão em 3D - Técnicas de impressão..... | 8 |
| 2.2.2. Materiais de impressão 3D..... | 9 |
| 2.2.2.1. Hidrogéis..... | 9 |
| 2.2.2.2. Resinas de fotopolímeros e materiais poliméricos termoplásticos..... | 9 |
| 2.2.2.3. Cerâmica..... | 10 |
| 2.2.2.4. Metais..... | 10 |
| 2.2.3. A utilização de impressão 3D no ensino da Endodontia..... | 10 |
| 3. RESULTADOS..... | 15 |
| 4. DISCUSSÃO..... | 19 |
| 5. CONCLUSÃO..... | 23 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 25 |

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fluxograma PRISMA para identificação, seleção e inclusão de artigos 7

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1. Estratégia de pesquisa utilizada em cada base de dados. | 5 |
| Tabela 2. Critérios de elegibilidade | 6 |
| Tabela 3. Utilização da estratégia PICO para definição dos elementos de pesquisa e formulação da questão de investigação. | 6 |
| Tabela 4. Características e principais resultados dos estudos incluídos. | 16 |

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS, SÍMBOLOS OU ACRÓNIMOS

| | |
|-----------------|---|
| 3D | Três Dimensões |
| ABS | Acrilonitrilo Butadieno Estireno |
| CAD | Desenho Assistido por Computador (do inglês Computer-Aided Design) |
| CAM | Fabricação Assistida por Computador (do inglês Computer-Aided Manufacturing) |
| CBCT | Tomografia Computorizada de Feixe Cónico (do inglês Cone Beam Computed Tomography) |
| CR | Canais Radiculares |
| DA | Dentes Artificiais |
| DLP | Processamento Digital de Luz |
| DN | Dentes Naturais |
| h | Hora |
| MESH | Sistema de Metadados Médicos (do inglês Medical Subject Headings) |
| micro-CT | Microtomografia (do inglês Micro-Computed Tomography) |
| PBF | Fusão em Leito de Pó |
| PE | Poliestireno |
| PEEK | Polieteretercetona |
| pH | Potencial de Hidrogénio |
| PICO | Paciente, Intervenção, Comparação, Desfecho (do inglês Patients, Intervention, Comparison, Outcome) |
| PLA | Ácido Poliláctico |
| PMMA | Plimetilmetacrilato |

| | |
|---------------|---|
| PP | Polipropileno |
| PRISMA | Principais itens para relatar Revisões sistemáticas e Meta-análises (do inglês Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) |
| RCT | Estudo Randomizado Controlado (do inglês Randomized Controlled Trials) |
| SCR | Sistema de Canais Radiculares |
| SLA | Estereolitografia |
| SLS | Sintetização Seletiva de Laser |
| TENC | Tratamento Endodôntico não Cirúrgico |

1. INTRODUÇÃO

As bactérias são a principal causa das patologias pulpares e periapicais, pelo que todos os procedimentos utilizados em Endodontia pretendem eliminar todo o tecido pulpar e o maior número possível de bactérias (Liang et al., 2018).

A Associação Americana de Endodontistas define a preparação do canal radicular (CR) como "Procedimentos envolvidos na limpeza e modelagem do sistema de canais radiculares (SCR) antes da obturação", distinguindo entre "preparação biomecânica" como o "uso de instrumentos rotatórios/alternativos e/ou manuais para expor, limpar, ampliar e moldar o espaço do canal pulpar, geralmente em conjunto com irrigantes" e "preparação químico-mecânica" como o "uso de produtos químicos para irrigação do canal radicular, desmineralização da dentina, dissolução do tecido pulpar e neutralização de produtos bacterianos e toxinas, usado em conjunto com a preparação biomecânica" (Eleazer et al., 2020).

Para um tratamento do SCR bem-sucedido, o conhecimento da anatomia do CR é um requisito básico. A anatomia geral do CR de um dente normal e outras variações anatómicas foram identificadas em muitos estudos morfológicos (Martins et al., 2017); no entanto, a sua anatomia pode variar amplamente em diferentes níveis da raiz.

O ensino do tratamento do SCR é um desafio durante a formação de um Médico Dentista. As diretrizes da Sociedade Europeia de Endodontologia afirmam que os alunos devem ser adequadamente treinados para realizar tratamento do SCR de boa qualidade (Hanafi et al., 2020). No entanto, um estudo recente afirmou que estudantes espanhóis de odontologia trataram casos clínicos simples em 100% das escolas, mas casos clínicos moderados apenas em 40%, e apenas 60% das escolas têm requisitos mínimos para o número de casos de tratamento de CR (Segura-Egea et al., 2021). Além disso, em outro estudo, uma alta proporção de estudantes de medicina dentária do último ano não estava confiante em realizar o tratamento endodôntico não cirúrgico (TENC) em dentes posteriores multirradiculares (Davey et al., 2015). Assim, na educação dentária, há necessidade de treinamento pré-clínico prático antes que o tratamento num paciente seja realizado pela primeira vez (Al-Sudani et al., 2017; Robberecht et al., 2017; Barakat et al., 2021).

Tradicionalmente, para estudos *ex vivo* e cursos pré-clínicos, os dentes humanos extraídos têm sido a prática padrão (Bitter et al., 2016; Decurcio et al., 2019; Hulsmann et al., 2022) e são considerados os melhores para simular o ambiente clínico, apesar da falta de evidências para apoiar essa afirmação (Choi et al., 2021), proporcionando uma boa compreensão da anatomia interna e permitindo que os alunos experimentem a sensação tátil de trabalhar com dentina (Gancedo-Caravia et al., 2020).

No entanto, os dentes humanos extraídos têm várias desvantagens, que estão sendo discutidas nos últimos anos: eles são difíceis de coletar, há considerações éticas, riscos potenciais de infecção cruzada e desvantagens de armazenamento e problemas de padronização (Al-Sudani et al., 2017; Hulsmann, 2022).

Dentes artificiais que reproduzem as características dos dentes naturais podem superar essas limitações. Nos últimos anos, diferentes modelos fabricados em fábrica foram introduzidos no mercado, que são realistas e padronizados. No entanto, os seus custos são altos, há uma seleção limitada de tipos de dentes, os prazos de entrega devem ser considerados com dependência de um fabricante e as diferenças entre o processo de fabricação e o material utilizado por cada marca comercial são muito diferentes (Reymus et al., 2019; Reymus et al., 2020; Hulsmann, 2022).

A impressão tridimensional é uma tecnologia em rápido desenvolvimento que ganhou ampla aceitação na Medicina Dentária e, com os custos em constante declínio e mais materiais disponíveis, os dentes impressos em 3D oferecem possibilidades inesperadas para o desenvolvimento de novos modelos individuais que ainda não estão disponíveis no mercado ou são muito caros para comprar em grandes quantidades (Kessler et al., 2020). No entanto, a principal crítica aos dentes impressos em 3D é a diferença de radiopacidade e dureza entre a resina e a dentina humana (Al-Sudani et al., 2017; Hulsmann, 2022).

Diversos estudos usam dentes impressos em 3D. No entanto, protocolos para a padronização dos estudos ainda precisam ser desenvolvidos, uma vez que existe uma grande variação metodológica entre esses estudos (Decurcio et al., 2019; Reymus et al., 2020; Hulsmann et al., 2022).

Outro problema com os dentes impressos em 3D são as diferentes e dispersas áreas da literatura, que precisam ser dominadas para entender todos os processos de impressão.

Assim, o objetivo desta revisão é reunir evidências sobre dentes impressos em 3D no ensino da Endodontia sobre os seguintes aspectos: (1) porque são vantajosos, apontando os problemas com dentes naturais que eles superam; (2) os problemas e desvantagens que apresentam.

.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. Materiais e métodos

2.1.1. Fontes de pesquisa

Para a elaboração desta revisão integrativa, foi realizada uma pesquisa bibliográfica em três bases de dados - *PubMed*, *Scopus* e *Science Direct* - com o objetivo de reunir evidências sobre dentes impressos em 3D no ensino da Endodontia.

Inicialmente, foram selecionadas estrategicamente as palavras-chave e os termos *Medical Subject Headings* (MESH), listados abaixo, que foram combinados utilizando os operadores booleanos “AND” e “OR”. As combinações utilizadas em cada fonte eletrônica estão listadas na Tabela 1.

“3D printed teeth”, “artificial teeth”, “3D printing”, “Endodontics”, “endodontic training”, “teaching”, “pre-clinical training”.

A metodologia desta revisão integrativa foi de encontro às *guidelines* PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) (Shamseer et al., 2015).

Tabela 1.

Estratégia de pesquisa utilizada em cada base de dados.

| Base de dados | Estratégia de pesquisa |
|----------------|---|
| PubMed | ((artificial teeth) OR (extracted teeth) OR (3D printed teeth)) AND ((pre-clinical training) OR (teaching) OR (endodontic training) OR (undergraduate student)) AND (3D printing) |
| Scopus | ((artificial teeth) OR (3D printed teeth)) AND ((pre-clinical training) OR (teaching) OR (endodontic training) OR (undergraduate student)) AND (3D printing) |
| Science Direct | ((artificial teeth) OR (extracted teeth) OR (3D printed teeth)) AND ((pre-clinical training) OR (teaching) OR (endodontic training) OR (undergraduate student)) AND (3D printing) |

2.1.2. Critérios de elegibilidade

Em segundo lugar, a fim de especificar o tipo de artigo para análise posterior, foram definidos critérios de elegibilidade - critérios de inclusão e de exclusão - (tabela 2).

Tabela 2.

Critérios de elegibilidade

| Critérios de inclusão | Critérios de exclusão |
|--|---|
| (1) Estudos que comparam dentes extraídos e dentes artificiais em treinamento de habilidades endodônticas; | (1) Estudos que avaliem apenas dentes artificiais ou dentes extraídos bem como canais radiculares simulados feitos de blocos de resina; |
| (2) Educação de alunos de graduação e pós-graduação; | (2) Revisões de literatura, relatos de caso, conferências e cartas ao editor |
| (3) Idioma português e inglês. | (3) Qualquer idioma além de português e inglês; |
| (4) Limite temporal: estudos publicados entre 2015 e 2025 | (4) Artigos cujo acesso não esteja disponível para leitura integral |

2.1.3. Recolha de dados

Com este trabalho pretende-se responder à seguinte questão: “O uso de dentes artificiais resulta em melhores resultados educacionais em comparação com dentes extraídos para alunos em treinamento de habilidades endodônticas?”.

Para a formulação desta questão foram considerados os critérios PICO (População; Intervenção, Comparação e *Outcome*) que podem ser consultados na Tabela 1.

Para a seleção dos artigos foram aplicados critérios de inclusão e exclusão.

Tabela 3.

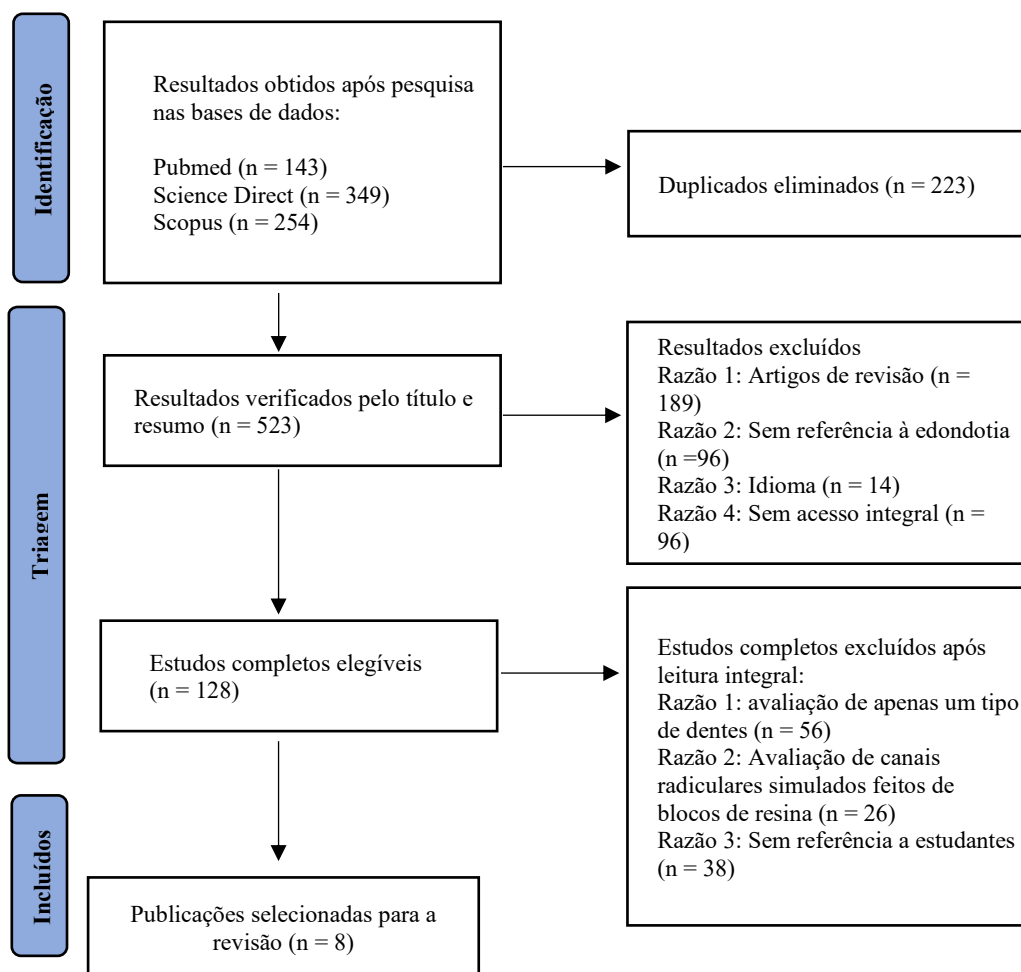
Utilização da estratégia PICO para definição dos elementos de pesquisa e formulação da questão de investigação.

| CRITÉRIO | DESCRIÇÃO |
|---------------------------|---|
| População (P) | Alunos em treinamento de habilidades endodônticas |
| Intervenção (E) | Utilização de dentes artificiais |
| Comparação (C) | Utilização de dentes extraídos |
| <i>Outcome</i> (O) | Resultados educacionais |

Após a definição dos critérios de inclusão e exclusão, os critérios de elegibilidade foram aplicados aos 746 artigos identificados na primeira etapa. De forma encadeada, foram retiradas as duplicadas para que, posteriormente, os demais artigos fossem selecionados com base no idioma e acesso. Após esta seleção, procedeu-se à leitura dos títulos dos artigos identificados para perceber quais os que cumpriam os critérios de inclusão. Mais concretamente, num penúltimo passo, os restantes artigos foram selecionados através da leitura do seu resumo. Os restantes artigos foram analisados na sua totalidade para perceber quais os que seriam incluídos e quais os que seriam excluídos. Após a análise dos textos integrais dos artigos previamente selecionados, a partir da base de dados de pesquisa bibliográfica utilizada na presente revisão, um total de 8 artigos enquadraram-se nos critérios de elegibilidade, conforme ilustrado na figura 1.

Figura 1.

Fluxograma PRISMA para identificação, seleção e inclusão de artigos



2.2. Revisão de Literatura

2.2.1. Impressão em 3D - Técnicas de impressão

A impressão 3D permite a concretização de um arquivo obtido através de sistemas de imagem e CAD num objeto físico através da deposição de camadas, usando sistemas CAM, sem a necessidade de moldes ou fresagem.

Pode ser obtida por diferentes técnicas, algumas das quais são jato de material e ligante (impressão 3D jato de tinta e aerossol), fusão em leito de pó, extrusão, laminação de folhas, fotopolimerização em cuba (estereolitografia - SLA - e processamento digital de luz - DLP) e bioimpressão 3D (Ligon et al., 2017; Ngo et al., 2018; Taormina et al., 2018). Cada uma delas confere características e precisão particulares ao objeto final obtido, sendo a impressão estereolitográfica a melhor, entre outras, devido à sua alta resolução e qualidade, embora a um custo muito alto. Este valor pode ser reduzido dependendo do material onde for impresso (Katkai et al., 2018; Ngo et al., 2018; Nikoyan et al., 2020)

Essas tecnologias também podem ser agrupadas de acordo com o tipo de processamento de material que envolvem. Algumas criam objetos a partir de materiais em pó depositando um agente de ligação nas camadas de pó, enquanto outras criam objetos sintetizando e derretendo seletivamente o leito de pó usando energia térmica de um laser ou feixe de elétrons. Outras usam materiais sólidos que são derretidos seletivamente em cada camada fatiada até que o objeto seja feito, e algumas outras usam materiais sólidos que envolvem a colagem de folhas de material juntas. Há também aquelas que usam material líquido depositado e curado localmente ou em cubas, onde o polímero líquido é curado seletivamente por polimerização ativada por luz. Cada uma dessas tecnologias confere certas características ao objeto final em relação à precisão. No campo odontológico, algumas das tecnologias de impressão 3D mais populares são a fotopolimerização em cuba e o jato de material.

As impressoras 3D moldam o objeto a partir de sua plataforma de construção e podem usar materiais diferentes dependendo da impressora.

Além das disparidades na metodologia, o material de impressão, a impressora e até mesmo os *scanners* usados para adquirir a imagem e o *software* preparatório garantirão diferenças sobre as características, qualidade e precisão do objeto final (Turkyilmaz & Wilkins, 2021).

2.2.2. Materiais de impressão 3D

Dependendo da técnica de impressão e da impressora que seja utilizada, são vários os materiais de impressão 3D disponíveis, tais como nanomateriais, ligas metálicas, resinas e cerâmica, sendo que a utilização destes materiais é condicionada pelo método de impressão eleito (Katkai et al., 2018; Ngo et al., 2018). Na área da Medicina Dentária, os materiais utilizados passam por hidrogéis, resinas de fotopolímeros e materiais termoplásticos, cerâmicas e metais (Pillai et al., 2021).

2.2.2.1. Hidrogéis

Os hidrogéis são muito comuns em impressão 3D a jato de tinta. São polímeros com bastante porosidade e boa absorção de água, o que ajuda a reter humidade. Por este facto, são idênticos à matriz extracelular, e apresentam biocompatibilidade. São caracteristicamente elásticos e viscosos, sendo esta fluidez e viscosidade essenciais para a sua utilização na impressão e criação de camadas. Podem ser expostos à luz ou feita a estimulação do pH e pode ser-lhes adicionado iões, sendo que a implementação destas técnicas torna melhores e mais viáveis as suas características químicas, biológicas e mecânicas. Estes polímeros podem derivar de compostos naturais ou ser produzidos de forma sintética, apresentando estes últimos melhores características mecânicas, e por isso são mais usados para impressão 3D (Pillai et al., 2021).

2.2.2.2. Resinas de fotopolímeros e materiais poliméricos termoplásticos

As resinas de polímeros são muito comuns na impressão 3D por SLA. Estas permitem a fabricação de pontes, coroas e implantes, necessitando de ser fotopolimerizadas, para se transformarem num objeto sólido, com a dureza e resistência necessárias. É por este facto que são denominadas resinas de fotopolímeros (Katkai et al., 2018).

Os polímeros termoplásticos são outro tipo de polímeros também muito utilizados na impressão 3D, sendo apresentados na forma de filamentos, que são aquecidos continuamente à medida que vão sendo depositados. Alguns destes polímeros são biocompatíveis, o que lhes permite permanecer na cavidade oral, como é o caso do ácido poliláctico (PLA), a acrilonitrila butadieno estireno (ABS), o polipropileno (PP) e o polietileno (PE). Mais recentemente, começaram a ser utilizados na impressão 3D

polímeros termoplásticos de temperaturas de fusão mais elevadas como é o caso do PEEK (polieteretercetona) e do PMMA (polimetilmetacrilato), verificando-se a evolução destes materiais poliméricos (Pillai et al., 2021).

2.2.2.3. Cerâmica

A cerâmica é bastante utilizada na impressão 3D em Medicina Dentária, particularmente para a confecção de próteses, podendo ser utilizada como material de impressão quer na SLA como na SLS (sintetização seletiva de LASER), onde o objeto se forma a partir de pó cerâmico ou de cerâmicas pré-sintetizadas. No entanto, a impressão por SLS através deste pó pode resultar em estruturas bastante porosas, com algumas alterações na sua superfície, pelo que a sua utilização é um pouco limitada (Pillai et al., 2021).

2.2.2.4. Metais

Os metais também são comuns na impressão 3D em Medicina Dentária, principalmente o titânio e o cromo-cobalto, pela técnica de fusão em leito de pó (PBF) (Ngo et al., 2018; Pillai et al., 2021) As ligas de níquel deixaram de ser utilizadas pelas suas reações alérgicas na cavidade oral. Estes materiais são principalmente utilizados para fabricar próteses, e apresentam bons resultados, por terem níveis favoráveis de força e ductilidade, especialmente as ligas de titânio. No entanto, apesar do titânio apresentar melhores resultados, o seu custo bastante elevado acaba por beneficiar a utilização das ligas de cromo-cobalto, que têm uma boa estabilidade e resistência a cargas, sendo as preferenciais na confecção de próteses (Pillai et al., 2021).

Levando em conta o que já foi abordado, para fazer um dente de treino, que é um objeto de pequenas dimensões e exige bastante precisão nos detalhes e dureza, parece que o melhor método de impressão é a SLA, e que o material mais adequado seria uma resina fotopolimerizável.

2.2.3. A utilização de impressão 3D no ensino da Endodontia

Os dentes naturais ainda são a prática padrão em estudos *ex vivo* e cursos pré-clínicos. As suas vantagens incluem dureza natural do tecido, morfologia, cor, textura e radiodensidade (Decurcio et al., 2019), mas também têm várias desvantagens:

(1) Difícil de recolher: Desafios crescentes na obtenção de dentes naturais adequados suficientes, provavelmente como resultado da melhoria nos padrões de saúde; É demorado e requer um grande número de dentes (dentes do siso, dentes com morfologia de CR de alta complexidade e com tratamento prévio do CR não são aceitáveis, e os dentes naturais devem apresentar desenvolvimento radicular completo, coroa intacta e raízes intactas) (Tchorz et al., 2015; Bitter et al., 2016; Al-Sudani et al., 2017; Decurcio et al., 2019; Gancedo-Caravia et al., 2020; Hulsmann, 2022).

(2) Considerações éticas: Os proprietários anteriores de dentes naturais, representando biomaterial, devem ter declarado o seu consentimento para o uso dos seus dentes (Holden & Dracopoulos, 2017; Hulsmann, 2022).

(3) Risco potencial de infecção cruzada e armazenamento: Os dentes naturais estão grosseiramente contaminados, difíceis de esterilizar e os procedimentos comuns de desinfecção, como o uso de hipoclorito de sódio e peróxido de hidrogénio, não são eficazes; Os dentes também podem ser danificados ou alterados pelos procedimentos de esterilização e armazenamento.

(4) Padronização: A dificuldade de criar grupos bem equilibrados em estudos *ex vivo* e uma avaliação igual dos alunos é uma consequência da intrincada anatomia do SCR (Reymus et al., 2019; De-Deus et al., 2020; Reymus et al., 2020; Orel et al., 2021). Como consequência, os estudos podem demonstrar o efeito da anatomia do canal e não da variável de interesse.

Os alunos normalmente comentam que a variabilidade anatómica não permite uma avaliação válida do seu desempenho individual (Tchorz et al., 2015).

O método mais comum utilizado em estudos *ex vivo* é criar amostras de dentes pareados de acordo com suas características anatómicas, como tipo de dente, comprimento da raiz, anatomia da raiz, grau e ângulo de curvatura e diâmetro do canal radicular, ou mesmo com dentes contralaterais pareados. Alguns estudos alocaram dentes do mesmo grupo por randomização com ou sem radiografias (Xu et al., 2016; De-Deus et al., 2020; Hulsmann, 2022).

Além disso, deve-se notar que outros parâmetros dentários devem ser levados em conta, que não podem ser suficientemente padronizados por esses métodos, como idade e etnia do doador e fatores ambientais. Esses fatores têm impacto nas propriedades mecânicas da dentina (Panfilov et al., 2016; Hulsmann, 2022).

A dentina é um tecido duro que ocupa a maior parte do dente humano, que possui uma estrutura hierárquica complicada. É composto por aproximadamente 45% de material mineral, 33% de material orgânico e 22% de água (Montoya et al., 2015; Panfilov et al., 2016).

A microestrutura da dentina é amplamente dominada por seus túbulos, que se estendem radialmente para fora da polpa em direção à junção dentina-esmalte. O lúmen de cada túbulo é circundado por um manguito de dentina peritubular, que consiste em uma região altamente mineralizada de cristais de apatita e uma pequena proporção de proteínas orgânicas. O tecido localizado entre os túbulos é denominado dentina intertubular e contém uma matriz de fibras colágenas reforçadas por apatita (Montoya et al., 2015).

Após a terceira década de vida, ocorre uma transição na microestrutura da dentina, na qual o material inorgânico aumenta e os túbulos tornam-se gradualmente preenchidos com ele, conseqüentemente diminuindo a densidade dos túbulos e o diâmetro dentinário. Essas modificações produzem variações nas suas propriedades mecânicas, como aumento do módulo de elasticidade e dureza e diminuição da resistência e resistência à trinca por fadiga (Montoya et al., 2015; Montoya et al., 2016; Panfilov et al., 2016). Está bem estabelecido que o envelhecimento da dentina começa na dentina radicular e continua no sentido coronal (Montoya et al., 2016). A taxa de oclusão dos túbulos dentinários é maior no ápice radicular e mais próxima da polpa em doadores mais velhos, quando comparada com doadores mais jovens, onde é maior perto do cimento (Yan et al., 2017).

Pelas razões listadas acima, uma padronização total é, com métodos reais, quase impossível de alcançar. Dentes impressos tridimensionais que reproduzem as características dos dentes naturais podem superar todas essas limitações (Al-Sudani et al., 2017; Reymus et al., 2020; Dobros et al., 2022) e também são adequados para praticar abertura de acesso, instrumentação de canal, controle de comprimento radiográfico e preenchimento de canal (Reymus et al., 2019; Dobros et al., 2022).

(1) Difícil de recolher: Não há problema em recolhê-los, pois a seleção de diferentes dentes não é limitada e eles estão disponíveis imediatamente em número suficiente (Al-Sudani et al., 2017; Kroger et al., 2017; Reymus et al., 2019; Dobros et al., 2022; Hulsmann, 2022).

(2) Considerações éticas: Somente dentes impressos em 3D gerados a partir de tomografia computadorizada de feixe cônico (CBCT) ou micro-CT de dentes naturais devem exigir

o consentimento do doador para o uso dos seus dentes (Holden & Dracopoulos, 2017; Dobros et al., 2022; Hulsmann, 2022); no entanto, o número de dentes naturais necessários seria diminuto.

(3) Risco potencial de infecção cruzada e armazenamento: Não apresentam risco, são mais higiênicos e têm melhor manuseio, pois não precisam ser armazenados em líquidos, proporcionando um ambiente de treinamento seguro (Al-Sudani et al., 2017; Kroger et al., 2017).

(4) Padronização: São realistas e padronizados, portanto, o mesmo nível de dificuldade é garantido para todos os alunos e, conseqüentemente, serão pontuados de forma justa, pois isso possibilita a definição e padronização de critérios específicos de classificação (Gancedo-Caravia et al., 2020; Lugassy et al., 2021). Essa padronização permite que alunos e instrutores se concentrem em aprender e ensinar os procedimentos clínicos, em vez de lidar com a variabilidade morfológica dos dentes naturais (Decurcio et al., 2019). Além disso, em estudos *ex vivo*, essa padronização morfológica tem um grande impacto na credibilidade dos resultados (De-Deus et al., 2020; Xu et al., 2021).

Os dentes impressos tridimensionais apresentam outras vantagens nos cursos pré-clínicos, como apresentar dificuldade na anatomia do CR de forma progressiva; os alunos podem praticar os procedimentos quantas vezes quiserem e até comparar diferentes protocolos, o que também vale para estudos *ex vivo* (Al-Sudani et al., 2017). Parece lógico que técnicas bem abordadas no curso pré-clínico sejam realizadas com mais facilidade e causem menos estresse entre os alunos ao tratar pacientes pela primeira vez (Hanafi et al., 2020).

3. RESULTADOS

Após a aplicação dos critérios de elegibilidade foram então obtidos 8 estudos (Tchorz et al., 2015; Bitter et al., 2016; Al-Sudani & Basudan, 2017; Peters et al., 2021; Kolling et al., 2022; Delfosse et al., 2023; Fakhr & Nagy, 2023; Sonkaya & Kürklü, 2024), dos quais foi feita a sua análise (Tabela 3).

Verifica-se que os vários estudos são bastante heterogêneos a nível amostral, com amostras que vão desde 30 alunos (Fakhr & Nagy, 2023) até 145 alunos (Peter set al., 2021). Apenas um estudo (Fakhr & Nagy, 2023) avaliou estudantes de pós-graduação, sendo que os restantes avaliaram estudantes na fase pré-clínica.

A maioria dos resultados dos estudos foi obtida pela aplicação de questionários sendo que em apenas três deles foram avaliadas radiografias para a avaliação e obtenção dos resultados dos estudos (Tchorz et al., 2015; Bitter et al., 2016; Peters et al., 2021).

Na maioria dos estudos os estudantes realizaram o procedimento tanto em dentes impressos como extraídos (Al-Sudani & Basudan, 2017; Kolling et al., 2022; Delfosse et al., 2023; Fakhr & Nagy, 2023; Sonkaya & Kürklü, 2024) permitindo dessa forma avaliar a percepção e satisfação dos estudantes em relação a ambos os tipos de dentes. Nos outros três estudos estudantes diferentes avaliaram tipos diferentes de dentes, o que de certa forma pode levar a interpretações e avaliações diferentes caso fosse realizado pelos mesmos estudantes.

Tabela 4.*Características e principais resultados dos estudos incluídos.*

| Autor | Objetivo | Amostra | Grupos de Estudo | Avaliação dos Resultados | Resultados |
|---------------------------------------|--|-----------------------------|--|--|---|
| Tchorz et al (2015) | Avaliar se os dentes artificiais podem substituir os dentes extraídos no treinamento endodôntico pré-clínico e se essa abordagem influencia o resultado do tratamento em pacientes | 99 estudantes pré-clínicos | Grupo teste: Dentes artificiais impressos Grupo controle: Dentes extraídos | Radiografias feitas durante o tratamento de canal radicular | No curso pré-clínico, os tratamentos de canal radicular realizados pelos alunos do grupo de teste foram mais frequentemente classificados como aceitáveis e um maior número de erros iatrogênicos foi observado no grupo controle. Quando o tratamento do canal radicular foram realizados em pacientes pela primeira vez, não foi observada diferença significativa entre os grupos em termos de qualidade técnica radiográfica das obturações radiculares. |
| Bitter et al (2016) | Comparar o treinamento endodôntico pré-clínico apenas em dentes artificiais (DA) versus o treinamento em dentes naturais (DN) | 43 alunos pré-clínicos | Grupo teste: Dentes artificiais Grupo controle: Dentes naturais | A avaliação foi realizada durante o exame prático estruturado objetivo (13 itens) e posteriormente em radiografias | O desempenho entre os grupos de treinamento não diferiu significativamente nos DN ($P = 0,761$) ou DA ($P = 0,278$) |
| Al-Sudani & Basudan (2017) | Comparar dentes impressos com dentes humanos extraídos, na perspectiva dos alunos, durante um curso de graduação em endodontia pré-clínica | 102 estudantes pré-clínicos | Todos os participantes realizaram obturação num dente extraído e num dente artificial | Questionário para avaliar e percepção dos alunos | Os participantes expressaram que todos os procedimentos, exceto a obturação, eram mais difíceis de realizar em dentes artificiais do que em dentes naturais, |
| Peters et al (2021) | Avaliar a melhoria das habilidades entre estudantes de medicina dentária pré-clínica que praticaram obturação do canal radicular num modelo dentário impresso em 3D | 145 Estudantes pré-clínicos | Grupo teste: Dentes impressos em 3D + Dentes extraídos Grupo controle: Dentes extraídos | A qualidade da obturação técnica foi avaliada por dois avaliadores cegos. Utilizadas radiografias para avaliar o comprimento e a densidade da obturação. | Não foram encontradas diferenças significativas nas habilidades de obturação entre o grupo teste e o grupo controle ($P > 0,05$). |

| Autor | Objetivo | Amostra | Grupos de Estudo | Avaliação dos Resultados | Resultados |
|------------------------------------|--|-----------------------------------|---|--|---|
| Kolling et al (2022) | Utilizar a tecnologia de impressão tridimensional para criar um novo modelo e comparar sua adequação para fins de treinamento com blocos de resina e dentes extraídos | 88 alunos pré-clínicos | Todos os participantes realizaram obturação num dente extraído e num dente do modelo impresso em 3D | Questionário para avaliar a percepção dos alunos | Os dentes impressos tridimensionalmente receberam classificações significativamente mais baixas em relação ao entusiasmo, aprendizagem de habilidades motoras finas e à consciência espacial, quando comparados aos dentes humanos ($p \leq 0,001$). No entanto, os dentes impressos em 3D foram apreciados por diversos benefícios, como limpeza, disponibilidade e padronização de oportunidades de treinamento com configurações complexas de canal radicular. |
| Delfosse et al (2023) | Avaliar o efeito de uma sessão prática baseada em simulação de tratamento de canal radicular (RCT) usando molares decíduos impressos em 3D na autoconfiança de estudantes de medicina dentária | 100 estudantes de 4ºano | Todos os participantes realizaram a simulação e o RCT | autoconfiança global do aluno em realizar um RCT numa criança saudável e cooperativa de 4 a 5 anos foi avaliada 2 h antes, 1 mês depois e 11 meses após a sessão de treinamento de simulação | A autoconfiança global dos alunos em realizar um RCT aumentou significativamente imediatamente após a sessão prática e permaneceu estável nos onze meses seguintes. |
| Fakhr & Nagy (2023) | Melhorar o manejo endodôntico de dentes com morfologia pulpar complexa e anomalias dentárias | 30 estudantes de pós-graduação | Todos os participantes realizaram o procedimento nos dois tipos de dentes | Questionário para avaliação da satisfação | Os modelos de dentes naturais foram significativamente melhores do que os modelos impressos durante a preparação do acesso ($p = 0,003$). Além disso, os modelos impressos foram significativamente melhores do que os modelos de dentes naturais durante a modelagem, obturação e como ferramenta educacional ($p < 0,001$, $p < 0,001$ e $p < 0,001$, respetivamente). |
| Sonkaya & Kürklü (2024) | Investigar as diferenças de aprendizagem quando um dente impresso em 3D foi utilizado em comparação com o modelo padrão e os dentes extraídos | 55 alunos em educação pré-clínica | Todos os participantes realizaram a aprendizagem com os diferentes tipos de dentes | Questionário | Os alunos aprovaram o modelo de dente impresso para a prática do conhecimento teórico e o modelo recebeu classificações entre bom e excelente. |

4. DISCUSSÃO

Atualmente existem dezenas de técnicas de impressão 3D, que diferem de acordo com os materiais que processam e o método de processamento. Estes métodos processam materiais, como resinas, polímeros, metais e cerâmicas através da fotopolimerização, sinterização ou fundição (Rajkumari et al., 2018; Lin et al., 2019; Khorsandi et al., 2021; Alammar et al., 2022).

Esta revisão integrativa teve como objetivo investigar as evidências da utilização de dentes impressos em 3D bem como potenciais diferenças nos resultados educacionais do uso de dentes artificiais em comparação com dentes extraídos para treinamento pré-clínico endodôntico.

Os resultados dos vários estudos mostraram que, na generalidade, os resultados do tratamento pré-clínico ou clínico dos estudantes não foram significativamente diferentes. Assim, dentes artificiais impressos em 3D podem ser utilizados para substituir dentes extraídos no treinamento pré-clínico.

Embora o desempenho dos alunos possa ser considerado geralmente melhor usando dentes artificiais do que dentes extraídos, os alunos treinados apenas com dentes artificiais foram preparados de forma semelhante para o tratamento do CR clínico subsequente (Tchorz et al. 2015, Bitter et al. 2016). No entanto, a maioria dos alunos preferiu operar dentes extraídos em vez de dentes artificiais devido às características físicas insuficientes dos dentes artificiais testados (Al-Sudani & Basudan 2017).

O uso de dentes artificiais não afeta negativamente as habilidades dos alunos e os resultados técnicos de tratamento do CR. Os alunos que utilizaram dentes extraídos no curso pré-clínico encontraram vários problemas, como a necessidade de dentes extraídos adicionais devido a erros iatrogênicos e morfologia do CR bastante complexa, que foram evitados quando os dentes artificiais foram usados. A avaliação subsequente das radiografias revelou que os alunos do grupo de dentes artificiais obtiveram melhores resultados no curso pré-clínico, mas ambos os grupos obtiveram resultados semelhantes no cenário clínico (Tchorz et al. 2015).

Da mesma forma, Bitter et al. (2016) realizaram um ensaio clínico randomizado comparando os resultados do treinamento endodôntico pré-clínico com base num exame

prático objetivo estruturado e avaliação radiográfica por examinadores cegos independentes, e não foram encontradas diferenças significativas entre os resultados técnicos dos grupos.

Também Kolling et al. (2020) exploraram os benefícios educacionais e a aceitação de modelos dentários impressos em 3D pelos alunos para um curso pré-clínico. A experiência de trabalho dos alunos usando o modelo impresso em 3D, dentes extraídos e blocos de resina foi avaliada através de um questionário. Os alunos não favoreceram o manuseio dos dentes impressos em 3D em comparação com os dentes extraídos, mas reconheceram os benefícios dos dentes impressos em 3D em comparação com os blocos de resina. Os dentes impressos em 3D oferecem padronização do treinamento endodôntico e facilitam o treinamento de morfologias difíceis do canal radicular.

Já Delfosse et al. (2023) investigaram a experiência dos alunos em relação ao treinamento pré-clínico de tratamento do CR em dentes decíduos impressos em 3D e o seu impacto no seu nível de confiança. Cada aluno realizou dois tratamentos, usando instrumentos manuais e rotatórios, sendo que a sessão prática utilizando os dentes impressos em 3D teve um efeito positivo na confiança do aluno aquando da realização do tratamento.

Peters et al. (2021) também investigaram se as habilidades de obturação foram melhoradas pelos alunos através da obturação de réplicas dentárias impressas em 3D durante as suas atividades pré-clínicas. A qualidade da obturação foi avaliada de forma independente e classificada por dois avaliadores separados, sendo que não foram encontradas grandes diferenças ou melhorias nas habilidades de obturação entre os dois grupos.

Já o estudo de Fakhr & Nagy (2023) teve como objetivo avaliar o feedback dos estudantes de pós-graduação em Medicina Dentária após a realização de tratamento do CR utilizando os novos modelos de dentes 3D fabricados. Os estudantes de pós-graduação foram selecionados especificamente por terem um nível aceitável de competências básicas em modalidades de TENC, ao contrário dos estudantes de licenciatura que ainda são um pouco inexperientes. Por outro lado, os candidatos mais experientes podem ter competências mais avançadas para lidar com dentes naturais sem utilizar modelos de treino em resina.

Casos clínicos difíceis de serem tratados endodonticamente, como dentes invaginados, fusões e geminações de dentes, dilacerações radiculares graves e calcificações de canal,

reabsorções radiculares cervicais externas e dentes permanentes imaturos com ápices abertos, podem ser tratados primeiro nos modelos 3D extraoralmente antes de tentar operar o paciente.

O uso de dentes impressos em 3D internamente no treinamento pré-clínico é uma maneira simples de superar algumas das desvantagens associadas aos dentes extraídos, como disponibilidade limitada, variabilidade, controlo de infecção cruzada e restrições éticas (Meglioli et al., 2023). Também de acordo com o estudo de Meglioli et al (2023), os alunos afirmaram que os dentes impressos em 3D tinham uma morfologia pulpar correta e referências anatómicas identificáveis para uma abertura de cavidade de acesso convencional, mas, semelhante ao que foi relatado em outros estudos (Al-Sudani & Basudan 2017; Kolling et al., 2022), a consistência do material não era dura o suficiente em comparação com a dentina de dentes naturais.

Os vários estudos incluídos trataram da utilização de modelos 3D para fins de ensino. Os resultados de Fakhr & Nagy (2023) estão de acordo com a maioria dos estudos anteriores, os quais concluíram que os modelos de dentes impressos em 3D expandiram as oportunidades de aprendizagem dos alunos e são uma opção altamente viável para fins de formação pré-clínica, de forma a melhorar a sua prática clínica e futura no consultório dentário.

Também um estudo francês pretendeu compreender o que os alunos sentem e esperam da formação teórica e prática sobre cavidade de acesso endodôntico. Dentro da nuvem de palavras reunida após a análise das respostas dos alunos, as palavras "medo", "perfuração", "cavidade" e "eixo" foram destacadas e entre as 3 novas ferramentas educacionais propostas aos alunos, a maioria foi a favor de modelos realistas de dentes com uma cavidade de acesso endodôntico ideal. Este estudo demonstrou que os alunos procuram recursos inovadores, além dos recursos tradicionais, que facilitem a visualização do SCR e os ajudem a se sentirem mais confortáveis e facilitem a aprendizagem (Picart et al., 2022)

Uma das limitações desta revisão integrativa é sem dúvida a falta de artigos que avaliem as perceções dos estudantes ao nível da utilização dos dentes impressos na prática clínica endodôntica. No futuro, mais estudos originais, incluindo ensaios clínicos transversais e randomizados, são necessários visando o uso de dentes impressos em 3D em Endodontia.

Além disso, estudos que se concentram em métodos e materiais de impressão 3D também serão reconhecidos.

5. CONCLUSÃO

Através desta revisão integrativa verificou-se que a impressão 3D de dentes naturais para fabricar modelos 3D proporcionará aos estudantes de Medicina Dentária uma experiência de aprendizagem tridimensional e oportunidades ilimitadas de prática pré-clínica.

Além disso, os modelos 3D podem fornecer uma fase de tratamento experimental antes de tentar realmente operar o paciente em casos clínicos desafiantes.

Contudo, verifica-se a existência de poucos estudos recentes a avaliar a utilização de impressão 3D no ensino da Endodontia. Desta forma, futuramente é necessário o desenvolvimento de mais estudos que avaliem a percepção de estudantes na utilização de dentes artificiais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Al-Sudani, D. I., & Basudan, S. O. (2017). Students' perceptions of pre-clinical endodontic training with artificial teeth compared to extracted human teeth. *European Journal of Dental Education*, 21(4), e72–e75. <https://doi.org/10.1111/eje.12223>
- Barakat, R. M., Matoug-Elwerfelli, M., Almohareb, R. A., & Balto, H. A. (2021). Influence of Preclinical Training on Root Canal Treatment Technical Quality and Confidence Level of Undergraduate Dental Students. *International Journal of Dentistry*, 2021, 9920280. <https://doi.org/10.1155/2021/9920280>
- Bitter, K., Gruner, D., Wolf, O., & Schwendicke, F. (2016). Artificial Versus Natural Teeth for Preclinical Endodontic Training: A Randomized Controlled Trial. *Journal of Endodontics*, 42(8), 1212–1217. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2016.05.020>
- Choi, M. J., Kim, M. A., Choi, Y., Neelakantan, P., Yu, M. K., & Min, K. S. (2021). A novel three-dimensionally printed model to assess biofilm removal by ultrasonically activated irrigation. *International Endodontic Journal*, 54(10), 1871–1877. <https://doi.org/10.1111/iej.13579>
- Davey, J., Bryant, S. T., & Dummer, P. M. (2015). The confidence of undergraduate dental students when performing root canal treatment and their perception of the quality of endodontic education. *European Journal of Dental Education*, 19(4), 229–234. <https://doi.org/10.1111/eje.12130>
- Decurcio, D. A., Lim, E., Chaves, G. S., Nagendrababu, V., Estrela, C., & Rossi-Fedele, G. (2019). Pre-clinical endodontic education outcomes between artificial versus extracted natural teeth: a systematic review. *International Endodontic Journal*, 52(8), 1153–1161. <https://doi.org/10.1111/iej.13116>
- De-Deus, G., Simões-Carvalho, M., Belladonna, F. G., Versiani, M. A., Silva, E. J. N. L., Cavalcante, D. M., Souza, E. M., Johnsen, G. F., Haugen, H. J., & Paciornik, S. (2020). Creation of well-balanced experimental groups for comparative endodontic laboratory studies: a new proposal based on micro-CT and in silico methods. *International Endodontic Journal*, 53(7), 974–985. <https://doi.org/10.1111/iej.13288>
- Delfosse, C., Marquillier, T., Ndoye, S., Cousson, P. Y., Hennequin, M., & Catteau, C. (2023). Effect on undergraduate student self-confidence in using 3D printed primary molars for root canal treatment simulation training. *European Archives of Paediatric Dentistry*, 24(1), 105–116. <https://doi.org/10.1007/s40368-022-00764-0>
- Dobroś, K., Hajto-Bryk, J., & Zarzecka, J. (2022). Application of 3D-printed teeth models in teaching dentistry students: A scoping review. *European Journal of Dental Education*, 27(1), 126–134. <https://doi.org/10.1111/eje.12784>
- Eleazer, P., Glickman, G., McClanahan, S., Webb, T., & Jusrman, B. (2020). *Glossary of endodontic terms*. Chicago: Editorial AAE.
- Fakhr, M., & Nagy, M. M. (2023). Three-Dimensional tooth models for better teaching and treatment outcomes. *European Journal of Dental Education*, 27(3), 695–699. <https://doi.org/10.1111/eje.12857>

- Gancedo-Caravia, L., Bascones, J., García-Barbero, E., & Arias, A. (2020). Suitability of different tooth replicas for endodontic training: perceptions and detection of common errors in the performance of postgraduate students. *International Endodontic Journal*, *53*(4), 562–572. <https://doi.org/10.1111/iej.13251>
- Hanafi, A., Donnermeyer, D., Schäfer, E., & Bürklein, S. (2020). Perception of a modular 3D print model in undergraduate endodontic education. *International Endodontic Journal*, *53*(7), 1007–1016. <https://doi.org/10.1111/iej.13299>
- Holden, A., & Dracopoulos, S. A. (2017). Owning the tooth: exploring the ethical and legal issues relating to the use of extracted human teeth in dental education in Australia. *Australian Dental Journal*, *62*(2), 146–151. <https://doi.org/10.1111/adj.12493>
- Hülsmann M. (2022). A critical appraisal of research methods and experimental models for studies on root canal preparation. *International Endodontic Journal*, *55 Suppl 1*, 95–118. <https://doi.org/10.1111/iej.13665>
- Katkar, R. A., Taft, R. M., & Grant, G. T. (2018). 3D Volume Rendering and 3D Printing (Additive Manufacturing). *Dental clinics of North America*, *62*(3), 393–402. <https://doi.org/10.1016/j.cden.2018.03.003>
- Kolling, M., Backhaus, J., Hofmann, N., Keß, S., Krastl, G., Soliman, S., & König, S. (2022). Students' perception of three-dimensionally printed teeth in endodontic training. *European Journal of Dental Education*, *26*(4), 653–661. <https://doi.org/10.1111/eje.12743>
- Kröger, E., Dekiff, M., & Dirksen, D. (2017). 3D printed simulation models based on real patient situations for hands-on practice. *European Journal of Dental Education*, *21*(4), e119–e125. <https://doi.org/10.1111/eje.12229>
- Liang, X., Liao, W., Cai, H., Jiang, S., & Chen, S. (2018). 3D-Printed Artificial Teeth: Accuracy and Application in Root Canal Therapy. *Journal of Biomedical Nanotechnology*, *14*(8), 1477–1485. <https://doi.org/10.1166/jbn.2018.2599>
- Ligon, S. C., Liska, R., Stampfl, J., Gurr, M., & Mülhaupt, R. (2017). Polymers for 3D Printing and Customized Additive Manufacturing. *Chemical Reviews*, *117*(15), 10212–10290. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.7b00074>
- Lugassy, D., Awad, M., Shely, A., Davidovitch, M., Pilo, R., & Brosh, T. (2021). 3D-Printed teeth with multicolored layers as a tool for evaluating cavity preparation by dental students. *Applied Sciences*, *11*(14), 6406.
- Martins, J. N. R., Marques, D., Mata, A., & Caramês, J. (2017). Root and root canal morphology of the permanent dentition in a Caucasian population: a cone-beam computed tomography study. *International Endodontic Journal*, *50*(11), 1013–1026. <https://doi.org/10.1111/iej.12724>
- Meglioli, M., Mergoni, G., Artioli, F., Ghezzi, B., Manfredi, M., Macaluso, G. M., & Lumetti, S. (2023). A Novel Self-Assessment Method for Training Access Cavity on 3D Printed Endodontic Models. *Dentistry Journal*, *11*(6), 152. <https://doi.org/10.3390/dj11060152>
- Montoya, C., Arango-Santander, S., Peláez-Vargas, A., Arola, D., & Ossa, E. A. (2015). Effect of aging on the microstructure, hardness and chemical composition of dentin. *Archives of Oral Biology*, *60*(12), 1811–1820. <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2015.10.002>

- Montoya, C., Arola, D., & Ossa, E. A. (2016). Importance of tubule density to the fracture toughness of dentin. *Archives of Oral Biology*, *67*, 9–14. <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2016.03.003>
- Ngo, T., Kashani, A., Imbalzano, G., Nguyen, K., & Hui, D. (2018). Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges. *Composites Part B-Engineering*, *143*, 172–196. <https://doi.org/10.1016/J.COMPOSITESB.2018.02.012>
- Nikoyan, L., & Patel, R. (2020). Intraoral Scanner, Three-Dimensional Imaging, and Three-Dimensional Printing in the Dental Office. *Dental clinics of North America*, *64*(2), 365–378. <https://doi.org/10.1016/j.cden.2019.12.004>
- Orel, L., Velea-Barta, O. A., Nica, L. M., Boscornea-Puşcu, A. S., Horhat, R. M., Talpos-Niculescu, R. M., Sinescu, C., Duma, V. F., Vulcanescu, D. D., Topala, F., & Negrutiu, M. L. (2021). Evaluation of the Shaping Ability of Three Thermally Treated Nickel-Titanium Endodontic Instruments on Standardized 3D-printed Dental Replicas Using Cone-Beam Computed Tomography. *Medicina (Kaunas, Lithuania)*, *57*(9), 901. <https://doi.org/10.3390/medicina57090901>
- Panfilov, P., Zaytsev, D., Antonova, O. V., Alpatova, V., & Kiselnikova, L. P. (2016). The Difference of Structural State and Deformation Behavior between Teenage and Mature Human Dentin. *International Journal of Biomaterials*, *2016*, 6073051. <https://doi.org/10.1155/2016/6073051>
- Peters, O., Scott, R., Arias, A., Lim, E., Paque, F., Almassi, S., & Hejlawy, S. (2021). Evaluation of Dental Students' Skills Acquisition in Endodontics Using a 3D Printed Tooth Model. *European Endodontic Journal*, *6*(3), 290–294. <https://doi.org/10.14744/ej.2021.07088>
- Picart, G., Pouhaër, M., Dautel, A., Pérard, M., & Le Clerc, J. (2022). Dental students' observations about teaching of endodontic access cavities in a French dental school. *European Journal of Dental Education*, *26*(3), 499–505. <https://doi.org/10.1111/eje.12726>
- Pillai, S., Upadhyay, A., Khayambashi, P., Farooq, I., Sabri, H., Tarar, M., Lee, K. T., Harb, I., Zhou, S., Wang, Y., & Tran, S. D. (2021). Dental 3D-Printing: Transferring Art from the Laboratories to the Clinics. *Polymers*, *13*(1), 157. <https://doi.org/10.3390/polym13010157>
- Reymus, M., Fotiadou, C., Kessler, A., Heck, K., Hickel, R., & Diegritz, C. (2019). 3D printed replicas for endodontic education. *International Endodontic Journal*, *52*(1), 123–130. <https://doi.org/10.1111/iej.12964>
- Reymus, M., Stawarczyk, B., Winkler, A., Ludwig, J., Kess, S., Krastl, G., & Krug, R. (2020). A critical evaluation of the material properties and clinical suitability of in-house printed and commercial tooth replicas for endodontic training. *International Endodontic Journal*, *53*(10), 1446–1454. <https://doi.org/10.1111/iej.13361>
- Robberecht, L., Chai, F., Dehurtevent, M., Marchandise, P., Bécavin, T., Hornez, J. C., & Deveaux, E. (2017). A novel anatomical ceramic root canal simulator for endodontic training. *European Journal of Dental Education*, *21*(4), e1–e6. <https://doi.org/10.1111/eje.12207>

- Segura-Egea, J. J., Zarza-Rebollo, A., Jiménez-Sánchez, M. C., Cabanillas-Balsera, D., Areal-Quecuty, V., & Martín-González, J. (2021). Evaluation of undergraduate Endodontic teaching in dental schools within Spain. *International Endodontic Journal*, 54(3), 454–463. <https://doi.org/10.1111/iej.13430>
- Sonkaya, E., & Kürklü, Z. G. B. (2024). Comparisons of student comprehension of 3D-printed, standard model, and extracted teeth in hands-on sessions. *European Journal of Dental Education*, 28(2), 452–460. <https://doi.org/10.1111/eje.12969>
- Tchorz, J. P., Brandl, M., Ganter, P. A., Karygianni, L., Polydorou, O., Vach, K., Hellwig, E., & Altenburger, M. J. (2015). Pre-clinical endodontic training with artificial instead of extracted human teeth: does the type of exercise have an influence on clinical endodontic outcomes. *International Endodontic Journal*, 48(9), 888–893. <https://doi.org/10.1111/iej.12385>
- Tsai, S. T., Ho, Y. C., Tsai, C. L., Yang, S. F., Lai, Y. L., & Lee, S. Y. (2022). Evaluation of students' self-assessment performance in preclinical endodontic training by means of rubrics and a 3D printed model. *Journal of the Formosan Medical Association*, 121(11), 2203–2210. <https://doi.org/10.1016/j.jfma.2022.03.021>
- Turkyilmaz, I., & Wilkins, G. N. (2021). 3D printing in dentistry - Exploring the new horizons. *Journal of Dental Sciences*, 16(3), 1037–1038. <https://doi.org/10.1016/j.jds.2021.04.004>
- Xu, J., Shao, M. Y., Pan, H. Y., Lei, L., Liu, T., Cheng, L., Hu, T., & Dummer, P. M. (2016). A proposal for using contralateral teeth to provide well-balanced experimental groups for endodontic studies. *International Endodontic Journal*, 49(10), 1001–1008. <https://doi.org/10.1111/iej.12553>
- Xu, F., Zhang, Y., Gu, Y., Ping, Y., Zhou, R., & Wang, J. (2021). Shaping ability of four single-file systems in the instrumentation of second mesiobuccal canals of three-dimensional printed maxillary first molars. *Annals of Translational Medicine*, 9(18), 1425. <https://doi.org/10.21037/atm-21-3855>
- Yan, W., Montoya, C., Øilo, M., Ossa, A., Paranjpe, A., Zhang, H., & Arola, D. (2017). Reduction in Fracture Resistance of the Root with Aging. *Journal of Endodontics*, 43(9), 1494–1498. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2017.04.020>