

Diogo Rodrigo Pinto Paixão

Aplicação da Impressão 3D na Medicina Dentária - Revisão Narrativa

Universidade Fernando Pessoa

Faculdade de Ciências da Saúde

Porto, 2022

Diogo Rodrigo Pinto Paixão

Aplicação da Impressão 3D na Medicina Dentária - Revisão narrativa

Universidade Fernando Pessoa

Faculdade de Ciências da Saúde

Porto, 2022

Diogo Rodrigo Pinto Paixão

Aplicação da Impressão 3D na Medicina Dentária - Revisão narrativa

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências da Saúde da Universidade Fernando Pessoa
como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Mestre em Medicina Dentária

Resumo

Na Medicina Dentária, informações específicas e personalizadas sobre o paciente são fundamentais tanto no diagnóstico quanto no tratamento.

Nesta nova era digital, a integração do conhecimento da Medicina, da Engenharia e Ciência tornaram possível a existência de progressos tecnológicos desde scanners 3D, câmaras digitais, imagens radiológicas e softwares CAD-CAM que contribuíram para o desenvolvimento de diferentes técnicas de impressão 3D.

A introdução da tecnologia 3D no consultório agiliza a atividade do médico dentista, com melhoria do fluxo de trabalho no consultório, na comunicação com os laboratórios e pacientes e com possibilidade de planejamento e simulação do tratamento com consequente previsão dos resultados.

Para a concretização desta revisão narrativa foi elaborada uma pesquisa bibliográfica nas bases de dados eletrônicas PubMed, B-on e Web of Science, com o objetivo de rever e descrever as técnicas de impressão 3D, os materiais utilizados e as suas principais aplicações nas diferentes áreas da Medicina Dentária.

Palavras-Chave: Additive Manufacturing; Printing, Three-Dimensional; Imaging, Three-Dimensional; Applications; Dentistry / methods e Dentistry.

Abstract

In Dentistry, specific and personalized information about the patient is fundamental in both diagnosis and treatment.

In this new digital age, the integration of knowledge from Medicine, Engineering and Science has made possible the existence of technological advances from 3D scanners, digital cameras, radiological images, and CAD-CAM software that have contributed to the development of different 3D printing techniques.

The introduction of 3D technology in the office improves the dentist's activity, improving the workflow in the office, the communication with laboratories and patients and with the possibility of planning and simulating the treatment with consequent prediction of the results.

In order to carry out this narrative review, a bibliographic search was elaborated in the electronic databases PubMed, B-on and Web of Science, with the objective of reviewing and describing the 3D printing techniques, the materials used and their main applications in different areas. of Dental Medicine.

Keywords: Additive Manufacturing; Printing, Three-Dimensional; Imaging, Three-Dimensional; Applications; Dentistry / methods and Dentistry

Dedicatória

Dedico este trabalho à minha família, aos meus pais, irmãos e avó que através de educação, amor e muita perseverança deram-me a força de finalizar esta etapa da minha vida.

Um especial agradecimento à minha mãe e avó pelo seu infinito apoio que tornou isto tudo possível.

Agradecimentos

Aos meus pais Aníbal e Inês, agradeço por me terem dado a oportunidade de me formar e atingir este sonho.

Um especial agradecimento à minha avó Matilde, porque me moldou na pessoa que sou hoje e por sempre acreditar em mim.

Aos meus dois irmãos quero agradecer por me darem um sentido de irmandade, lealdade e competitividade que carrego comigo todos os dias.

Um agradecimento ao Pedro por ser um amigo para a vida, para o que der e vier. E à Catarina que me acompanhou no fim desta etapa.

Aos meus colegas da faculdade, Duarte, Dinis, Inês e Filipe, agradeço imenso por toda a ajuda, apoio nas noitadas de estudos e a concluir o curso.

E para finalizar um agradecimento ao corpo docente da comunidade da UFP e funcionários.

ÍNDICE GERAL

ÍNDICE DE TABELAS	x
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	xi
I - Introdução	1
1 - Materiais e Métodos	2
II - Desenvolvimento	2
1 - Impressão 3D.....	2
2 - Tecnologias de processamento da Impressão 3D.....	4
i - Polimerização <i>VAT</i>	5
a - Estereolitografia e Processamento Digital de Luz.....	5
ii - <i>Material Jetting</i>	6
iii - Modelagem por Deposição de Material Fundido	6
iv - Fusão por Cama de Pó	6
a - Sinterização Seletiva por Laser e Fusão Seletiva por Laser.....	6
3 - Seleção de Materiais utilizados na Impressão 3D	7
4 - Aplicações na Medicina Dentária.....	9
i - Ortodontia.....	9
ii – Prostodontia.....	10
iii - Endodontia	11
iv - Periodontia	12
v – Cirurgia Oral e Cirurgia Maxilofacial	12
III – Discussão	13
IV – Conclusão	15
V – Bibliografia	16
VI – Anexos	18

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização das técnicas de impressão 3D utilizadas na Medicina Dentária.	18
--	----

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

CAD-CAM - Desenho Assistido por Computador- Fabrico Assistido por Computado

CAD - Desenho Assistido por Computador

CAM - Fabrico Assistido por Computador

3D - Tridimensional

ASTM - *American Society for Testing and Materials*

CNC - Controlo Numérico Computorizado

STL - Linguagem Padrão de Infusão de Mosaicos

RM - Ressonância Magnética

TC - Tomografia Computorizada

TCFC - Tomografia Computorizada de Feixe Cónico

CMM - Máquina de Medição por Coordenadas

SLA - Estereolitografia

DLP - Processamento Digital de Luz

FDM - Modelagem por Deposição de Material Fundido

SLS - Sinterização Seletiva por Laser

SLM - Fusão Seletiva por Laser

DMLS - Sinterização Direta de Metal a Laser

UV - Ultravioleta

DMD - Dispositivo de Microespelho Digital

PLA - Polímeros de Ácido Polilático

PCL - Policaprolactona

PGA - Ácido Poliglicólico

PC - Policarbonato

PEEK - Poliéter Éter Cetona

ABS - Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno

I – Introdução

Na Medicina Dentária, a necessidade de obter informações específicas e personalizadas sobre o paciente é fundamental tanto no diagnóstico quanto no tratamento. Nesta nova era da digitalização, novos obstáculos de adequação, atualização e alteração do fluxo de trabalho são apresentados aos médicos dentistas. Para abordar estes novos desafios o uso de tecnologias de desenho assistido por computador e de fabrico assistido por computador (CAD-CAM), apesar de ter um longo passado associado a esta área, apresenta alguns defeitos que o fabrico aditivo supera. (Rajkumari *et al.*, 2018)

O fabrico aditivo, mais conhecido por impressão tridimensional (3D), é uma tecnologia industrial que tem vindo a evoluir rapidamente nas últimas décadas. Desde a indústria aeroespacial e automóvel até às áreas da Medicina e Medicina Dentária personalizada, tem demonstrado uma visão diferente em comparação com as técnicas tradicionais de fabrico subtrativo (CAM) (Khorsandi *et al.*, 2021; Huang *et al.*, 2022). Em 1986, Charles Hull foi o primeiro a patentear uma técnica de impressão 3D e de acordo com a *American Society for Testing and Materials* (ASTM) o processo de impressão 3D é definido como: “o processo de juntar materiais para fabricar objetos a partir de um modelo prévio 3D, geralmente camada após camada, ao contrário do processo mais antigo, o subtrativo”. (Rajkumari *et al.*, 2018; Demiralp *et al.*, 2020; Huang *et al.*, 2022)

Em contraste com a impressão 3D, o fabrico subtrativo é um processo de remoção de material. Composto por várias técnicas, a mais utilizada em Medicina Dentária é a fresagem, através de máquinas de controlo numérico computadorizado (CNC) com base no software CAD. Esta técnica apresenta vantagens como: o uso de materiais homogéneos que não são afetados pelas condições de funcionamento, a necessidade de um menor pós-processamento e os custos dos equipamentos que são relativamente baixos. Contudo, apresenta uma grande desvantagem, o desperdício de material é elevado devido ao processamento da peça através de um bloco intacto. (Galante *et al.*, 2019)

A impressão 3D, para além de ultrapassar as limitações das técnicas convencionais de fabrico, apresenta inúmeras vantagens em várias áreas da Medicina Dentária como: serviço rápido e preciso, menor desperdício de material, redução dos custos através da diminuição do tempo de fabrico, do tempo de comunicação com o laboratório e do tempo de consulta. Com o armazenamento de informação digital consegue-se reduzir o

inventário de modelos físicos e diminuir a pegada ecológica. (Javid *et al.*, 2019) Todavia, esta técnica ainda apresenta desafios a ultrapassar, uma vez que em algumas impressoras é necessário pós-processamento que pode causar problemas na resolução, na superfície e na ligação entre camadas e dadas ainda as limitações na quantidade de materiais disponíveis para impressoras 3D (Demiralp *et al.*, 2020)

Desde a ortodontia, protodontia, até à cirurgia o uso desta técnica tem aumentado exponencialmente, tanto a nível de consenso científico como na aplicação clínica.

O objetivo desta revisão bibliográfica é, mediante a reunião da evidência científica disponível, expor e explorar as técnicas de impressão 3D, os materiais utilizados e as suas principais aplicações na Medicina Dentária.

1. Materiais e métodos

Para o desenvolvimento da presente revisão bibliográfica foi realizada uma pesquisa recorrendo a várias bases de dados online, entre eles PubMed, B-On e Web of Science, no período compreendido entre março e maio de 2022. As palavras-chave utilizadas de acordo com Mesh terms foram: Additive Manufacturing; Printing, Three-Dimensional; Imaging, Three-Dimensional; Applications; Dentistry / methods e Dentistry.

Como critérios de inclusão, foram considerados os artigos datados entre 2012 e 2022, escritos em inglês, disponibilizados na versão completa e nas tipologias de Clinical Trial, Meta-Analysis, Randomized Controlled Trial, Review, Systematic Review e Narrative, e como critérios de exclusão artigos duplicados devido às várias combinações e sinónimos e artigos que não estavam relacionados com o objetivo deste trabalho. Após a aplicação destes critérios, foram selecionados pelo título 43 artigos e destes 22 pela leitura do texto integral.

II – Desenvolvimento

1. Impressão 3D

Nesta nova era digital, a Medicina Dentária e a tecnologia 3D complementam-se, quer através de scanners orais, câmaras digitais, imagem radiográfica e programas CAD para a obtenção do modelo digital do paciente, quer através de técnicas de fabrico aditivo para impressão do mesmo. (Lin *et al.*, 2019; Pillai *et al.*, 2021) Facilmente integrada com outras técnicas convencionais, a impressão 3D, também permite simplificar e

melhorar a dinâmica de trabalho no consultório, diminuindo o tempo de consulta e consequentemente diminuindo os custos de um serviço mais personalizado ao paciente. (Tian *et al.*, 2021; Pillai *et al.*, 2021)

O processo de impressão 3D é a criação de um objeto, planejado em ambiente virtual, através de um fabrico sequencial de adição de camada por camada, por meios de sinterização ou agentes de ligação. Para este processo se realizar são necessários os seguintes passos: aquisição do modelo 3D do paciente, criação do ficheiro de Linguagem Padrão de Infusão de Mosaicos (STL), impressão 3D e pós-processamento. (Dawood *et al.*, 2015; Bhargav *et al.*, 2017; Oberoi *et al.*, 2018; Rajkumari *et al.*, 2018; Ma *et al.*, 2019; Javid *et al.*, 2019; Demiralp *et al.*, 2020)

A aquisição do modelo 3D consiste na coleção de informação digital realizada em softwares CAD com o auxílio de scanners 3D mecânicos e óticos, câmaras digitais, raio-x, ressonância magnética (RM), tomografia computadorizada (TC) e tomografia computadorizada de feixe cónico (TCFC). Esta etapa é muito importante, visto que copia a anatomia do paciente e a qualidade da imagem recolhida afeta diretamente o modelo 3D e a representação da anatomia verdadeira. (Lin *et al.*, 2019; Huang *et al.*, 2022)

Os scanners mecânicos são maioritariamente utilizados para medir modelos físicos de gesso pelo meio de máquinas de medição por coordenadas (CMM). (Javid *et al.*, 2018) Os scanners óticos englobam scanners 3D intra e extra-orais e fotografia estereoscópica. Os scanners extra-orais tal como os mecânicos não atuam diretamente no paciente, aplicam-se em modelos físicos, enquanto que os scanners intra-orais atuam diretamente na cavidade oral do paciente, sendo que estes dispositivos emitem um laser ou uma luz branca em forma de linha ou padrão de linhas. Com uma câmara registam o movimento ou a deformação desta fonte de luz, recolhendo a informação em forma de pontos de nuvem 3D ao longo da cavidade oral. (Lin *et al.*, 2019)

Quanto à imagem radiológica, já previamente apresentavam imensas utilidades no diagnóstico da forma e tamanho da raiz dentária. Com o passar do tempo, estas técnicas imagiológicas tornaram-se mais rápidas, mais precisas e menos invasivas, ideais para adquirir a informação digital da imagem 3D. A determinação do tamanho e forma da raiz, do osso e da diferença entre tecidos duros e tecidos moles oferece informação importante para o dentista, mas o risco associado à radiação ainda se mantém uma preocupação nos casos de TC, TCFC e raio-x. (Lin *et al.*, 2019; Huang *et al.*, 2022)

As técnicas de captura de imagem permitem ao médico dentista atingir um diagnóstico e tratamento mais personalizado, reduzindo o possível número de erros humanos nas técnicas convencionais de modelo de gesso. (Lin *et al.*, 2019, Lee *et al.*, 2020)

A criação do ficheiro do modelo 3D do paciente é realizada em softwares de desenho CAD com a reunião da informação recolhida pelos métodos anteriormente enumerados. Esta imagem virtual é cortada em imagens bidimensionais e reconstruída para formar de novo o objeto tridimensional (tesselação) e é guardada no formato de ficheiro STL. (Bhargav *et al.*, 2017) Este ficheiro descreve a superfície do modelo 3D como uma combinação de polígonos triangulares e permite que este seja reconhecido e processado pela impressora 3D. (Rajkumari *et al.*, 2018; Lin *et al.*, 2019) A grande vantagem destes modelos digitais é que não estão restringidos ao tamanho real do objeto e podem ser analisados, medidos, calculados e editados através destes softwares de desenho. (Huang *et al.*, 2022)

Após a impressão 3D, na maioria das técnicas, segue-se a fase de pós-processamento. Esta inclui o polir e limpar da superfície rugosa que os modelos apresentam, devido à impressão por camadas e espessura das mesmas, a remoção de estruturas de suporte e dependendo do uso clínico a esterilização. Os polímeros necessitam de fotopolimerização extra e os metais de tratamento térmico para melhorar as suas qualidades mecânicas. (Dawood *et al.*, 2015; Rajkumari *et al.*, 2018; Lin *et al.*, 2019)

2. Tecnologias de processamento da Impressão 3D

Em 1986, Charles Hull inventou a Estereolitografia (SLA), a primeira tecnologia de impressão 3D a ser patenteada, despoletando o surgimento de novos métodos. Em 1990, Scott Crump recebeu a patente para a técnica de modelagem por deposição de material fundido (FDM). Com o passar dos anos, estas tecnologias de fabrico rápido tornaram-se úteis em imensas áreas inclusive na Medicina e na Medicina Dentária. (Tian *et al.*, 2021)

Os processos de impressão 3D são classificados pela técnica, material e processo de deposição usado. Na atualidade, existem dezenas de tipos de tecnologias diferentes de fabrico aditivo e de acordo com a literatura pesquisada as tecnologias mais utilizadas na Medicina Dentária são: polimerização VAT (Estereolitografia e processamento digital de

luz), *material jetting*, modelagem por deposição de material fundido e fusão por cama de pó (sinterização seletiva por laser e fusão seletiva por laser). (Alammar *et al.*, 2022)

i. Polimerização VAT

Este tipo de processamento inclui tecnologias compostas pelos seguintes três componentes: uma fonte de luz de alta densidade, um suporte com resina líquida fotopolimerizável e um sistema de controlo. (Rajkumari *et al.*, 2019)

a. Estereolitografia e Processamento Digital da Luz

A estereolitografia (SLA) foi a técnica pioneira de fabrico aditivo e também a primeira a ser aplicada na medicina sob a forma de modelos cirúrgicos para cirurgia de implantes aloplásticos no ano de 1994. Com o evoluir do tempo novas técnicas semelhantes foram surgindo como o Processamento Digital de Luz (DLP). (Galante *et al.*, 2019)

Os processos SLA e DLP utilizam uma plataforma para construção do modelo, um recipiente de resina líquida fotopolimerizável, mas a grande diferença é a fonte de luz usada. Na SLA, um laser ultravioleta (UV) monitorizado por um conjunto de espelhos controlados por computador é direcionado de forma a seguir o padrão do modelo 3D digital. Na DLP, utiliza-se um projetor que emite uma luz UV refletida por um dispositivo de microespelho digital (DMD) que projeta um padrão ótico na resina. O princípio base consiste na fotopolimerização de monómeros de resina através da exposição à fonte de luz. Após a primeira camada ser completamente polimerizada, a plataforma de construção pode descer ou subir, de acordo com o modelo da impressora, a distância igual à espessura de uma camada, seguindo-se a construção da próxima camada até atingir o objeto 3D final. (Dawood *et al.*, 2015; Rajkumari *et al.*, 2018; Galante *et al.*, 2019; Javid *et al.*, 2019; Lin *et al.*, 2019; Demiralp *et al.*, 2020; Khorsandi *et al.*, 2021; Pillai *et al.*, 2021; Huang *et al.*, 2022)

Na SLA, o laser atua sobre a resina movendo-se de ponto em ponto enquanto, que na DLP a luz UV está fixa e polimeriza cada camada de uma vez só. Esta diferença afeta a precisão e o tempo de impressão. Na SLA, o movimento do laser resulta numa melhor qualidade e precisão. Por sua vez, na DLP, a polimerização de cada camada na totalidade diminui o tempo de impressão. Desta forma, pode inferir-se que a técnica DLP é melhor para peças grandes com menos detalhes e a SLA adequa-se a peças mais precisas com detalhes complexos. (Khorsandi *et al.*, 2021)

ii. Material Jetting

O processo *material jetting*, também designado por impressão *polyjet* ou *multijet*, apresenta o mesmo princípio que as impressoras tradicionais de escritório, mas em três dimensões. O material fotopolimerizável é ejetado para a plataforma de suporte através de centenas de jatos de impressora, que se deslocam no plano XY, e logo de seguida é polimerizado pela luz UV que os acompanha. Após cada camada ser polimerizada a plataforma desce até o objeto 3D estar completo. O material de suporte é semelhante a um gel, facilmente removido manualmente, através de um jato de água, com uma solução de hidróxido de sódio a 1%, uma solução de hidróxido de sódio e silicato de sódio a 2% ou com a combinação dos três passos. (Rajkumari *et al.*, 2018)

iii. Modelagem por deposição de material fundido

A FDM, criada por Scott Crump, e também pode ser conhecida por extrusão termoplástica ou fabrico por filamento fundido. (Rajkumari *et al.*, 2018) A FDM é a segunda técnica da impressão 3D mais utilizada e consiste num mecanismo muito semelhante à de uma pistola de cola quente, mas controlado por um computador. Apresenta um jato de dispersão constituído por um módulo de aquecimento e um mecanismo de alimentação. No jato, o material é aquecido apenas 0.5°C acima do ponto de fusão pelo módulo para que o material solidifique logo após ser extruído pelo mecanismo de alimentação, num filamento contínuo, para o suporte. O mecanismo de movimento, dependendo da impressora, movimenta o jato ou o suporte nos planos XY. No final de cada camada a plataforma baixa e o método repete-se até o objeto final ser concluído. (Dawood *et al.*, 2015; Rajkumari *et al.*, 2018; Galante *et al.*, 2019; Javid *et al.*, 2019; Lin *et al.*, 2019; Demiralp *et al.*, 2020; Khorsandi *et al.*, 2021; Pillai *et al.*, 2021; Tian *et al.*, 2021; Huang *et al.*, 2022; Alammari *et al.*, 2022)

iv. Fusão por Cama de Pó

A fusão por cama de pó inclui as técnicas de sinterização seletiva por laser (SLS), sinterização direta de metal a laser (DMLS) e fusão seletiva por laser (SLM). (Rajkumari *et al.*, 2018; Tian *et al.*, 2021)

a. Sinterização Seletiva por Laser e Fusão Seletiva por Laser

A SLS, a DMLS e a SLM são virtualmente a mesma técnica, as únicas diferenças estão nos materiais aplicados e na temperatura de fusão. Quanto aos materiais a DMLS e a

SLM focam-se em metais e ligas metálicas enquanto a SLS apresenta uma grande variedade de possibilidades como polímeros, elastómeros, compósitos, cerâmicas, metais e ligas metálicas, entre outros. Quanto à temperatura de fusão, na sinterização (SLS e DMLS) o material é apenas parcialmente fundido, enquanto que na fusão (SLM) as temperaturas atingem o ponto de fusão do material. O processo de impressão é constituído pela deposição do material em partículas de pó num suporte, pela sinterização ou fusão através do laser de dióxido de carbono (CO₂) controlado pelo software de desenho e no final pelo abaixamento da plataforma de suporte. Uma nova camada é depois introduzida e o procedimento é repetido até a impressão do objeto final. O material não processado atua como suporte da estrutura e eventualmente pode ser reutilizado. (Dawood *et al.*, 2015; Rajkumari *et al.*, 2018; Galante *et al.*, 2019; Javid *et al.*, 2019; Lin *et al.*, 2019; Demiralp *et al.*, 2020; Pillai *et al.*, 2021; Tian *et al.*, 2021; Huang *et al.*, 2022)

Na tabela 1, enumeram-se as características das tecnologias de processamento anteriormente descritas.

3. Seleção de Materiais utilizados na Impressão 3D

Na Medicina Dentária, os materiais mais usados pelas técnicas previamente referidas são divididos em quatro grupos: metais e ligas metálicas, polímeros e materiais compósitos, cerâmicas e materiais para bioimpressão 3D. (Bhargav *et al.*, 2017; Lin *et al.*, 2019; Demiralp *et al.*, 2020; Khorsandy *et al.*, 2021; Huang *et al.*, 2022)

Os metais e ligas metálicas necessitam de ser biocompatíveis, com toxicidade nula, resistência à corrosão e propriedades que impeçam a formação de manchas. Têm que apresentar boas propriedades mecânicas e a possibilidade de se adaptarem a tecido mole ou duro. São poucos os metais que apresentam estas características, mas os que mais se aproximam e conseqüentemente os mais utilizados são o titânio, ligas de titânio, ligas cromo-cobalto e o aço inoxidável. O titânio e as suas ligas com alumínio ou algumas cerâmicas apresentam baixo peso, biocompatibilidade com o corpo humano superior às outras ligas e excelente resistência à corrosão. Apesar de ser um material caro, é mais económico que os metais preciosos. Para contornar os preços do titânio foram introduzidas ligas de cromo-cobalto, que apesar de serem difíceis de processar, são leves e com excelente resistência ao desgaste, às forças aplicadas e à corrosão. São

processados pelas técnicas SLM e DMLS e aplicados em coroas, pontes e próteses dentárias. As ligas de titânio também são utilizadas para diversos tipos de implantes dentários e maxilofaciais e fios ortodônticos de alto desempenho. (Lin *et al.*, 2019; Demiralp *et al.*, 2020; Khorsandi *et al.*, 2021; Pillai *et al.*, 2021; Huang *et al.*, 2022)

Os polímeros e os materiais compósitos quando impressos apresentam uma superfície com baixa qualidade e fracas propriedades mecânicas. Ainda assim, continuam a ser o material mais utilizado no fabrico aditivo, devido à sua grande variedade de materiais com propriedades químico-mecânicas adaptáveis, fácil processamento, baixo custo e peso. Na Medicina Dentária, necessitam também de demonstrar biocompatibilidade e uma boa estética. São apresentados sob a forma de resinas líquidas fotopolimerizáveis, partículas de pó ou filamentos de termoplásticos e de acordo com esta forma são processados por diferentes técnicas de impressão 3D, a SLA, a DLP, a FDM, a SLM e a *material jetting*. Resinas de acrílico (polimetilmetacrilato), polímeros de ácido polilático (PLA), policaprolactona (PCL), ácido poliglicólico (PGA), policarbonato (PC), poliéter éter cetona (PEEK), acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS) e nylon fazem parte dos materiais compósitos que demonstram diversas aplicações na área, como a produção de bases protésicas, coroas provisórias pré-fabricadas, guias cirúrgicas e *brackets*. A PCL é usada na regeneração do tecido ósseo e no aumento do osso alveolar, pela sua biocompatibilidade, biodegradação e estabilidade *in vivo*. (Lin *et al.*, 2019; Demiralp *et al.*, 2020; Khorsandi *et al.*, 2021; Pillai *et al.*, 2021; Huang *et al.*, 2022)

Já muito antes do fabrico aditivo, a aplicação de cerâmicas na Medicina Dentária era muito extensa. Apesar de serem materiais frágeis e difíceis de processar, a sua biocompatibilidade, boas propriedades químico-mecânicas e estéticas, baixa densidade e boa resistência à temperatura e à corrosão fazem das cerâmicas ideais para o uso na cavidade oral. As cerâmicas mais usadas são a zircónia e as cerâmicas vítreas (feldspáticas, dissilicato de lítio e leucita) que geralmente são processadas por técnicas de fabrico subtrativo, mas apresentam muito desperdício de material. Quando são processadas pelas técnicas de impressão 3D, como a SLA, DLP, SLM e a *material jetting* em forma de pó ou em misturas com resinas fotopolimerizáveis este desperdício é evitado. São aplicadas em coroas, pontes, postes endodônticos, *brackets* e pilares cerâmicos e implantes dentários de zircónia por apresentarem uma osteointegração semelhante à do titânio. (Lin *et al.*, 2019; Methani *et al.*, 2019; Demiralp *et al.*, 2020; Khorsandi *et al.*, 2021; Pillai *et al.*, 2021; Huang *et al.*, 2022)

Para além destes três grupos importantes, novos materiais estão a ser desenvolvidos especificamente para serem aplicados em novas áreas. Os hidrogéis são estruturas de redes 3D compostas por cadeias de polímeros hidrofílicos e 90% a 99% de água, com uma enorme semelhança à matriz extracelular e com aplicações na bioimpressão 3D de *scaffolds* para engenharia de tecidos e sistemas de dispersão de medicação. Outros materiais como células estaminais, moléculas bioativas e fatores de crescimento para bioimpressão de tecido dentário e periodontal e materiais inteligentes com memória de forma para impressão 4D estão a ser estudados, mas requerem mais investigação clínica. (Ma *et al.*, 2019; Khorsandi *et al.*, 2021; Pillai *et al.*, 2021; Huang *et al.*, 2022)

Todos os materiais atrás mencionados tal como a tecnologia 3D estão em desenvolvimento e nesse sentido carecem de mais estudos clínicos e bibliográficos.

4. Aplicações na Medicina Dentária

A introdução da tecnologia no consultório traz com ela inúmeras aplicações que facilitam o trabalho do médico dentista, o fluxo de trabalho do consultório e comunicação com os laboratórios. Com o auxílio de *scanners* 3D, imagens radiológicas e *softwares* de desenho digital (CAD), esta nova era digital permite planear, modificar e simular o tratamento e prever os seus possíveis resultados, ajudando também o paciente a entender o procedimento. A informação digital do doente reduz a utilização de espaço de armazenamento, a pegada ecológica no transporte de modelos e pode ser enviada para os laboratórios rapidamente via *email*. O fabrico aditivo é altamente preciso, mais rápido que as técnicas convencionais e com características personalizáveis que o tornam muito útil para a Medicina Dentária. As suas aplicações nas diferentes valências serão destacadas em seguida. (Javid *et al.*, 2019; Vasamsetty *et al.*, 2019; Huang *et al.*, 2022)

i. Ortodontia

A ortodontia trata de diagnosticar e corrigir a posição incorreta dos dentes ou da maxila e mandíbula e para tal necessita de modelos de estudo e de trabalho com uma representação dos dentes e arcos dentários e das suas posições. Estes modelos maioritariamente são fabricados em gesso, mas apresentam várias desvantagens. São feitos de um material pesado e frágil, por uma técnica que requer tempo, conhecimento técnico e causa desconforto no paciente, requerem espaço de armazenamento e

propiciam erros humanos. Através de *scanners* orais e sistemas de desenho CAD é possível visualizar e planejar o tratamento e os possíveis movimentos dos dentes em meio digital, reduzindo a necessidade de modelos e o desconforto do paciente, tornando o processo mais rápido. Quando os modelos são precisos, estes podem ser impressos por diversas técnicas de fabrico aditivo e vários estudos provam que são adequados para uso clínico, com alta precisão e facilmente reproduzíveis. Para os tratamentos de ortodontia fixa, estes programas permitem também fabricar *brackets* ortodônticos personalizados com boa estética e melhor ajuste à superfície do dente. Para a correção de dentes ligeiramente desalinhados ou para pós-tratamento de ortodontia fixa, as impressoras 3D permitem o fabrico de alinhadores transparentes: indireto, pela termoformação de plástico em modelos 3D, ou direto, pela impressão direta de alinhadores. Vários estudos provam que alinhadores impressos apresentam melhores propriedades mecânicas e precisão que os termoformados. Cumulativamente, para além destas goteiras ortodônticas é possível imprimir goteiras oclusais para o bruxismo e para o desporto. (Oberoi *et al.*, 2018; Galante *et al.*, 2019; Lin *et al.*, 2019; Vasamsetty *et al.*, 2019; Demiralp *et al.*, 2020; Khorsandi *et al.*, 2021; Pillai *et al.*, 2021; Huang *et al.*, 2022)

Na ortodontia pediátrica, a impressão 3D é pouco explorada. É principalmente utilizada para produzir mantenedores de espaço, para evitar a má oclusão a que as crianças estão mais predispostas, devido à dentição mista e aos movimentos indesejados dos dentes para os espaços de dentes extraídos ou perdidos. Vasamsetty *et al.* analisou um estudo que demonstrou resultados positivos de mantenedores de banda e alça impressos em resinas fotopolimerizáveis e em metal em pó à base de titânio.

ii. Prostodontia

Na prostodontia, o fabrico aditivo veio possivelmente alterar o paradigma tradicional das restaurações protésicas. Os *scanners* 3D e os *softwares* de desenho digital permitem ao médico dentista realizar os possíveis tratamentos por meio digital, diminuem a necessidade de modelos físicos e melhoram a produtividade no consultório. Para além dos modelos digitais, em algumas ocasiões são necessários modelos físicos que podem ser impressos diretamente com técnicas de fabrico aditivo ou realizados através do método de impressão de alginato com moldeiras individuais fabricadas por impressoras 3D. Através desta informação digital do paciente e de diversos processos de impressão 3D consegue-se planejar e fabricar a restauração de parte ou da totalidade das arcadas

dentárias. Para a restauração de um ou mais dentes é possível a rápida impressão de coroas, pontes, facetas, *inlays* e *onlays*, provisórias ou definitivas e de resina, cerâmica ou metal. Pela lógica do fabrico aditivo, quanto menor for o objeto mais rápida será a impressão. Assim, como estas peças são pequenas, o seu rápido fabrico assegura que os pacientes tenham acesso aos seus tratamentos poucas horas depois de serem diagnosticados. Atualmente já existe a impressora 3D Varseo XS de DLP que fabrica todas as opções anteriormente referidas, mas apenas em resinas. Na reposição de arcadas totais ou grandes perdas dentárias as próteses totais e parciais removíveis também podem ser processadas por impressoras tridimensionais. No presente, as próteses totais podem ser completamente impressas por técnicas de fabrico aditivo, mas este processo ocorre em duas peças, uma que produz o suporte e outra os dentes que no fim são unidos por um agente de ligação fotopolimerizável. Quanto às próteses parciais removíveis e as suas bases metálicas, estas podem ser processadas diretamente por impressoras de SLM ou indiretamente pelo método de fundição por cera perdida, em que o modelo a ser fundido é fabricado por impressoras 3D. Vários estudos provam que tanto coroas e pontes como próteses totais impressas por métodos 3D apresentam melhor adaptação às estruturas anatómicas do que métodos convencionais. No entanto, a necessidade de treino especializado, a precisão dos *scanners* e o método de transformar informação em modelo podem afetar esta adaptação e para tal mais estudos são necessário para se cimentar este paradigma. (Oberoi *et al.*, 2018; Javid *et al.*, 2019; Lin *et al.*, 2019; Methani *et al.*, 2019; Vasamsetty *et al.*, 2019; Demiralp *et al.*, 2020; Khorsandi *et al.*, 2021; Pillai *et al.*, 2021; Tian *et al.*, 2021; Huang *et al.*, 2022)

iii. Endodontia

O fabrico aditivo apresenta diversos papéis na área da endodontia, a nível experimental, pedagógico e clínico. Na prática clínica, as tecnologias de *scanner* e TCFC fornecem uma melhor informação sobre a anatomia total dos canais radiculares do dente do que a radiografia 2D. Esta informação facilita o tratamento endodôntico e permite a produção de guias cirúrgicas para apicectomia ou microcirurgia endodôntica e guias de limas para o tratamento endodôntico não cirúrgico de dentes calcificados ou com patologia periapical. No âmbito pedagógico, estes dados digitais e *softwares* CAD/CAM também permitem a impressão de dentes modelo transparentes, baseados em *scans* de dentes reais, que proporcionam uma melhor propriocepção táctil e visual das raízes e dos seus canais radiculares. (Lin *et al.*, 2019; Vasamsetty *et al.*, 2019; Khorsandi *et al.*, 2021;

Pillai *et al.*, 2021; Huang *et al.*, 2022) A nível experimental, Oberoi *et al.*, demonstrou vários estudos que descrevem as aplicações da impressão 3D na regeneração endodôntica através do fabrico de *scaffolds*, hidrogéis ou *bioinks* para guia de células-estaminais, fatores de crescimento, injetáveis de fosfato de cálcio, *scaffolds* pulpares e terapia genética. A impressão 3D apresenta um futuro promissor na endodontia, mas requer mais estudos para que se possa obter conclusões notáveis.

iv. Periodontia

A periodontia, é outra área em que as tecnologias 3D são utilizadas para diagnóstico e planeamento do tratamento virtual através de *softwares* CAD/CAM e *scanners* 3D, impressão de guias cirúrgicas e na regeneração alveolar e periodontal. Para além do plano de tratamento digital, os modelos digitais também possibilitam a impressão de guias cirúrgicas precisas e personalizadas, usadas em gengivoplastia e gengivectomia e como modelos de estudo que tanto podem ser utilizados para entender melhor a situação do paciente ou para fins educacionais. A regeneração periodontal é realizada para melhorar a recessão gengival e tecido mole danificado através da engenharia de tecidos pelo fabrico de impressões tridimensionais de hidrogéis, *bioinks* e *scaffolds* unidos com células-estaminais e fatores de crescimento para a regeneração de tecido periodontal ou ósseo alveolar. Defeitos infra-ósseos podem ser cobertos com *scaffolds* incorporados com células estaminais mesenquimatosas que aumentam a regeneração do periodonto. Acresce ainda a possibilidade de imprimir enxertos de tecidos moles em 3D com desenhos complicados e precisão para cobrir defeitos de tecido mole. Tudo isto demonstra que a tecnologia de impressão 3D oferece opções de tratamento promissoras, mas a tradução clínica requer esforços combinados assentes em tecnologias médicas e outras tecnologias emergentes de bioengenharia. No futuro, com o avanço dos materiais e tecnologias de biofabrico, a engenharia de tecidos poderá evoluir para órgãos 3D funcionais complexos. ((Bhargav *et al.*, 2017; Oberoi *et al.*, 2018; Ma *et al.*, 2019; Vasamsetty *et al.*, 2019; Khorsandi *et al.*, 2021; Pillai *et al.*, 2021; Huang *et al.*, 2022)

v. Cirurgia oral e cirurgia maxilofacial

A cirurgia oral e maxilofacial são áreas que beneficiam muito das vantagens dos *scanners* 3D, da TCFC e de *softwares* digitais. Modelos digitais e impressão de modelos anatómicos 3D podem ser usados para meios educacionais ou clínicos, que permitem planejar os passos cirúrgicos, facilitando o trabalho do cirurgião e melhorando a

comunicação com o paciente e o resultado cirúrgico final. Este plano cirúrgico é impresso pelo fabrico aditivo na forma de guias cirúrgicas de corte, de perfuração e de posicionamento utilizadas em cirurgia ortognática, maxilofacial e de implantes dentários e maxilofaciais. Através da técnica de fusão seletiva por laser, fabricam-se implantes dentários e pilares para a substituição de dentes perdidos e nas situações de perda de estrutura facial por trauma ou doença produzem-se implantes maxilofaciais, ambos personalizáveis de acordo com a anatomia do paciente, porosos e rugosos, feitos de titânio ou ligas de titânio que apresentam características mecânicas semelhantes às do tecido ósseo. Estes tratamentos personalizados e guias cirúrgicas apresentam uma boa precisão, uma melhoria na estética e no pós-operatório, proporcionam menos comorbilidades e são produzidos com uma melhor eficiência de tempo. Por fim, a impressão 3D também é aplicada no fabrico de *scaffolds* e implantes com materiais biocompatíveis com os defeitos orofaciais para a regeneração de tecido ósseo. Apesar de ainda serem necessárias mais provas científicas, a habilidade do cirurgião para compreender e trabalhar com programas de computador e *softwares* modernos e as possibilidades das tecnologias 3D podem criar resultados extraordinários na região com mais implicações estéticas no ser humano. (Dawood *et al.*, 2015; Bhargav *et al.*, 2017; Oberoi *et al.*, 2018; Lin *et al.*, 2019; Vasamsetty *et al.*, 2019; Demiralp *et al.*, 2020; Khorsandi *et al.*, 2021; Pillai *et al.*, 2021; Tian *et al.*, 2021; Huang *et al.*, 2022)

III – Discussão

A tecnologia de Impressão 3D é cada vez mais utilizada na área na Medicina Dentária para a obtenção de diagnósticos e tratamentos mais precisos e detalhados, no âmbito de uma prática clínica que se exige cada vez mais dirigida ao próprio paciente. Este processo de impressão 3D que veio revolucionar as técnicas convencionais é definido como um método aditivo pela deposição em camadas, com base num modelo 3D digital. (Rajkumari *et al.*, 2018; Demiralp *et al.*, 2020; Huang *et al.*, 2022)

Atualmente existem dezenas de técnicas de fabrico aditivo, que diferem de acordo com os materiais que processam e o método de processamento, sendo que as mais utilizadas na medicina dentária são: polimerização VAT (SLA, DPL), *material jetting*, a FDM e fusão por cama de pó (SLS, SLM). 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)

Na última década, tem havido uma evolução exponencial do número de estudos que comprovam a utilidade da tecnologia 3D nas diversas áreas da Medicina Dentária. As suas aplicações são imensas e vão desde a produção de modelos digitais, modelos físicos, coroas, pontes, facetas, *inlays*, *onlays*, próteses totais e parciais removíveis, goteiras, alinhadores transparentes, *brackets* ortodônticos, mantenedores de espaço, placas palatinas de memória, guias cirúrgicas, implantes dentários, pilares e próteses maxilofaciais até ao fabrico de *scaffolds* tridimensionais para engenharia de tecidos. (Oberoi *et al.*, 2018; Rajkumari *et al.*, 2018; Vasamsetty *et al.*, 2019; Demiralp *et al.*, 2020; Pillai *et al.*, 2022)

É curioso questionar-se qual o papel que a indústria terá perante a introdução progressivamente mais veemente da tecnologia 3D na prática e quais as implicações que isso acarretará para o mercado, quer em termos de custos de investimento inicial pelos empresários/médicos dentistas, quer para o preço final para o cliente/paciente. (Hegedeus *et al.*, 2022) Cumulativamente, o avanço tecnológico condicionará certamente um agravamento das dicotomias já existentes entre o sector público e privado, dadas as limitações no orçamento para o Sistema Nacional de Saúde. No futuro, é também de considerar que a tecnologia uma vez implementada de forma plena necessitará de menos profissionais, o que nos remete para o impacto da substituição dos humanos pelas máquinas ao nível do mercado de trabalho.

O fabrico aditivo ainda demonstra alguns desafios que necessitam de ser abordados. Os custos das impressoras têm vindo a diminuir ao longo dos anos, mas as impressoras de alta qualidade continuam a ser caras e a necessidade de tecnologias complementares tem custos elevados associados. Requer mais pesquisa na limitação dos materiais disponíveis, das suas propriedades físicas e mecânicas e da qualidade de superfície, da sua biocompatibilidade e possibilidade de esterilização. É uma técnica que necessita de treino especializado e está muito suscetível a problemas éticos, devido à privacidade, proteção e confidencialidade da informação digital do paciente. Acresce ainda, que o aperfeiçoamento de *scanner* 3D e de *softwares* CAD é fundamental para reduzir defeitos ou imprecisões na recolha de informação na cavidade oral. O melhoramento ou eliminação dos passos de pós-processamento é também uma barreira a ultrapassar.

A presente revisão bibliográfica tem como principais limitações o facto de ter por base maioritariamente estudos descritivos com ênfase na mecânica dos diferentes tipos de processamentos, sendo imperativo transitar da mecânica descritiva para a aplicação prática. Desta forma, é importante triar e definir, entre as muitas técnicas existentes e enumeradas na presente narrativa, as que por aplicabilidade clínica e resultados em amostras suficientemente representativas justificam o investimento. Esta análise deve ser efetuada de forma individual para cada subespecialidade da Medicina Dentária, dado que como foi exposto as diferentes técnicas têm aplicações diversas nas áreas mais específicas. Assim, por a impressão 3D ser uma tecnologia no auge da inovação, urge a necessidade de estabelecer ensaios clínicos prospetivos randomizados que procurem colmatar a carência de estudos in vivo.

IV – Conclusão

A tecnologia 3D representa o futuro da Medicina Dentária digital. A introdução desta evolução tecnológica no consultório veio introduzir novos conceitos que certamente irão revolucionar o paradigma das práticas convencionais.

Nesta revisão narrativa, foram avaliados os vários passos do fluxo de trabalho digital inerentes às técnicas de impressão 3D, os seus materiais e variadas aplicações. Foi possível concluir que as impressoras 3D apresentam vantagens como diagnóstico e tratamento digital personalizado à complexa anatomia do paciente, a versatilidade dos materiais, rápido processamento, pouco desperdício de material e menor pegada ecológica. Apresentam um enorme potencial para educação, facilitam o trabalho do médico dentista, do técnico de laboratório e a comunicação com o paciente.

Futuramente, a evolução das técnicas de impressão de biomateriais, células estaminais e componentes da matriz extracelular vão trazer diversos benefícios para a inovação das áreas da regeneração e engenharia de tecido ósseo, periodontal e dentário e possivelmente evoluir para a produção de órgãos 3D funcionais complexos.

Em suma, esta tecnologia trata-se de um procedimento recente, com alguma falta de evidência científica, tornando difícil avaliar corretamente todos os efeitos positivos e negativos destas técnicas. No entanto, é notória a existência de vantagens como referido durante esta revisão narrativa, pelo que trabalhos como este abrem caminho à ciência da Impressão 3D na Medicina Dentária.

V – Bibliografia

1. Al Mortadi, N. *et al.* (2012). CAD/CAM/AM applications in the manufacture of dental appliances, *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 142(5), pp. 727-733.
2. Alammar, A. *et al.* (2022). Additive Manufacturing Technologies: Current Status and Future Perspectives, *Journal of Prosthodontics*, 31(1), pp. 4-12
3. Bhargav, A. *et al.* (2017). Applications of additive manufacturing in dentistry: A review, *Journal of Biomedical Materials Research - Part B Applied Biomaterials*, 106(5), pp. 2058-2064
4. Dawood, A. *et al.* (2015). 3D printing in dentistry, *British Dental Journal*, 219, pp. 521-529
5. Demiralp, E. *et al.* (2020). Additive Manufacturing (3D Printing) Methods and Applications in Dentistry, *Clinical and Experimental Health Sciences*, 11, pp. 182-190
6. Galante, R. *et al.* (2019). Additive manufacturing of ceramics for dental applications: A review, *Dental Materials*, 35(6), pp. 865-846
7. Hegedus, T. *et al.* (2022). User Experience and Sustainability of 3D Printing in Dentistry, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(4), pp. 1-11
8. Huang, G. *et al.* (2022). Main Applications and Recent Research Progresses of Additive Manufacturing in Dentistry, *BioMed Research International*, Vol. 2022, pp. 1-26
9. Javaid, M. e Haleem, A. (2019). Current status and applications of 3D scanning in dentistry, *Journal of Oral Biology and Craniofacial Research*, 9(3), pp. 179-185
10. Javaid, M. *et al.* (2018). Current status and applications of 3D scanning in dentistry, *Clinical Epidemiology and Global Health*, 7(2), pp. 228-233
11. Khorsandi, D. *et al.* (2021). 3D and 4D printing in dentistry and maxillofacial surgery: Printing techniques, materials, and applications, *Acta Biomaterialia*, Vol. 122, pp. 26-49
12. Lee, S. *et al.* (2020). Comparison of intraoral and extraoral digital scanners: Evaluation of surface topography and precision, *Dentistry Journal*, 8(2), pp 1-11
13. Lin, L. *et al.* (2019). 3D Printing and Digital Processing Techniques in Dentistry: A Review of Literature, *Advanced Engineering Materials*, 21(6), pp. 1-28
14. Ma, Y. *et al.* (2019). Three-dimensional printing biotechnology for the regeneration of the tooth and tooth-supporting tissues, *Biotechnology and Bioengineering*, 116(2), pp. 452-468
15. Methani M. *et al.* (2019). The potential of additive manufacturing technologies and their processing parameters for the fabrication of all-ceramic crowns: A review, *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 32(2), pp. 182-192

16. Mostafaei, A. *et al.* (2018). Binder jetting of a complex-shaped metal partial denture framework, *Additive Manufacturing*, Vol. 21, pp 63-68
17. Oberoi, G. *et al.* (2018). 3D Printing - Encompassing the Facets of Dentistry, *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 6(172), pp. 1-13
18. Pillai, S. *et al.* (2021). Dental 3d-printing: Transferring art from the laboratories to the clinics, *Polymers*, 13(1), pp. 1-25
19. Rajkumari, K. *et al.* (2018). Three-dimensional printing - a revolutionary technology, *Journal of Clinical and Diagnostic Research*, 12(12), pp. 12-18
20. Tian, Y. *et al.* (2021). A Review of 3D Printing in Dentistry: Technologies, Affecting Factors, and Applications, *Scanning*, Vol. 2021, pp. 1-19
21. Vasamsetty, P. *et al.* (2020). 3D printing in dentistry - Exploring the new horizons, *Materials Today: Proceedings*, 26(2), pp. 838-841
22. Zhou, Z. *et al.* (2020). Binder jetting additive manufacturing of hydroxyapatite powders: Effects of adhesives on geometrical accuracy and green compressive strength, *Additive Manufacturing*, Vol. 36, pp. 1-11

VI – Anexos

Tabela 1. Caracterização das técnicas de impressão 3D utilizadas na Medicina Dentária.

	Materiais	Aplicação	Vantagens	Desvantagens	Referências
Estereolitografia (SLA)	Resinas fotopolimerizáveis -Monómeros de metacrilatos -Polimetilmetacrilato (PMMA)	-Restaurações de dentes com defeito -Coroas temporárias e permanentes -Pontes -Bases de próteses totais -Guias cirúrgicas -Modelos de réplicas dentárias e canais radiculares e modelos para fundição de metal	-Rápida produção; -Flexibilidade no desenho; -Resolução elevada da forma e escala geométrica; -Menor desperdício de material.	-Necessitam de estrutura de suporte, com consequente desperdício de material; -Maior tempo de pós-processamento; -Materiais de risco biológico; - Custos elevados associados à manutenção do laser.	Dawood <i>et al.</i> , 2015; Rajkumari <i>et al.</i> , 2018; Galante <i>et al.</i> , 2019; Javid <i>et al.</i> , 2019; Lin <i>et al.</i> , 2019; Demiralp <i>et al.</i> , 2020; Khorsandi <i>et al.</i> , 2021; Pillai <i>et al.</i> , 2021; Huang <i>et al.</i> , 2022

<p>Processamento Digital de Luz (DLP)</p>	<p>Resinas fotopolimerizáveis</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Restaurações dentárias -Modelos de diagnóstico - Próteses totais -Coroas totais, pontes, inlays, onlays e facetas permanentes 	<ul style="list-style-type: none"> -Componentes simples; - Mais rápida que a SLA; - Superfícies mais suaves; - Boa precisão. 	<ul style="list-style-type: none"> -Necessita de pós-processamento; -Menor resolução em peças grandes; -Seleção limitada de materiais; -Material não esterilizável a calor; - Materiais de risco biológico. 	<p>Dawood <i>et al.</i>, 2015; Ma <i>et al.</i>, 2019; Demiralp <i>et al.</i>, 2020; Khorsandi <i>et al.</i>, 2021; Pillai <i>et al.</i>, 2021; Tian <i>et al.</i>, 2021; Alammar <i>et al.</i>, 2022; Huang <i>et al.</i>, 2022</p>
<p>Material Jetting</p>	<p>Resinas fotopolimerizáveis</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Réplicas de modelos dentários os quais podem ser transparentes com estruturas internas como nervos e canais radiculares -Coroas temporárias 	<ul style="list-style-type: none"> - Menor tempo de pós-processamento; - Impressão de diferentes tipos de materiais ao mesmo tempo; -Processo rápido e capaz de atingir espessuras de 0.016mm; 	<ul style="list-style-type: none"> -Desperdício de material para a estrutura de suporte; -Custo elevado tanto para os materiais usados como para as peças de reposição. 	<p>Rajkumari <i>et al.</i>, 2018; Lin <i>et al.</i>, 2019; Demiralp <i>et al.</i>,2020; Khorsandi <i>et al.</i>, 2021; Alammar <i>et al.</i>,</p>

		-Guias cirúrgicas	- Produtos detalhados e com alta resolução.		2022
Modelagem por Deposição de Material Fundido (FDM)	Plásticos com grau de fusão baixo: -Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS) -Ácido Polilático (PLA) -Policarbonato (PC) -Nylon (poliamida) Algumas ligas metálicas de baixa temperatura de fusão (filamentos metálicos de bronze)	-Moldeiras individuais -Modelos anatómicos de baixa resolução -Frascos de dentadura -Goteiras, protetores bucais -Sistemas de administração de medicação via oral - <i>Scaffolds</i> para suporte tecidual.	- Materiais termoplásticos estáveis mecanicamente e a nível ambiental; - Relativamente rápida e eficiente; - Pouco desperdício de material que é reciclável; - Capacidade de definir diferentes densidades para o objeto; - Mais que um jato de dispersão é capaz de processar vários materiais de diferentes cores ao mesmo tempo e para o suporte utiliza materiais solúveis, tornando o pós-processamento mais célere.	-Mau acabamento da superfície e uma baixa precisão; -No pós-processamento, é necessário lixar e polir as rugosidades criadas pela deposição de camada sobre camada; -Se só existir um jato o material de suporte é mais difícil de remover e pode causar danos na superfície; -Impressão de peças grandes e complexas pode demorar dias; -Quantidade limitada de materiais termoplásticos disponíveis.	Oberoi <i>et al.</i> , 2018; Rajkumari <i>et al.</i> , 2018; Lin <i>et al.</i> , 2019; Demiralp <i>et al.</i> , 2020; Khorsandi <i>et al.</i> , 2021; Pillai <i>et al.</i> , 2021; Tian <i>et al.</i> , 2021; Alammar <i>et al.</i> , 2022

<p>Sinterização Seletiva por Laser (SLS)</p>	<p>-Metais e ligas metálicas -Polímeros, -Elastómeros, Compósitos, -Cerâmicas -...</p>	<p>-Implantes dentários de titânio -Implantes dentários e maxilofaciais -Coroas e pontes metálicas -Modelos anatómicos e de estudo - <i>Scaffolds</i> para engenharia de tecidos -Estruturas metálicas ou de resina para próteses parciais removíveis</p>	<p>-Grande variedade de materiais disponíveis; - Peças densas e de estruturas de geometria complexa e precisa; - O material não sinterizado atua como estrutura de suporte e pode ser reutilizado; - Materiais podem ser esterilizados na autoclave; - Materiais de custo mais baixo se comprados em grandes quantidades; - Objeto impresso com propriedades mecânicas para protótipos funcionais; - Pós-processamento rápido e simples, limpeza ou lixação através de ar</p>	<p>-Equipamentos complementares necessários, como ar pressurizado e controlador de clima, tornam a técnica mais dispendiosa; - Objetos finais com uma superfície rugosa e porosa; - Material em forma de pó causa problemas na limpeza e apresentam um risco de inalação; - Devido às altas temperaturas e ao uso de laser e de materiais em forma de partículas de pó está técnica requer uma elevada manutenção para evitar qualquer potencial perigo; - Rápido aquecimento e arrefecimento do material pode causar choque térmico, levando</p>	<p>Dawood <i>et al.</i>, 2015; Bhargav <i>et al.</i>, 2017; Oberoi <i>et al.</i>, 2018; Rajkumari <i>et al.</i>, 2018; Javid <i>et al.</i>, 2019; Vasamsetty <i>et al.</i>, 2019; Demiralp <i>et al.</i>, 2020; Khorsandi <i>et al.</i>, 2021; Pillai <i>et al.</i>, 2021; Tian <i>et al.</i>, 2021; Alammar <i>et al.</i>, 2022</p>
---	--	---	---	---	--

			pressurizado.	a rutura, fratura ou deformação.	
Fusão Seletiva por Laser (SLA)	Metais e ligas metálicas (Cobalto, Titânio, Alumínio, Aço, Bronze e Níquel)	<ul style="list-style-type: none"> -Restaurações dentárias e protótipos de zircónia e alumina. -Implantes dentários -Pilares -Guias -Coroas metálicas -Bases de próteses parcialmente removíveis -Próteses implanto-suportadas 	<ul style="list-style-type: none"> - Evita a porosidade aparente nas impressões por SLS; -Promove boas propriedades mecânicas e dureza do objeto; -Grande variedade de materiais metálicos (titânio, ligas de titânio, ligas de cromo-cobalto, aço inoxidável); -Impressões de boa qualidade e de pequenos detalhes; - O material não sinterizado atua como estrutura de suporte e pode ser reutilizado e reciclado. 	<ul style="list-style-type: none"> - É necessária uma estrutura de suporte, o que aumenta o gasto de material e o tempo de pós-processamento; - Equipamentos caros e materiais de preços moderados; - Relativamente lenta; - Partículas de pó podem ser prejudiciais para a saúde humana; - Pode requerer outros passos de pós-processamento, como tratamento térmico; - Risco de explosão. 	<p>Dawood <i>et al.</i>, 2015; Galante <i>et al.</i>, 2019; Lin <i>et al.</i>, 2019; Tian <i>et al.</i>, 2021; Huang <i>et al.</i>, 2022</p>