



INSTITUTO UNIVERSITÁRIO EGAS MONIZ

MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA DENTÁRIA

IMPRESSORAS 3D EM MEDICINA DENTÁRIA SÃO UMA REALIDADE?

Trabalho submetido por
Eduardo Manuel Queirós Remigio de Barros Fernandes
para a obtenção do grau de Mestre em Medicina Dentária

Outubro de 2019



INSTITUTO UNIVERSITÁRIO EGAS MONIZ

MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA DENTÁRIA

IMPRESSORAS 3D EM MEDICINA DENTÁRIA SÃO UMA REALIDADE?

Trabalho submetido por
Eduardo Manuel Queirós Remigio de Barros Fernandes
para a obtenção do grau de **Mestre** em Medicina Dentária

Trabalho orientado por
Prof. Doutor Paulo Maurício

Outubro de 2019

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer ao meu orientador, ao Prof. Doutor Paulo Maurício, pela orientação, pela disponibilidade e por toda a paciência na realização deste projeto.

Aos meus pais e manas, pois sem eles nada disto seria possível, obrigado por todo o apoio, por toda a paciência, por estarem sempre ao meu lado e me apoiarem em tudo.

Ao Ribeiro, pela disponibilidade, por todos os momentos e por todas as histórias, que irão para sempre ficar guardadas.

À Dinha, pelo apoio incondicional e por estar sempre presente na minha vida.

À Inês, que me acompanha desde o primeiro dia desta jornada, que esteve sempre presente para me escutar e ajudar.

Ao Ed, por ter estado ao meu lado todos os dias, por me ter ajudado sempre e por puxar sempre por mim quando eu mais precisava.

Ao Conselho de Praxe, por todas as experiências e ensinamentos, por fazer de mim uma pessoa melhor, pelos irmãos que me proporcionou e por momentos inesquecíveis.

RESUMO

A tecnologia de impressão tridimensional, é uma técnica aditiva que permite o fabrico de modelos através da deposição sequencial de camadas até obtenção do produto final. Estas, utilizam modelos digitais tridimensionais como referência, sendo capazes de imprimir cópias exatas dos mesmos, produzindo até as geometrias mais complexas.

Dentro das impressoras 3D, podemos contar com diversas técnicas, tais como, a Estereolitografia, Seleção Seletiva a Laser, Modelagem por Deposição Fundida, Processamento de Luz Digital, Fotopolimerização Polyjet e Jateamento. Cada tipo de impressora é capaz de utilizar diversos tipos de materiais, de acordo com a finalidade pretendida, associando algumas vantagens e desvantagens a cada uma das técnicas.

A tecnologia digital e a impressão 3D, poderá ter um potencial de sucesso na Medicina Dentária, sendo capaz de promover um diagnóstico e um plano de tratamento personalizado, bem como, um aumento da qualidade e precisão nos tratamentos dentários nas mais diversas vertentes.

As impressoras 3D, fornecem soluções ao nível da Cirurgia Oral e Implantologia, sendo uma mais valia ao nível da confeção de guias cirúrgicas, com diversas aplicações, bem como em áreas como, a Endodontia, a Dentisteria, a Ortodontia e a Prostodontia, potenciando peças e estruturas com alto nível de detalhe, sendo por isso uma tecnologia cada vez mais adotada na área de Medicina Dentária.

O objetivo deste trabalho, consiste na avaliação da bibliografia disponível nas bases de dados Medline/Pubmed, Cochrane Library e Scielo, relativamente à tecnologia tridimensional aplicada à Medicina Dentária. Para tal, recorreu-se a uma pesquisa bibliográfica, dando prioridade a artigos referentes aos últimos 10 anos.

Palavras-chave: Impressoras 3D; Medicina Dentária; Técnica aditiva; Aplicações na Medicina Dentária

ABSTRACT

Three-dimensional printing technology is an additive technique that allows the manufacture of models by sequential deposition of layers until the final product is obtained. They use three-dimensional digital models as a reference, being able to print exact copies of them, producing even the most complex geometries.

Within 3D printers, we can count on various techniques such as Stereolithography, Selective Laser Selection, Fused Deposition Modeling, Digital Light Processing, Polyjet Light Curing and Binder Jetting. Each type of printer can use various types of materials, according to the intended purpose, associating some advantages and disadvantages to each technique.

Digital technology and 3D printing can have a potential for success in dentistry, being able to promote a personalized diagnosis and treatment plan, as well as an increase in quality and precision in dental treatment in various aspects.

The 3D printers provide applications in the field of Oral Surgery and Implantology, being an added value in the manufacture of surgical guides, with various applications, as well as areas such as Endodontics, Dentistry, Orthodontics and Prosthodontics, enhancing parts and structures with high level of detail, which is why it is increasingly adopted in the field of dentistry.

The objective of this work is to evaluate the bibliography available in the Medline / Pubmed, Cochrane Library and Scielo databases, regarding the three-dimensional technology applied to dentistry. For this, we resorted to a literature search, giving priority to articles referring to the last 10 years.

Keywords: 3D Printers; Dentistry; Additive Technique; Applications in Dentistry.

INDICE GERAL:

I. INTRODUÇÃO	11
II. DESENVOLVIMENTO	17
II.1. TIPOS DE IMPRESSÃO/ IMPRESSORAS 3D	17
II.1.1. ESTEREOLITOGRAFIA / STEREOLITOGRAPHY (SLA)	17
II.1.2. SINTERIZAÇÃO SELETIVA A LASER / SELECTIVE LASER SINTERING (SLS)	18
II.1.3. MODELAGEM POR DEPOSIÇÃO FUNDIDA / <i>FUSED DEPOSITION MODEL</i> (FDM)	20
II.1.4. PROCESSAMENTO DE LUZ DIGITAL / DIGITAL LIGHT PROCESSING (DLP)	21
II.1.5. FOTOPOLIMERIZAÇÃO POLYJET / <i>POLYJET PHOTOPOLYMERIZATION</i> (PPP)	22
II.1.6. JATEAMENTO / BINDER JETTING	24
II.1.7. MATERIAIS DE IMPRESSÃO	25
II.1.8. ESTRUTURAS DE SUPORTE	26
II.2. VANTAGENS DAS IMPRESSORAS 3D	26
II.3. DESVANTAGENS DAS IMPRESSORAS 3D	28
II.4. APLICAÇÕES ATUAIS DAS IMPRESSORAS 3D EM MEDICINA DENTÁRIA	29
II.4.1. IMPRESSÃO 3D EM CIRURGIA ORAL	29

II.4.2	IMPRESSÃO 3D EM IMPLANTOLOGIA ORAL_____	32
II.4.3.	IMPRESSORAS 3D EM ORTODONTIA _____	36
II.4.4.	IMPRESSORAS 3D EM ENDODONTIA _____	37
II.4.5.	IMPRESSORAS 3D EM DENTISTERIA _____	40
II.4.6.	IMPRESSORAS 3D EM PROSTODONTIA _____	44
II.4.6.1	FABRICO DE PADRÕES DE CERA PARA CONSTRUÇÕES PROTÉTICAS	44
II.4.6.2.	FABRICO DE ESTRUTURAS PROTÉTICAS DE METAL _____	45
II.4.6.3.	IMPRESSÃO 3D DE MOLDES PARA FUNDIÇÃO DE METAL. _____	45
II.4.6.4.	IMPRESSÃO 3D DE MOLDES PARA PRÓTESES TOTAIS _____	45
II.4.6.5.	FABRICO DE RESTAURAÇÕES TOTALMENTE EM CERÂMICA _____	46
II.5.	O FUTURO DA TECNOLOGIA TRIDIMENSIONAL _____	49
III.	CONCLUSÃO _____	51
IV.	BIBLIOGRAFIA _____	53

ÍNDICE FIGURAS:

Figura 1 - Modelo impresso em 3D que mostra a relação do tumor com o Rim do paciente de uma perspectiva lateral. Impressão produzida através da imagem da Tomografia Computorizada (Adaptada de Bernhard 2016).	15
Figura 2 - Modelo impresso em 3D que mostra a relação do tumor com o Rim do paciente de uma perspectiva mesial. Impressão produzida através da imagem da Tomografia Computorizada (Adaptada de Bernhard 2016).	15
Figura 3 - Imagem esquemática de uma impressora Estereolitográfica (Adaptada de Groth 2014).	18
Figura 4 - Imagem esquemática de uma impressora de Sinterização Seletiva a Laser (Adaptada de Shirazi 2015).	19
Figura 5 - Imagem esquemática de uma impressora de Modelagem por Deposição Fundida (Adaptada de Groth 2014).	21
Figura 6 - Imagem esquemática de uma impressora de Processamento de Luz Digital (Adaptada de Wu 2016)	22
Figura 7 - Imagem esquemática de uma impressora de Fotopolimerização Polyjet (adaptada de Groth 2014).	23
Figura 8 - imagem esquemática de uma impressora Binder Jetting (Adaptada de Livravi 2018).	25
Figura 9 - Exemplo de cirurgias de reconstrução mandibular através da utilização de peças cirúrgicas impressas a partir de tecnologias tridimensionais (Adaptado de Cohen, 2009).	30
Figura 10 - Exemplo de aplicação de guia cirúrgica para colocação de implante impressa por estereolitografia (Adaptado de Whitley 2017).	33
Figura 11 - Avaliação tridimensional do planeamento virtual e o resultado da colocação de implantes (Adaptado de D'haese 2010).	34

Figura 12 - Modelos impressos através do uso de tecnologia tridimensional (Adaptado de Shah 2018).	38
Figura 13 - Guia de acesso Endodôntico impressa em 3D (Adaptada de Anderson 2018).	39
Figura 14 - Tratamento cirurgico endodontico utilizando uma guia cirurgica impressa em 3D (Adaptada de Shah 2018).	40
Figura 15 - A, Modelo principal. B, Modelo em gesso tipo IV. C, Polyjet. D, Digital Light processing-UV LED. E, Digital Light processing- UV (Adaptada de Park & Shin 2018).	47

LISTA DE ABREVIATURAS:

3D - Três Dimensões

CAD-CAM - *Computer-Aided Design and Computer-Aided Manufacturing*

CBCT – *Cone beam computed tomography*

DLP - *Digital Light Processing* / Processamento Digital por Luz

FDM - *Fused Deposition Modeling* / Deposição por Material Fundido

PPP - *Polyjet Photopolymerization* / Fotopolimerização *Polyjet*

SD - *Secure Digital*

SLS - *Selective Laser Sintering* / Sinterização Seletiva a Laser

STL – *Stereolithography* / Estereolitografia

TC - Tomografias Computorizadas

UV – Ultravioleta

USB – *Universal Serial Bus*

I. INTRODUÇÃO

A impressão tridimensional, ao contrário da técnica subtrativa, é um processo que permite a criação de objetos a partir da adição de várias camadas sobrepostas, podendo-se chamar também de técnica aditiva (Hiemenz, 2011).

A deposição sequencial de várias camadas será devidamente controlada por um computador que possui exatamente os dados geométricos necessários para o fabrico do modelo desejado. O processo começa com a criação de um design virtual do objeto pretendido, este pode ser adquirido através de ficheiros provenientes de Tomografias Computorizadas (TC), *Cone Beam Computer Tomography* (CBCT) ou até da análise através de scanners próprios para a cavidade oral, como por exemplo CAD-CAM. O ficheiro adquirido vai ser sujeito a um processo de transformação, que consiste na separação do ficheiro em vários cortes, com espessura inferior a 1mm, obtendo assim a informação necessária, em formato STL, que tornará possível a impressão a partir da tecnologia de impressão tridimensional. A transferência destes ficheiros pode ser efetuada de diversas formas, etais como, via USB, cartão SD, ou mesmo por *Wi-Fi*. Desta forma, pode ser obtido qualquer objeto, independentemente da complexidade geométrica ou do detalhe embutido (Sinha, Govil, Srivastava, & Mishra, 2019)

Cada uma das camadas, que sucessivamente depositadas, irão dar origem ao modelo, tem a mesma espessura, que depende da precisão do método e da impressora selecionada. Além disso, as impressoras não estão necessariamente limitadas a um material, o modelo poderá ser dividido digitalmente e a impressora programada para estruturar o modelo com materiais diferentes. Algumas impressoras possuem a capacidade de misturar diferentes materiais, a fim de obter cores ou propriedades específicas dos materiais. A utilização dos materiais de impressão, requer a sua transformação durante o processo de fabrico, sofrendo os mesmos, alterações na sua consistência (Garcia, Yang, Mongrain, Leask, & Lachapelle, 2018).

A impressão 3D é capaz de criar objetos com menor desperdício, pois, na maioria dos casos, a técnica aditiva, utiliza apenas o material necessário para o a criação dos mesmos. As implicações provenientes deste tipo de técnica, rápida e sem desperdício, são enormes. As necessidades de armazenamento diminuem, a personalização torna-se alcançável, ideias criativas podem ser

imediatamente percebidas e a produção das mesmas terá uma pegada ambiental muito menor. As possíveis aplicações das mesmas, poderão abranger, desde o mundo da arte, círculos amadores até à medicina (Prince, 2014).

O primeiro sucesso no mundo das impressões aditivas surgiu em 1976 por parte de Hideo Kodama, que em 1980 tentou patentear a sua invenção, mas não foi bem-sucedido devido á falta de fundos para manter a sua pesquisa. Nesse mesmo ano, publicou um artigo intitulado de “Three-Dimensional Data Display by “*Automatic Preparation of a Three-Dimensional Model*” onde detalhou a sua pesquisa, explicou que através do uso de uma lâmpada de mercúrio da Toshiba conseguia foto polimerizar uma resina chamada Tevistar, e que auxiliado de uma película branca e preta era possível controlar as regiões expostas à luz ultravioleta. Em 1981 publicou outro artigo, “*Automatic Method for Fabricating a Three-Dimensional Plastic Model with Photo Hardening*”, onde descreveu a chave para o processo de Estereolitografia, que consistia na polimerização de finas camadas de polímeros fotossensíveis. Esta foi possivelmente a primeira evidência registada acerca de técnicas aditivas. Contudo, a maioria dos autores consideram que foi Charles Hull o grande inventor da impressora 3D, pois em 1986 conseguiu patentear o processo de Estereolitografia, e em 1987 conseguiu enviar o seu primeiro carregamento para clientes nos Estados Unidos da América, estas foram as primeiras impressoras 3D a serem comercializadas em todo o mundo (Wohlers & Gornet, 2014).

No ano de 1991, surgiram três tipos diferentes de impressoras aditivas, a FDM (*Fused Deposition Modeling*) que criava peças através da deposição de finas camadas de material termoplástico fundido, a SGC (*Solid Ground Curing*) que utilizava um polímero líquido fotossensível que polimerizava através da exposição a uma fonte de luz ultravioleta, e a LOM (*Laminated Object Manufacturing*) que consistia numa combinação de cortes realizados numa folha de material através de um laser controlado digitalmente (Savini & Savini, 2015).

Em 1992 surgiu a SLS (*Selective Laser Sintering*) que através do calor de um feixe de laser conseguia fundir materiais em pó (Savini & Savini, 2015).

Em 1993 surgiu uma nova ideia inspirada na técnica de *inkjet*, através da adição de finas camadas de pó de cerâmica e através do uso de um ligante líquido foram capazes de formar as primeiras “conchas de fundição” (Wohlers & Gornet, 2014).

Nos anos que se seguiram á descoberta de Charles Hull houve um grande interesse por parte da indústria em adotar uma nova técnica como a impressão aditiva, pois ao contrário da técnica subtrativa, trazia vantagens como, a velocidade, a precisão e a capacidade de produção altamente personalizada (Whitaker, 2014).

À medida que os processos tecnológicos foram evoluindo e foram surgindo cada vez mais aplicações para a técnica de impressão aditiva, o número de interessados em adotar esta tecnologia foi aumentando exponencialmente, desde um nível industrial passando por colecionadores e inventores (Whitaker, 2014).

A tecnologia evoluiu muito rapidamente num curto intervalo de tempo, sendo a Medicina uma das áreas onde a evolução se fez sentir mais. Apenas dez anos depois da invenção da impressora 3D, Wake Forest, do Instituto de Regeneração Medicinal, usou a técnica aditiva para imprimir um exoesqueleto de modo a permitir o crescimento de um órgão. No ano de 2000 já se usavam as impressoras 3D para imprimir próteses personalizadas e já se pretendia a realização de estruturas com células vivas que viriam a ajudar na recuperação de tecidos. Foi realizado um teste juntamente com uma entidade militar, em que foram impressas células dermatológicas com o propósito de acelerar o processo de recuperação de queimaduras, os resultados provaram que era possível reduzir o tempo de cicatrização em várias semanas (Prince, 2014).

Em 2011, um paciente foi sujeito a cirurgia de remoção da mandíbula em que os médicos utilizaram uma impressora 3D para imprimir uma prótese mandibular de titânio para reposição da mesma, embora a prótese fosse de caráter permanente, estudava-se a possibilidade de imprimir um exoesqueleto onde seria possível um novo desenvolvimento de osso ou tecido e posterior remoção da estrutura (Prince, 2014).

A impressão 3D tem vindo a tornar-se uma constante desde o seu aparecimento, isto deve-se á acessibilidade das mesmas e ao elevado número de aplicações possíveis. Com rápida execução, custos baixos e um alto nível de personalização esta tecnologia tem acarretado, cada vez mais, um papel importante na sociedade (Petrick & Simpson, 2013).

Em 2014, uma companhia de design, iniciou um projeto de construção de uma casa através de uma impressora 3D. Foi o primeiro projeto a nível Europeu, realizado exclusivamente com uma impressora 3D, e teve uma duração de cerca de 3 anos. O objetivo deste projeto era comprovar,

que ao produzirem todos os componentes da casa no local, haveria uma diminuição dos custos de transportes e não existiria desperdício de materiais. O local de construção esteve aberto ao público durante todo o processo de construção, e permaneceu assim mesmo após terminada a casa, pois o grande objetivo deste projeto seria descobrir e partilhar o potencial das impressoras 3D na indústria (Hager, Golonka, & Putanowicz, 2016).

Outra aplicação possível, foi desenvolvida na área educacional, ao nível do corpo humano, tendo-se conseguido o estudo em três dimensões da anatomia de alguns ossos, que foram apresentados aos alunos de tal maneira revolucionária que lhes permitiu relacionar mais facilmente o estudo desses mesmo ossos, podendo proporcionar uma perspetiva diferente aos mesmos. Estima-se que no futuro possam ser envolvidos outros tipos de estruturas anatómicas, particularmente aquelas cujo acesso e manipulação são mais complexos. Este projeto foi um sucesso em termos educacionais pretendendo-se a sua continuação, de modo a desenvolver competências e aplicações clínicas (AbouHashem, Dayal, Savannah, & Štrkalj, 2015).

Para fornecer recursos no espaço e em outros ambientes remotos, a impressão 3D parece ser bastante promissora. Foi realizada uma investigação acerca da aplicação da tecnologia 3D no fornecimento de recursos cirúrgicos para missões espaciais, foram simuladas situações reais, tais como, preparação de cirurgias, incisões e suturas, e foi concluído, pelos médicos que manipularam os instrumentos impressos em 3D, que não houve diferenças substanciais dos instrumentos impressos dos convencionais (Wong & Pfahnl, 2014).

Outro estudo que nos ajuda a compreender as aplicações possíveis das impressoras 3D, foi realizado em meio hospitalar, em pacientes que apresentavam tumores que afetavam o funcionamento dos rins e que iriam ser sujeitos a procedimento cirúrgico. Para ser possível realizar esse tipo de cirurgia, era importante que os pacientes tenham conhecimentos básicos da mesma, tais como, conhecimentos anatómicos dos rins, localização, características do tumor e que entendessem o procedimento cirúrgico proposto, para isso, foram impressos modelos em 3D que mostraram a relação do rim com o tumor e com todas as estruturas envolventes que tivessem significância para a cirurgia. Os modelos foram impressos com diferenciação das estruturas através de cores e texturas. Como os resultados sugeriram, a utilização multifuncional dos modelos em 3D, foi bastante relevante para a educação do paciente, para o planeamento da cirurgia e ainda para ensino de estagiários (Bernhard, Isotani, Matsugasumi, Duddalwar, Hung, Suer, & Hu, 2016).



Figura 1 - Modelo impresso em 3D que mostra a relação do tumor com o Rim do paciente de uma perspectiva lateral. Impressão produzida através da imagem da Tomografia Computorizada (Adaptada de Bernhard 2016).



Figura 2 - Modelo impresso em 3D que mostra a relação do tumor com o Rim do paciente de uma perspectiva mesial. Impressão produzida através da imagem da Tomografia Computorizada (Adaptada de Bernhard 2016).

A Medicina Dentária é datada como uma das mais antigas profissões na área da saúde, ao longo dos anos tem evoluído bastante, alcançando cada vez mais um bem-estar nos pacientes, conseguindo melhorias significativas principalmente na estética e na função. Esta evolução deve-se ao avanço tecnológico e à entrada na era digital, que tem garantido grandes progressos nas distintas áreas da saúde. Uma das aplicações pioneiras da tecnologia 3D na Medicina Dentária foi a reprodução de modelos de estudo para fins cirúrgicos. Em 1999, foi impresso um modelo do palato de um paciente, com ajuda da tecnologia de Modelagem por Deposição Fundida (FDM), cuja anatomia da fenda palatina dificultava a intervenção por parte dos Médicos Dentistas, foi então efetuado um estudo minucioso e um planeamento cirúrgico detalhado, através do modelo impresso em 3D, seguido da colocação de implantes. Este tipo de planeamento tornou-se cada vez mais acessível na prática clínica com a ajuda do CBCT, que permite a transmissão de imagens tridimensionais para a impressora 3D, replicando assim qualquer parte anatómica do paciente que seja prevista uma anatomia mais complexa. Este tipo de procedimento permite uma análise mais cuidada e uma preparação cirúrgica mais detalhada, podendo tornar a cirurgia menos invasiva e até reduzir o tempo de duração da mesma (Dawood, Marti, Sauret-Jackson, & Darwood, 2015)

II. DESENVOLVIMENTO

II.1. TIPOS DE IMPRESSÃO/ IMPRESSORAS 3D

A impressão 3D é o fabrico de um modelo tridimensional construído camada a camada a partir de um ficheiro CAD trabalhado e seccionado previamente no computador. As tecnologias que permitem a confeção desses modelos diferenciam-se em dois métodos, através da deposição de materiais fundidos em camadas ou através da fusão de partículas através do uso de lasers (Berman, 2012).

II.1.1. ESTEREOLITOGRAFIA / *STEREOLITHOGRAPHY* (STL)

Estereolitografia foi um dos primeiros modelos de prototipagem rápida ou impressão tridimensional a ser comercializado, continuando ainda hoje a ser um dos mais populares. Permite a manipulação de materiais, tais como, resinas fotossensíveis e cerâmicas, e é capaz de confeccionar trabalhos como modelos dentários, guias cirúrgicas, alinhadores e ainda coroas e pontes calcináveis (Dawood et al., 2015).

Este tipo de impressora 3D, conta com uma plataforma de construção de modelos, aloja um “banho” de resina líquida fotossensível num tanque de fundo transparente e uma fonte de radiação que, através da reflexão num espelho, vai desenhando as secções transversais na camada do topo, fotopolimerizando a resina nos locais predefinidos no sistema informático, depois de cada camada pretendida estar polimerizada o elevador da impressora desce, submergindo a estrutura de forma a permitir a formação de uma nova camada sobreposta à anterior, vai-se dando a sobreposição de camadas sucessivas de resina polimerizada até formação total do modelo pretendido. Este tipo de impressora, é capaz de proporcionar o fabrico de modelos com o maior detalhe e resolução. Porém, são geralmente mais lentas, devido ao facto da fotopolimerização se dar em pequenas áreas de cada vez. Os materiais líquidos de fabrico, requerem alguns cuidados extras, pois não podem ser expostos a qualquer luz, em relação a impressora em si, é das que requer menos manutenção semanal, ao contrário dos outros tipos de impressoras 3D. (Garcia et al., 2018).

Alguns exemplos de impressoras estereolitográficas são: ProJet® 6000 HD ou ProX® 950 da 3D Systems ®.

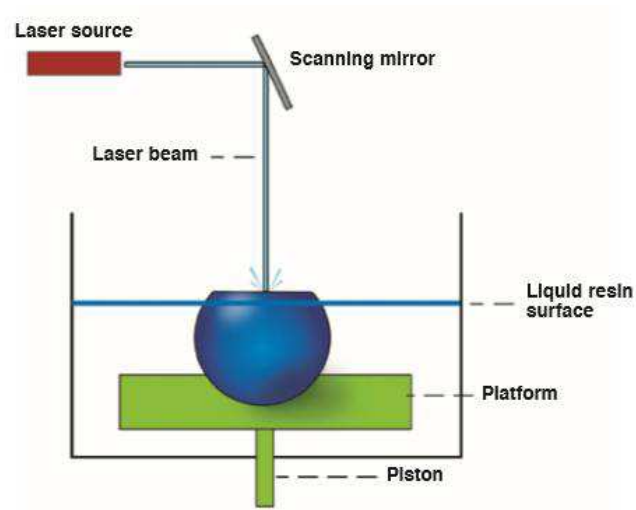


Figura 3 - Imagem esquemática de uma impressora Estereolitográfica (Adaptada de Groth 2014).

II.1.2. SINTERIZAÇÃO SELETIVA A LASER / SELECTIVE LASER SINTERING (SLS)

A utilização deste tipo de impressoras permite-nos ter à disposição uma série de materiais, que podem ir desde cerâmica, compósitos, vidro, nylon, aço, titânio, alumínio até à prata. Existe uma plataforma de suporte, a qual vai descendo à medida que se vão formando novas camadas do modelo em questão, nessa plataforma, aquando da formação de uma nova camada, é espalhado pó de qualquer um desses materiais com a ajuda de um rolo integrado na impressora. A impressora atinge temperaturas elevadas, nomeadamente até 10 graus abaixo do ponto de fusão do material em questão, em seguida, um laser vai ser acionado, incidindo exatamente nas zonas de formação do objeto e fundindo uma camada de cada vez. Depois de formada a primeira camada o elevador e a plataforma de suporte vão descer e é disposta uma nova camada de pó sobre a anterior, o processo repete-se até atingir o resultado final pretendido (Gokuldoss, Kolla, & Eckert, 2017).

Quando terminado o processo de confecção do modelo pretendido, este, é sujeito a um jato de ar comprimido que irá retirar grande parte do pó que se vai depositando em redor, mesmo assim, é necessária a intervenção do operador para a remoção total dos depósitos de pó, que podem ser

facilmente escovados e reaproveitados para as próximas impressões, tornando assim, o desperdício de material quase nulo (Kessler, Hickel, & Reymus, 2019).

Este tipo de impressora tridimensional, permite que sejam produzidos objetos bastante resistentes e bastante complexos e permite a confecção de objetos articulados, como por exemplo, uma malha metálica interligada ou até uma luva com dedos articulados. Outra vantagem deste tipo de impressora é a capacidade de poder imprimir diversos modelos em simultâneo, sejam estes iguais ou não (Gokuldoss et al., 2017).

Embora as vantagens que esta apresenta, os modelos impressos através deste método podem apresentar superfícies com rugosidades, pelo que, terão de ser sujeitos a tratamentos químicos e mecânicos até se apresentarem polidos o suficiente para utilização ou manuseamento (Dawood et al., 2015).

Alguns exemplos de impressoras de sinterização seletiva de laser são: *LASERTEC 30 SLM 2nd Gen* da DMG MORI ou *ProMaker P1000* da *Prodways Tech*.

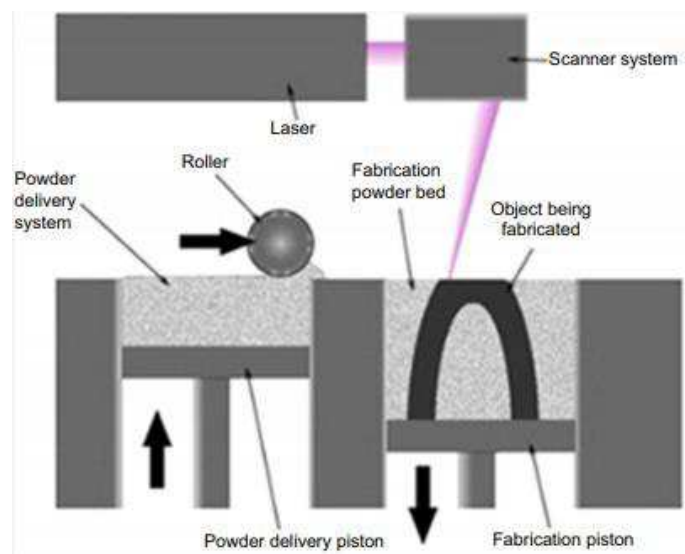


Figura 4 - Imagem esquemática de uma impressora de Sinterização Seletiva a Laser (Adaptada de Shirazi 2015).

II.1.3. MODELAGEM POR DEPOSIÇÃO FUNDIDA / *FUSED DEPOSITION MODEL (FDM)*

Impressora tridimensional que vai utilizar materiais termoplásticos, como por exemplo, policarbonatos, ceras de fundição ou materiais de polifenilsulfona, para confecção dos modelos desejados. O material termoplástico vai atravessar uma zona da impressora, onde é sujeito a temperaturas que o levarão ao ponto de fusão e a ser expelido através de uma ponteira, esta ponteira vai depositar o material numa plataforma de construção, que é mantida a temperaturas mais baixas, desta forma, o material aquecido previamente, assim que contacta com a plataforma de suporte vai solidificar formando uma camada do objeto, após a conclusão de cada camada a plataforma de suporte vai descer de maneira a que a próxima camada do modelo possa ser sobreposta a anterior. Depois da primeira camada ser depositada o processo vai sendo repetido, camada sobre camada até a formação completa do modelo pretendido (Dudek, 2013).

Esta tecnologia, pode ser considerada a mais fácil de utilizar, a mais acessível e a mais economicamente favorável. No que toca aos materiais que pode utilizar, os filamentos são os mais viáveis economicamente, comparavelmente com qualquer outro tipo de impressora 3D. Esta impressora deve ser tida em conta para grandes volumes de trabalho, onde as propriedades do material e a alta resolução, não são a maior preocupação. Além disso, são de fácil armazenamento (Garcia et al., 2018).

Este tipo de impressoras tem a capacidade de produzir objetos funcionais e com alto índice de durabilidade, desta forma, permite o fabrico de peças para diversas indústrias, tais como, aeroespacial, automóvel, industrial, comercial e médica (Kessler et al., 2019).

Na Medicina Dentária, este tipo de impressoras pode ser útil na confecção de modelos de estudo e de protótipos para mostrar ao paciente, devido ao facto de ter baixo custo e um nível de precisão satisfatório (Dawood et al., 2015).

Exemplos de impressoras de deposição fundida podem ser: Ultimaker S5 e Alfawise U20 ONE.

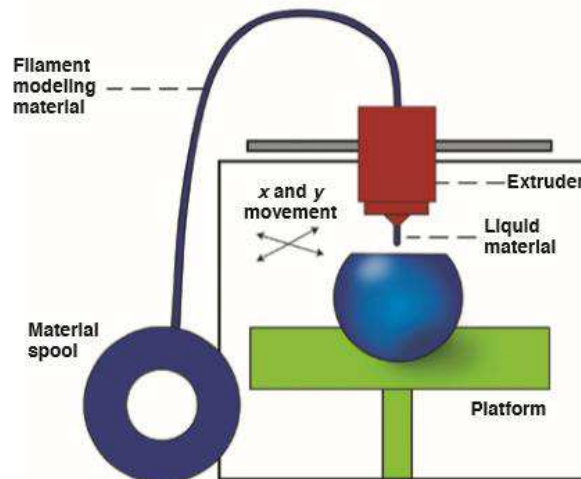


Figura 5 - Imagem esquemática de uma impressora de Modelagem por Deposição Fundida (Adaptada de Groth 2014).

II.1.4. PROCESSAMENTO DE LUZ DIGITAL / *DIGITAL LIGHT PROCESSING (DLP)*

Impressora tridimensional que nos permite usar materiais líquidos, tais como, resinas líquidas ou materiais tipo ceras, em estado líquido. Depois de feitos os ajustes no software indicado e estando o modelo pronto para impressão, o primeiro passo será colocar a resina líquida, da cor pretendida, dentro do compartimento específico da impressora, e em seguida, uma plataforma de suporte desce e mergulha dentro da resina. A primeira camada do modelo vai formar-se através de uma luz que surge na base do compartimento, que aloja a resina no estado líquido, a luz vai acender exatamente na conformação do primeiro corte do modelo e vai alternando os pixels consoante a camada em questão. A plataforma de suporte, neste caso específico, vai subindo, desta forma, o modelo vai sendo impresso ao contrário. Após a confecção do modelo em questão, este deve passar num banho de álcool e em seguida num banho de água, também pode ser exposto a luz do sol ou a uma luz ultravioleta se for necessário (Kessler et al., 2019).

Este tipo de impressoras é considerado um dos melhores em termos de acabamento e definição, podendo ser útil na impressão de modelos de estudo ou para mostrar resultados ao paciente (Kim, Shin, Jung, Hwang, Baik, & Cha., 2018).

Um exemplo de uma impressora que funciona através de processamento de luz digital é a *Anycubic Photon*.

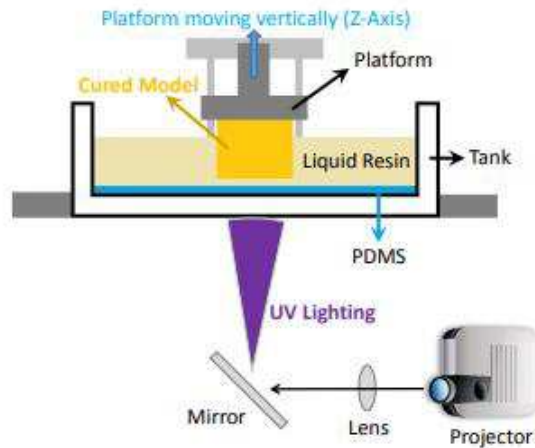


Figura 6 - Imagem esquemática de uma impressora de Processamento de Luz Digital (Adaptada de Wu 2016)

II.1.5. FOTOPOLIMERIZAÇÃO POLYJET / *POLYJET PHOTOPOLYMERIZATION* (PPP)

Atualmente, apenas a *Stratasys* e a *3D Systems* são os únicos fabricantes deste tipo de impressoras, que funcionam de maneira semelhante às impressoras de papel convencionais, mas imprimem em três dimensões. Este tipo de impressoras manipula uma grande variedade de foto polímeros, resinas ou matérias com propriedades elásticas, tornando possível a impressão de modelos flexíveis, elásticos e com uma enorme variedade de cores e materiais. Esta impressora pode ter aplicações, tais como, a confecção de modelos anatómicos sofisticados, guias cirúrgicas, próteses faciais e até produtos para cirurgia maxilofacial (Dawood et al., 2015).

Este tipo de impressora funciona de forma semelhante às impressoras de papel, mas contém centenas de bocais que expõem os materiais selecionados, em estado líquido, sujeitos à passagem de uma luz ultravioleta que irá fotopolimerizar cada camada formada, após cada camada dá-se a passagem de uma lâmina de limpeza que irá retirar os excessos de material, desta forma, este tipo de impressora tem tendência a desperdiçar mais material comparativamente aos outros tipos de impressoras tridimensionais. Depois de polimerizada a primeira camada, a plataforma de construção vai subir de forma a poder produzir e sobrepor as camadas restantes, embora este

processo crie linhas de estratificação, estas conseguem ser tão finas, garantindo sempre a qualidade da superfície dos modelos (Groth, Kravitz, Jones, Graham, & Redmond, 2014).

Aquando da realização de uma nova impressão ou alteração do material a imprimir, é necessário que as cabeças de impressão sejam desobstruídas ou até mesmo trocadas, desta forma, dá-se um maior desperdício de material, pois este não é reutilizável ou reciclável. Este tipo de impressora requer um suporte técnico mais rigoroso, o indicado seria uma vistoria semanal por parte de um técnico, pois corre o risco de se darem obstruções dos bicos através da solidificação indesejada dos líquidos. Além disso, muitas das peças desta máquina exigem limpezas constantes, as quais requerem conhecimentos técnicos, pois sem os mesmos, corre-se o risco de causar danos e comprometer o funcionamento do equipamento. Este tipo de equipamento não convém ser desligado, apenas em períodos de paragem de funcionamento de longa duração. Esta característica envolve um grande desperdício de material, pois cada vez que a máquina tiver de ser desligada, os líquidos terão de ser removidos na totalidade. Desta forma, os custos de manutenção deste tipo de impressora são consideravelmente elevados, principalmente com uma baixa frequência de impressão (Garcia et al., 2018).

Um exemplo de uma impressora de Fotopolimerização *Polyjet* pode ser a *Stratasys J750 / J735 Pantone*.

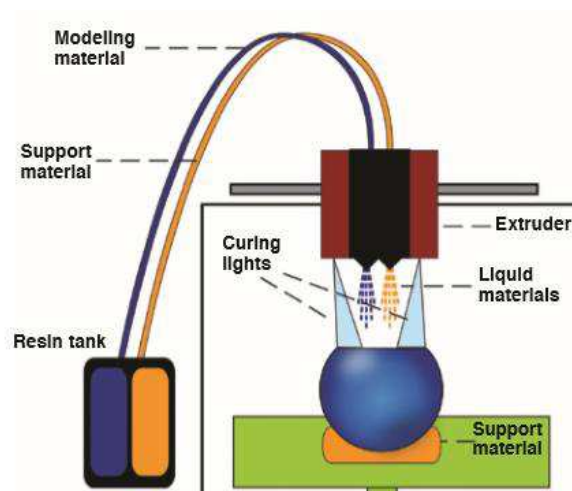


Figura 7 - Imagem esquemática de uma impressora de Fotopolimerização *Polyjet* (adaptada de Groth 2014).

II.1.6. JATEAMENTO / *BINDER JETTING*

Este tipo de tecnologia tem a capacidade de trabalhar com qualquer tipo de material desde que seja apresentado na forma de pó, mas a utilização mais comum da mesma, é para o fabrico de peças em metais ou cerâmicas. O processo de Jateamento funciona com a utilização de dois materiais, o pó, que irá ser depositado sobre um tabuleiro com a ajuda de um rolo, e um líquido, que irá funcionar como ligante de partículas, este, irá ser libertado através de um expressor que vai passando por cima da cama de pó, definindo exatamente as zonas de formação da primeira camada. Após a libertação do ligante na cama de pó, uma fonte de calor irá polimerizar parcialmente essa camada, terminando assim um ciclo da formação do modelo. Após o término de um ciclo, a plataforma de suporte irá descer e uma nova camada de pó será depositada sobreposta a anterior, um novo ciclo terá início, sucessivamente até formação do modelo estar completa (Gonzalez, Mireles, Lin, & Wicker, 2016).

O processo de fabrico através desta tecnologia não termina aqui, existem uma série de pós-processos que terão de ser aplicados para obtenção de bons resultados, como cura, despoluição, sinterização, filtragem, recozimento e acabamento. Estes processos, por vezes, requerem mais tempo que a própria impressão das peças, e podem sujeitar o fabrico de modelos a custos significativos (Liravi & Vlasea, 2018).

Uma das vantagens deste tipo de impressão, é o facto de esta, não necessitar de estruturas de suporte para fabrico de peças. As peças ficam num leito de pó solto, permitindo o fabrico de várias peças em simultâneo sem que elas estejam em contacto. As peças depois de fabricadas na impressora, vão ser transportadas no compartimento onde foram formadas, juntamente com o pó solto que não foi utilizado, e vão ser colocadas num forno, onde se vai dar por concluído o processo de cura. Em seguida, serão transportadas para umas plataformas onde o pó, que não foi utilizado, irá ser aspirado e reutilizado para novas impressões (Gokuldoss et al., 2017).

Visto que não se dá fusão, neste tipo de processo, e a consolidação ocorre predominantemente por sinterização, existe a possibilidade de as peças fabricadas apresentarem porosidades, podendo o tamanho destas, diferir de umas peças para outras. Além disso, espera-se que as peças apresentem uma microestrutura grossa, uma vez que passam por tratamentos térmicos, como cura, sinterização e recozimento. Devido às geometrias complicadas na Medicina Dentária, o uso de peças impressas

a partir deste modo podem ser de uso limitado, sendo aconselhado apenas o uso das mesmas para modelos de planeamento (Kessler et al., 2019).

Um exemplo de uma impressora de Jateamento pode ser, ExOne M-Flex 3D Printer.

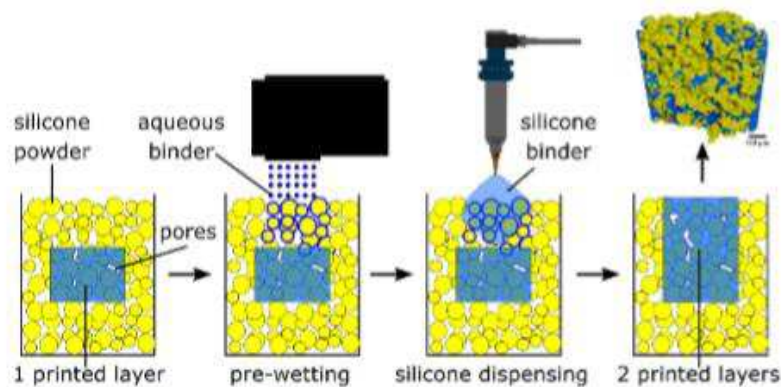


Figura 8 - imagem esquemática de uma impressora *Binder Jetting* (Adaptada de Livravi 2018).

II.1.7. MATERIAIS DE IMPRESSÃO

Os materiais utilizados na tecnologia 3D, especificamente nas impressões tridimensionais, podem depender quer da técnica utilizada, quer da maquinaria utilizada ou mesmo do resultado final que se pretende obter. Apesar das impressoras 3D já se encontrarem praticamente desenvolvidas para produzir estruturas e dispositivos utilizados em Medicina Dentária, é de salientar que os materiais utilizados ainda apresentam uma grande limitação devido ao conhecimento insuficiente sobre a sua legalização e biocompatibilidade. Em Medicina Dentária, os materiais mais utilizados e que até ao momento foram mais estudados englobam maioritariamente materiais como polímeros, cerâmicas, metais e resina (Chia, H. N., & Wu, B. M., 2015).

II.1.8. ESTRUTURAS DE SUPORTE

Todas as impressoras tridimensionais requerem a utilização de estruturas de suporte ou resinas de suporte, não apenas para impedir a deflexão devido à gravidade ou movimento pelo mecanismo de impressão, mas também para permitir a impressão de objetos complexos com saliências e rebaixos. O software da impressora adiciona automaticamente esses suportes durante o processamento do modelo. As impressoras SLT e DLP usam estruturas de suporte perfuradas, feitas a partir da resina modelo, que são facilmente removidas após a impressão, as impressoras PPP usam uma resina de suporte tipo gel que é removida com água pressurizada (Arnold, Monsees, Hey, & Schweyen, 2019).

II.2. VANTAGENS DAS IMPRESSORAS 3D

As tecnologias de impressão tridimensional estão cada vez mais ao alcance de qualquer pessoa, tornando-se um tema abordado pela sociedade nos dias que correm, estas, poderão ter um vasto leque de aplicações, tornando-se cada vez mais uma certeza num futuro que não parece estar assim tão longe (Berman, 2012).

Algumas das vantagens que esta tecnologia pode abranger vão estar em seguida descritas, estas podendo passar por: As linhas de montagem e o fabrico de peças individuais pode ser reduzido; a confeção dos produtos poderá ser feita de uma só vez, e quem sabe até reduzir o número de peças fabricadas necessárias por produto; a confeção dos produtos em locais mais próximos, não havendo necessidade de juntar peças de outros locais, reduzindo assim a possibilidade de erro na montagem e melhorando a economia de tempo, não sendo necessários períodos de espera e de encomendas, apenas de confeção. Outra vantagem, e diretamente ligada á economia do tempo, é o facto da confeção de produtos através das impressoras 3D não precisar de ser monitorizada, tornando possível o funcionamento das mesmas durante o período noturno e sem a necessidade de mão de obra presente (Berman, 2012).

Outra grande vantagem da introdução das impressoras 3D na sociedade é o facto dos projetos, e não os produtos, poderem circular à volta do mundo como arquivos digitais, tendo a possibilidade de serem impressos em qualquer ponto do mundo, desde que na presença de uma impressora que possa atender aos parâmetros de design. A internet eliminou a distância como fator de transferência

de informação, e agora, as impressoras 3D podem vir a eliminar a distância para o mundo material. Ainda ligado á vantagem anteriormente discutida, podemos também abordar o facto de a digitalização vir a ser uma grande vantagem para os dias que correm, pois toda a informação necessária poderá estar em formato digital, permitindo que várias pessoas tenham acesso em simultâneo e em diferentes locais, assim como é capaz de ajudar na redução de ficheiros físicos que obrigatoriamente terão de ser arquivados, ocupando espaço e aumentando os custos, como por exemplo, ter informação em papel e o transporte da mesma, ao reduzir neste aspeto conseguimos uma redução muito grande na pegada ecológica (Martelli, Serrano, Van den Brink, Pineau, Prognon, Borget, & El Batti., 2016).

Ainda no tema da redução da pegada ecológica, podemos chamar as tecnologias de impressão tridimensional como tecnologias “verdes”, estas utilizam apenas o material necessário para o fabrico do produto desejado, e a grande maioria do material em excesso e que tem de ser removido, pode ser sempre reutilizável ou reciclável. Comparativamente ao método subtrativo, em que existe um grande desperdício de material excedente, esta é uma das grandes vantagens do método aditivo (Campbell, Williams, Ivanova, & Garrett, 2011).

Assim como a reutilização do material, também cada impressora é capaz de fabricar uma série diferenciada de produtos, sem a necessidade de ser reequipada, sendo possível cada impressão ser personalizada e sem quaisquer custos adicionais, pois ao contrário dos métodos de confeção tradicionais, as impressoras 3D não necessitam de moldes específicos para cada tipo de produto, independentemente da geometria e do grau de complexidade do mesmo, não há necessidade de alterar nenhum aspeto do processo (Campbell et al., 2011).

As impressoras 3D permitem que os produtos apresentem detalhes precisos e reprodução exata da digitalização, desta forma, conseguem garantir alta qualidade dos trabalhos e resultados consistentes. É possível a impressão de formas geométricas complexas e peças entrelaçadas sem ser necessário qualquer tipo de montagem, tornando possível a criação de objetos únicos com a possibilidade de utilização de diversos materiais em simultâneo (Pirjan, A., & Petroşanu, D. M., 2013).

II.3. DESVANTAGENS DAS IMPRESSORAS 3D

Embora as tecnologias de impressão tridimensional ofereçam vantagens críticas em relação aos processos de fabrico tradicionais, existem limitações inerentes nos processos que as impedem de ser uma solução para todos os problemas de fabricação (Pîrjan, A., & Petroşanu, D. M., 2013).

Com o desenvolvimento apresentado nos dias de hoje, uma das grandes desvantagens das impressoras 3D é o facto de serem limitadas no que toca à produção em massa, precisando de aproximadamente uma hora e meia para produzir um cubo de 1,5 polegadas. As previsões são limitadas, pois, para processos tão complexos como as impressões 3D, é capaz de ser um processo cuja evolução dure por mais algum tempo, visto que, é necessário digitalizar um laser, curar material e recobrir cada camada até obter o resultado final (Campbell et al., 2011).

Outra desvantagem para as impressoras tridimensionais é a necessidade de melhores materiais para impressão e maior uniformidade na qualidade de produção. A maioria dos processos utiliza polímeros que não são bem caracterizados e que os torna menos resistentes que os produtos de fabrico tradicional. Além disso, alguns produtos impressos em 3D apresentam uma resistência que não é uniforme, devido ao facto de o processo de fabrico ser por camadas, na direção da construção alguns produtos podem apresentar maior fragilidade. Para além dessas fragilidades, a maioria dos produtos impressos através desta tecnologia requer tratamentos pós confeção, como por exemplo, banhos de álcool, remoção mecânica de excessos de material, exposição solar ou a luz ultravioleta (Martelli et al., 2016).

Muitos dos materiais usados para este tipo de impressões são polímeros líquidos, que necessitam de luz para serem polimerizados, e por exemplo, as resinas, podem causar irritações na derme, podem causar inflamação por contacto ou inalação. Além disso, o tempo de vida útil das mesmas é limitado e não podem ser esterilizadas através de altas temperaturas, aumentando assim o custo dos trabalhos realizados com este tipo de materiais (Pîrjan, A., & Petroşanu, D. M., 2013).

Outra desvantagem deste tipo de impressoras, é a falta de legislação e regulamentos, isto leva a que qualquer produto possa ser fabricado, como por exemplo, armas, peças falsificadas, drogas ou armas químicas. Tendo em conta que qualquer pessoa pode adquirir um destes tipos de equipamentos, e que pode facilmente manusear o fabrico de qualquer um destes exemplos dados

anteriormente, esta poderá ser uma das maiores desvantagens apresentadas por esta tecnologia (Pirjan, A., & Petroșanu, D. M., 2013).

Outras desvantagens é o facto deste equipamento ter um custo de aquisição um pouco elevado, assim como os materiais de fabrico, tornando o uso da tecnologia dispendioso quando se trata de fabricar em quantidades mais elevadas. Para além disso, a produção de produtos através deste método, pode exibir falhas nos trabalhos e nem sempre estar à altura do nível exigido de detalhe. O uso de materiais reciclados ainda não foi seriamente ponderado, e para adquirir materiais compatíveis com as impressoras, muitas vezes é necessária a importação dos mesmos (Martelli et al., 2016).

II.4. APLICAÇÕES ATUAIS DAS IMPRESSORAS 3D EM MEDICINA DENTÁRIA

As impressoras 3D podem ter várias aplicações na Medicina Dentária, permitem uma versatilidade de tratamentos e de manipulação de materiais, que singularmente, mais nenhuma “maquinaria” tradicional o permite. Podem auxiliar o Médico Dentista desde uma restauração simples a uma regeneração óssea mandibular. Uma das aplicações pioneiras das impressoras tridimensionais na Medicina Dentária foi no ramo da cirurgia, onde foi necessário um planeamento mais cuidado antes de uma cirurgia de colocação de implantes e a aplicação da tecnologia 3D, nesse tratamento cirúrgico foi uma mais valia, garantindo vantagens nunca dantes conseguidas, a partir desse marco surgiram ideias para a implementação dessa tecnologia noutras áreas e com diferentes aplicações (Dawood et al., 2015).

II.4.1. IMPRESSÃO 3D EM CIRURGIA ORAL

Começou-se por aplicar a tecnologia de impressão tridimensional diretamente nas cirurgias, nomeadamente em cirurgias de regeneração óssea ou em casos de perda óssea muito extensa. Através da impressão de estruturas de titânio foi possível reverter perdas ósseas de grandes dimensões assim como reconstruções mandibulares totais. Esta tecnologia começou a ter um papel crucial neste tipo de cirurgias, mostrando ser uma solução com precisão, rapidez e economicamente mais favorável. Trouxe vantagens, tais como, tempo de cirurgia reduzido, menor exposição do paciente à anestesia e níveis mais baixos de perda de sangue, tornando assim todo o

procedimento mais simples, mais rápido e eficaz (Wang, Suenaga, Hoshi, Yang, & Kobayashi, 2014).

Foi realizado um estudo no departamento de cirurgia Oral e Maxilofacial na Hebrew University - Hadassah School of Dental Medicine, em que foram realizadas cirurgias de reconstrução mandibular com o auxílio de impressoras 3D, que foram utilizadas para imprimir estruturas de titânio que pudessem ajudar na reconstrução óssea, estas impressoras também produziram réplicas da mandíbula contralateral, de modo a que os médicos pudessem ter uma perspectiva mais vantajosa sobre a cirurgia que iriam efetuar, não limitando o planeamento a imagens radiológicas ou tridimensionais de CBCT. Este estudo, concluiu, que a tecnologia de impressão tridimensional é uma mais valia para este tipo de cirurgias, tratando-se de uma tecnologia rápida, de produção fácil e vantajosa em termos de eficácia-custo. Apontam ainda para um futuro com a possibilidade desta tecnologia em cirurgias como, cirurgia temporomandibular e cirurgia ortognática (Cohen, Laviv, Berman, Nashef, & Abu-Tair, 2009).

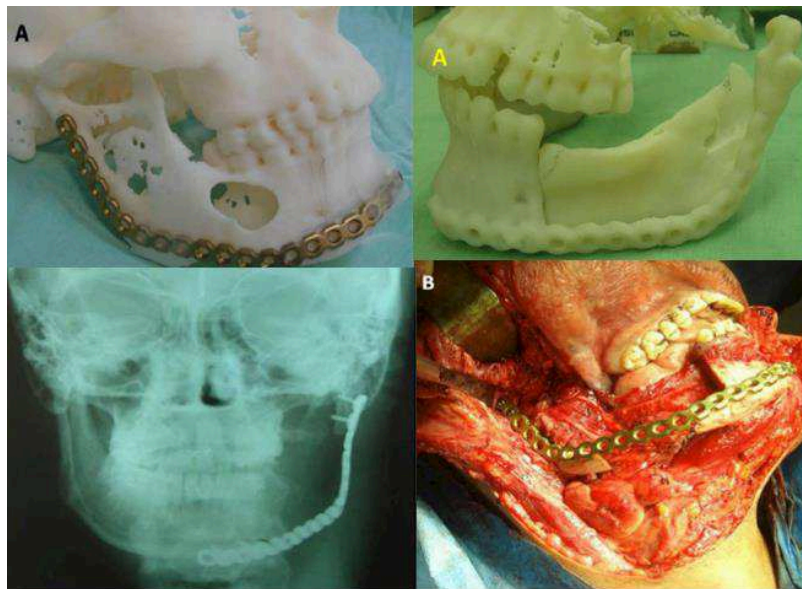


Figura 9 - Exemplo de cirurgias de reconstrução mandibular através da utilização de peças cirúrgicas impressas a partir de tecnologias tridimensionais (Adaptado de Cohen, 2009).

Neste tipo de reabsorções ou perdas ósseas muito extensas, seria muito vantajoso substituir o maior volume de osso possível, assim como acelerar ao máximo o processo de regeneração óssea, para tal, o mais indicado seria um transplante ósseo, mas esta possibilidade acarreta muitas desvantagens, entre elas, o baixo número de doadores e problemas de compatibilidade que podem levar a rejeição dos transplantes. Para superar essas desvantagens, foi posta a possibilidade da criação de estruturas que viriam a substituir a matriz extracelular, criando suporte estrutural, promovendo a fixação, assim como, a proliferação e diferenciação de células a fim de se proceder a produção de tecidos, estruturas ou órgãos funcionais (Do, Khorsand, Geary, & Salem, 2015).

Com o avanço das tecnologias de impressão tridimensional, é possível criar estruturas de fosfato de cálcio que tendem a substituir os excertos ósseos, apresentando melhorias comparativamente às técnicas de excertos convencionais. Para que estas técnicas sejam possíveis foi necessário haver algumas adaptações a nível da impressora, otimização das condições a que as impressões se processavam e alterações a nível dos ligantes de modo a melhorar a biocompatibilidade e a resistência dos materiais. Um estudo realizado por Jason A. Inzana nos Estado Unidos, no departamento de pesquisa musculoesquelética do centro Médico da Universidade de Rochester, demonstrou uma enorme estratégia de adaptação e conseguiu demonstrar que estruturas de fosfato de cálcio podem ser impressas com grande detalhe e resolução, possuindo micro porosidades que permitem a circulação de fluidos e trocas celulares durante a formação óssea. Demonstrou que as estruturas impressas deste modo têm capacidade osteocondutora, permitindo assim que as mesmas sejam substituídas e incorporadas durante a formação do novo osso. Neste estudo, coloca-se a possibilidade de adicionar colagénio a estas estruturas com a eventualidade de auxiliar e acelerar a regeneração óssea (Inzana, Olvera, Fuller, Kelly, Graeve, Schwarz, & Awad., 2014).

Existem ainda estudos mais ousados, como por exemplo, realizados por Chia e Wu para o diário de Engenharia Biológica, que através do uso de impressoras 3D, têm como objetivo a criação e impressão de tecidos moles com a utilização de diversos biomateriais. Esta torna-se uma tarefa árdua, visto que os tecidos moles possuem propriedades bastante complexas, como, alta elasticidade, flexibilidade e viscosidade. Para superar esta barreira, concluiu-se que seria necessária a criação de um bio papel impresso, que pudesse ser sobreposto entre camadas de modo a gerar uma construção complexa de tecido composto. Neste artigo, são revistos diversos materiais, as suas propriedades e a possibilidade de cada um ocupar o lugar do bio papel, a não descoberta

desse material é uma das limitações que faz com que a impressão de tecidos moles se mantenha apenas uma ideia. Outra oposição à realização desta ideia, é a complexidade dos tecidos moles, pois o fabrico das mesmas requer uma forma específica, porosidades, orientação de uma variedade de componentes, como células, fatores de crescimento e vascularização, estas características não invalidam a impressão de tecidos moles, mas é necessário que sejam realizados mais estudos e mais testes. Embora haja essas advertências, o estudo conclui que as impressoras 3D tem o potencial necessário para que um dia essa ideia seja possível de concretizar, e que ainda possa vir a ter um papel fundamental com o desenvolvimento das condições ideais (Chia et al., 2015).

II.4.2 IMPRESSÃO 3D EM IMPLANTOLOGIA ORAL

Outra aplicação das impressoras 3D na Medicina Dentária é na confecção de guias cirúrgicas para colocação de implantes. A maioria dos Médicos Dentistas que colocam implantes concordam que a utilização de guias cirúrgicas é uma grande vantagem, assim como a maneira mais previsível e segura de se proceder. Este tipo de procedimentos, visa a prevenção de danos a estruturas vitais, permite o alcance de melhores resultados e assegura uma maior longevidade dos tratamentos. A utilização de uma guia cirúrgica permite um melhor planeamento e garante que o mesmo seja executado com o máximo rigor, deste modo, são definidos parâmetros, tais como, a angulação, profundidade e localização exata do implante (Whitley, Eidson, Rudek, & Bencharit, 2017).

Com o desenvolvimento tecnológico, é possível o fabrico de guias cirúrgicas nas próprias clínicas, isto permite uma redução de custos e de tempo de espera do paciente. Através da análise de alguns estudos podemos concluir que existem autores que estão bastante satisfeitos com as guias cirúrgicas impressas em tecnologias tridimensionais, que embora sendo necessário alguns conhecimentos técnicos para confecção e manipulação das mesmas, os resultados obtidos são bastante satisfatórios e que aceitam esta tendência como uma opção bastante prática para a colocação de implantes (Whitley et al., 2017).

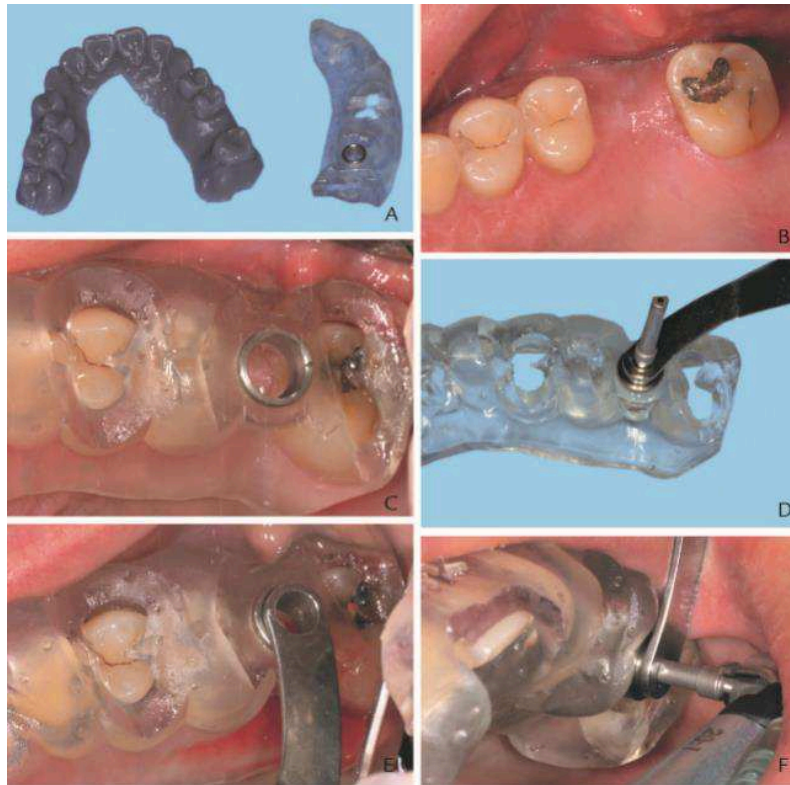


Figura 10 - Exemplo de aplicação de guia cirúrgica para colocação de implante impressa por estereolitografia (Adaptado de Whitley 2017).

Num estudo realizado por D'haese, Van De Velde, Komiyama, Hultin, & De Bruyn, 2012, em que foi avaliada a precisão da colocação de implantes com o uso de guias cirúrgicas impressas com auxílio de tecnologia tridimensional e impressas através de estereolitografia, o autor defende que estas não são tão rigorosas como visto anteriormente. Outros fatores, tais como, o tipo de guia (mucosa, dental ou óssea), o tipo de cirurgia (manual ou guiada) e os próprios materiais foram avaliados e concluiu-se que a influência destes pode ser bastante relevante, que combinando uma guia cirúrgica mucosa com uma colocação de implante manual a probabilidade de erro aumentava exponencialmente, assim como, ao utilizar uma guia cirúrgica com suporte dentário e uma técnica cirúrgica guiada, os resultados deverão ser mais favoráveis.

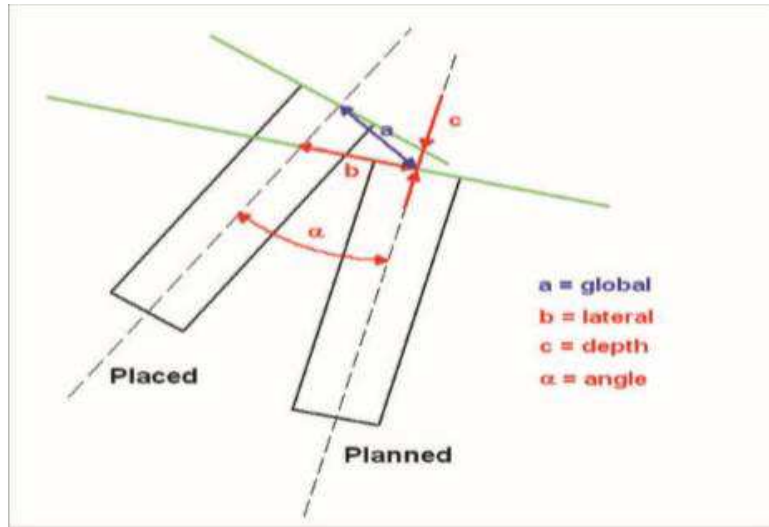


Figura 11 - Avaliação tridimensional do planejamento virtual e o resultado da colocação de implantes (Adaptado de D'haese 2010).

Embora possam existir discrepâncias entre o resultado pós-operatório e o planejamento pré-operatório, existem vários relatos que demonstram que a cirurgia guiada de implantes com planejamento de tratamento virtual assistido podem oferecer resultados bastante favoráveis, concluindo assim que a grande parte das complicações se devem a erros durante os procedimentos, os quais são muito poucas vezes relatados (D'haese, Van De Velde, Komiyama, Hultin, Bruyn., 2012).

Outro caso de evidência onde a tecnologia de impressão tridimensional pode ter um papel crucial, é comprovado através de um estudo clínico, realizado por Samy Tunchel, que engloba desde o fabrico dos implantes, a colocação dos mesmos e ao seguimento radiográfico, clínico e protético de cada implante em cada paciente. Todos os implantes utilizados para este estudo foram fabricados através de tecnologias de impressão tridimensional, mais propriamente, na Alemanha, através do uso de um sistema de laser, Eosint 270, que fundindo pó de liga de titânio, camada a camada, formou os implantes que foram utilizados. Neste estudo foram colocados 110 implantes unitários (65 maxilares e 45 mandibulares) em 82 pacientes (44 de sexo masculino e 38 de sexo feminino) e cada caso foi seguido como estudo clínico durante 3 anos. A taxa de sobrevivência dos 110 implantes foi de 94,5%, onde apenas 6 implantes foram considerados como não sucedidos, e uma taxa de sucesso de 94,3% de sucesso na relação implante-coroa. Considerando estes resultados, os implantes produzidos através das tecnologias tridimensionais parecem representar

uma opção clínica de bastante sucesso em reabilitações singulares (Tunchel, Blay, Kolerman, Mijiritsky, & Shibli, 2016).

Uma das mais recentes aplicações das impressoras 3D na Medicina Dentária, mais especificamente, na área da Cirurgia, é a utilização das mesmas, para confecção de guias cirúrgicas para realização de cirurgia de levantamento de seio maxilar com acesso por janela lateral. Este tipo de cirurgias, está recomendado, quando a altura de osso alveolar não é suficiente para colocação de um implante dentário, surgindo, como consequência da perda de peças dentárias, que posteriormente leva a reabsorção óssea da crista alveolar e conseqüentemente à expansão inferior do seio maxilar. O procedimento mais comum neste tipo de cirurgias, baseia-se, em cortar uma janela na parede lateral do seio maxilar, levantar a membrana de Schneider, colocar material de enxerto na cavidade e cobrir a janela lateral com uma membrana de colagénio reabsorvível. Atualmente, o planeamento cirúrgico de elevação de seio maxilar é realizado através da *Cone Beam Computed Tomography* (CBCT). Esta, revela detalhes anatómicos tridimensionais, tais como, a espessura da parede óssea cortical, a presença de septos, morfologia sinusal e o estado da membrana. Os dados digitais são enviados para o Médico Dentista, que com o auxílio de um software de análise de imagem 3D, consegue elaborar um plano cirúrgico, estimando o volume necessário e selecionando o material ideal para enxerto. No entanto, é durante os procedimentos cirúrgicos que se enfrentam os maiores desafios. É necessário, que o acesso lateral, tenha a forma e a localização adequadas, tendo em conta, que é necessário evitar estruturas, como, dentes adjacentes, septos sinusais e ramos arteriais (Tuce, Arjoca, Neagu, & Neagu, 2019).

Foi realizada uma simulação prática da cirurgia de elevação do seio maxilar. O primeiro passo, é naturalmente, uma análise digital dos dados fornecidos pelo CBCT e em seguida, o planeamento cirúrgico digital. Planeamento da posição da janela de acesso em dois planos, a seção axial e a seção transversal. Utilizando a inserção desses planos são delimitados quatro cantos, que vão servir como guia de “corte”, juntando esses cantos e cortando a área delimitada vai então ser formada a janela lateral. Estando completa a fase de programação da guia cirúrgica, esta vai ser impressa em Resina *NextDent SG*, sendo posteriormente processada num banho de álcool e fotopolimerizada novamente. Para uma simulação prática do procedimento de elevação do seio maxilar, foi necessário um modelo realista que também incorpore uma membrana sinusal artificial elástica. Após todas as condições estarem reunidas e os materiais todos prontos para a simulação pratica,

deu se então início a cirurgia de elevação do seio maxilar simulado. Primeiro, a guia cirúrgica foi colocada, apoiada nos dentes adjacentes, e com a ajuda da peça de mão, foram delimitados os cantos da janela lateral pré-definida através da guia cirúrgica. Em seguida, a guia cirúrgica foi removida, e com a peça de mão, utilizando os quatro pontos de referência, foi cortada a parede externa até que a membrana artificial fosse atingida. Uma vez criada a janela de acesso, foi utilizada uma cureta de elevação de seio, para efetuar o descolamento do seio das paredes e posteriormente a elevação do mesmo. Sob a membrana sinusal elevada, foi inserido, em substituição a uma membrana de colagénio, um pedaço de papel absorvente. A parte externa foi usada posteriormente para selar a janela de acesso e para o preenchimento da cavidade, foi utilizado material de adição preparado a partir de macarrão de arroz triturado (como um substituto para o material de adição óssea comumente usado). As guias cirúrgicas, permitem a realização de uma cirurgia mais rápida e garantem resultados previsíveis. Embora o seu fabrico exija um esforço interdisciplinar, progressos recentes na modelagem digital e na impressão 3D, podem ser aproveitados para a produção confiável de guias cirúrgicas personalizadas e modelos anatómicos. Este tipo de procedimentos, permite uma melhor comunicação com o paciente, tornando mais fácil a compreensão dos procedimentos (Tuce et al., 2019).

II.4.3. IMPRESSORAS 3D EM ORTODONTIA

A utilização da tecnologia tridimensional trouxe imensos benefícios à Ortodontia, através da digitalização da cavidade oral do paciente e com a ajuda de softwares de ortodontia, é possível que o Médico Dentista consiga mostrar ao paciente todas as fases que o tratamento exige, assim como o resultado final pretendido, isto leva a uma motivação extra para o paciente e torna-se mais claro de explicar e instruir os pacientes para cada fase do tratamento necessário. O uso desta tecnologia permite-nos também a construção de modelos dentários, a confeção de aparelhos removíveis, suportes e arcos personalizados, mas as aplicações mais comuns na área da Ortodontia, é a confeção de retentores, expansores, aparelhos para apneia do sono, protetores orais e alinhadores dentários (Taneva, Kusnoto, & Evans, 2015).

Com a ajuda dos softwares dentários, o Médico Dentista, pode planear todo o tratamento ortodôntico digitalmente, movendo as peças dentárias até obter o resultado pretendido, após este passo, é possível imprimir uma sequência de alinhadores, os quais o paciente terá de usar em fases

específicas do tratamento até alcançar o resultado pretendido, ou até após a conclusão do tratamento, de modo a manter as peças dentárias nas posições corretas. Este avanço na Medicina Dentária permite que o planeamento ortodôntico seja feito de forma mais detalhada e com menos consultas programadas, pois o paciente leva os alinhadores para casa tornando assim a frequência de visitas ao Médico Dentista menor (Groth et al., 2014).

Outra aplicação da tecnologia tridimensional é a confecção de goteiras de relaxamento ou de controlo da disfunção temporomandibular, desta forma, é reduzido o tempo de laboratório e as goteiras são confeccionadas com maior precisão. A impressão de *brackets* também é uma das aplicações das impressoras 3D, tornando possível a realização das mesmas de forma customizada e adaptada à superfície de cada dente, estas podem ser colocadas de forma mais precisa através do uso de guias, impressas com a mesma tecnologia (Dawood et al., 2015).

II.4.4. IMPRESSORAS 3D EM ENDODONTIA

Os modelos impressos através de impressoras 3D podem desempenhar o mesmo papel que os modelos convencionais de gesso, podem até superar esse método convencional, pois conseguem ser mais facilmente produzidos, armazenados e trocados eletronicamente. Podem ser fabricados em várias cores, texturas, transparências e podem ter propriedades mecânicas que podem ser úteis para simulações ou até para distinção de diversos tipos de tecidos. Deste modo, a utilização destes modelos em 3D pode ser vantajoso no ramo da Endodontia, podendo ser úteis no auxílio didático para os alunos, melhorando a capacidade de percepção da morfologia dos dentes, raízes e canais, até mesmo para o estudo de acessos endodônticos e preparações de canais radiculares de difícil acesso (Anderson, Wealleans, & Ray, 2018).



Figura 12 - Modelos impressos através do uso de tecnologia tridimensional (Adaptado de Shah 2018).

Outra aplicação da tecnologia de impressão tridimensional na Endodontia pode ser em casos com dificuldade mais acentuada, como por exemplo, dificuldade na localização das entradas dos canais, obliterações dos canais pulpare, anomalias de desenvolvimento, dificuldade em precisar os locais de osteotomia e o nível correto de resseção radicular devido à proximidade de estruturas anatómicas críticas, espessura das placas corticais, posição difícil do dente ou até orientação dos ápices radiculares. Para superar estas dificuldades e otimizar os resultados endodônticos, pode ser útil a utilização de guias cirurgicas impressas em 3D (Shah & Chong, 2018).

Para tentar comprovar a eficácia de guias endodônticas foram realizadas investigações em que foram impressas guias de acesso endodôntico para direcionar brocas para espaços cujos acessos se encontravam com acessibilidade muito reduzida ou nula. Foram descritos relatos de casos, que descreviam o uso de guias endodônticas para aceder a incisivos superiores, molares inferiores e incisivos inferiores com canais obliterados. Estas investigações sugerem que o uso de guias de acesso endodôntico impressas em 3D representam um meio eficiente e seguro de abordar cenários endodônticos desafiadores, permitindo o desbridamento químico e mecânico, assim como a conservação da estrutura dentária. O tratamento de dentes com obliteração do canal pulpar, má posição ou restaurações extensas pode ser mais eficaz através do uso de guias cirurgicas endodônticas impressas com tecnologia tridimensional (Tunchel et al., 2016).

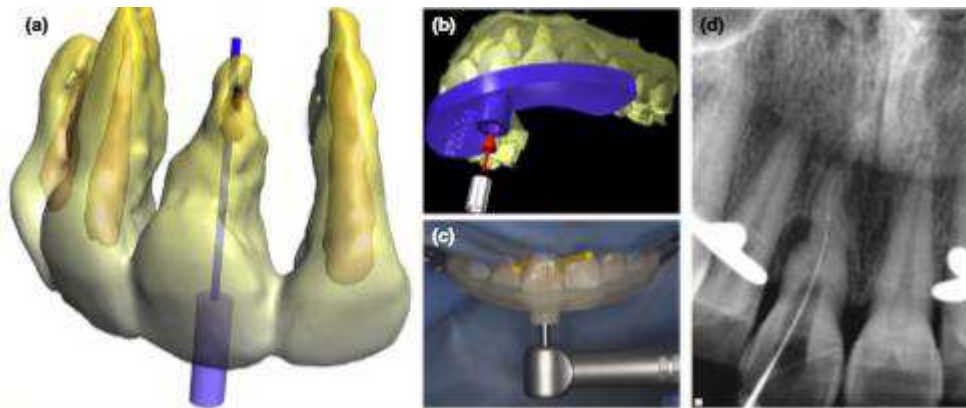


Figura 13 - Guia de acesso Endodôntico impressa em 3D
(Adaptada de Anderson 2018).

A microcirurgia endodôntica requer uma osteotomia e uma ressecção radicular com base em medições pré-operatórias, concluídas através de análises de imagens radiográficas. Para realização de um osteotomia é necessário que haja um planeamento pormenorizado, em que se estuda a orientação, angulação e a profundidade de preparação, estes fatores nem sempre são previsíveis e por vezes pode ocorrer o erro humano, para prevenir esse tipo de situações podemos contar com a tecnologia de impressão tridimensional, que nos permite confeccionar uma guia cirúrgica de modo a reduzir a possibilidade do erro, em que, a guia cirúrgica irá providenciar o acesso planeado previamente, resultando em osteotomias mais precisas e resultados cirúrgicos mais favoráveis (Anderson et al., 2018).

Estudos descreveram o uso de uma guia de cirúrgica endodôntica impressa em 3D com a margem superior e inferior da Osteotomia bem definidas, assim como o local de ressecção da raiz e a angulação correta, através destes estudos concluíram que com a utilização de uma guia cirúrgica endodôntica foi obtida maior precisão cirúrgica, minimizando o risco de perfuração do seio peri nasal, tempo de cirurgia reduzido e maior eficácia nos tratamentos. Num desses estudos, foi utilizado um retrator de tecidos personalizado impresso em 3D de modo a obter um acesso menos condicionado e permitir o manuseamento mais facilitados dos tecidos moles durante a cirurgia (Tunchel et al., 2016).

Através da introdução da tecnologia de impressão tridimensional na Endodontia é expectável que os tratamentos se tornem mais simples, sendo minimamente invasivos, com maior precisão, redução do tempo de cirurgia, melhores resultados cirúrgicos, melhoria no conforto do paciente e

um maior desenvolvimento das habilidades endodônticas do Médico Dentista (Shah & Chong, 2018).

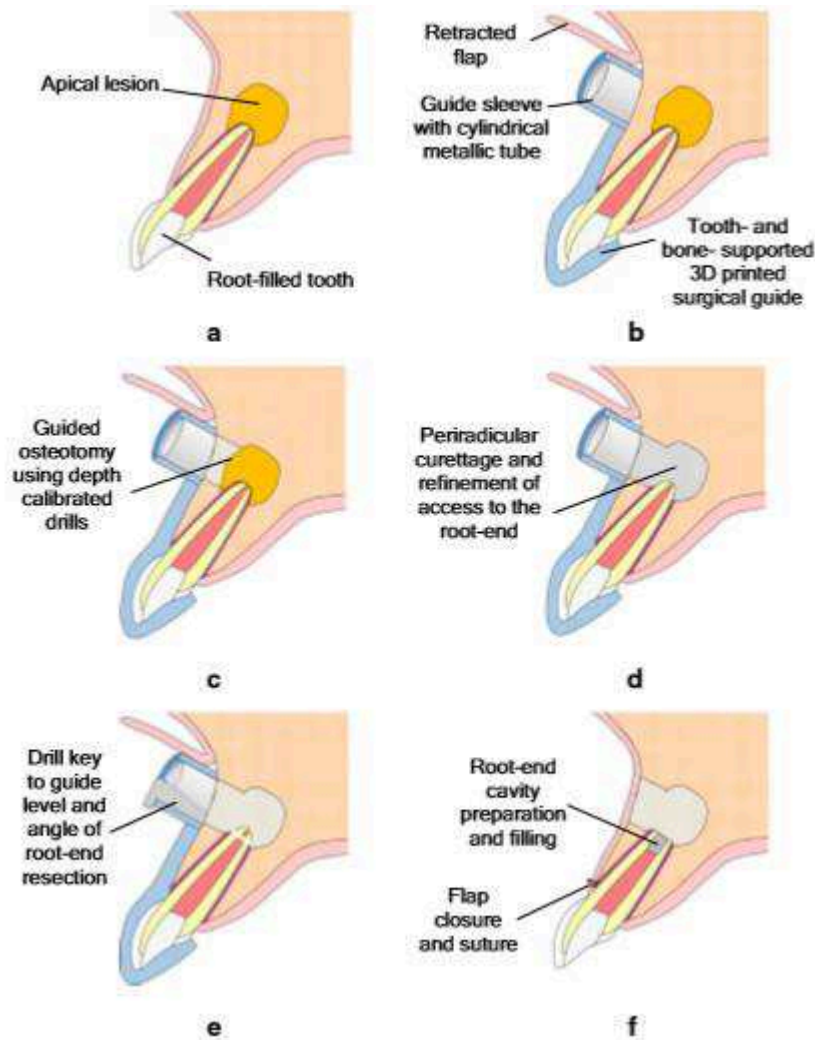


Figura 14 - Tratamento cirúrgico endodôntico utilizando uma guia cirúrgica impressa em 3D (Adaptada de Shah 2018).

II.4.5. IMPRESSORAS 3D EM DENTISTERIA

Em Dentisteria, e tudo o que envolve procedimentos restauradores, são necessários materiais restauradores para reconstruir e reparar os efeitos e perda de tecido dentário causados pela cárie dentária, bem como para a reabilitação oclusal. Atualmente, o material de eleição em Dentisteria

são as resinas compostas como meio de preenchimento direto, que promovem resultados estéticos e geralmente eficazes. No entanto, as resinas compostas, em variados casos, estão associadas a problemáticas como, a microinfiltração e o risco de cárie secundária. Assim, surge a necessidade da procura de novos materiais duradouros e de técnicas inovadoras, que possam vir a diminuir o risco de falha, mas que cumpram critérios como, estética, durabilidade e uma relação qualidade/preço adequada ao tratamento, principalmente no que concerne a procedimentos de Dentisteria restauradora (Ahlholm, Lappalainen, Lappalainen, Tarvonen, & Sipilä., 2019; Kaisarly, & El Gezawi., 2016).

Deste modo, as técnicas de impressão 3D, surgindo como uma técnica aditiva, podem vir a solucionar desafios relacionados com a durabilidade das restaurações dentárias e ainda ser utilizadas na realização de restaurações mais complexas, como é o caso de restaurações indiretas e restaurações que possam envolver o recobrimento de uma ou várias cúspides, alcançando uma eficácia aceitável e ainda um custo razoável face a outras técnicas convencionais (Ahlholm et al., 2019).

Um estudo, realizado por Alharbi, Osman, & Wismeijer, 2016, com o objetivo de avaliar a resposta de um modelo, impresso em resina, sujeito a forças de carga consoante a direção de impressão do mesmo, testou dois grupos de blocos fabricados através de impressoras 3D, o primeiro grupo, com 20 blocos impressos verticalmente, com a orientação das camadas perpendicularmente à carga que seriam sujeitos, e o segundo grupo, com 20 blocos, impressos horizontalmente, com as camadas paralelas à carga. Todos os modelos foram impressos pela mesma impressora e com o mesmo material, sendo também todos sujeitos aos mesmo processos pós-impressão, limpos com etanol a 95%, fotopolimerizados (UV) durante trinta minutos, analisados para quaisquer deformações e polidos com discos de polimento. Todas as amostras foram sujeitas ao mesmo teste, American Standard Test Method (ASTM), um teste de compressão de plásticos rígidos, com uma máquina de teste universal (Instron 6022), em condições iguais para todas as amostras. Após os testes de deformação, todas as amostras foram analisadas com um microscópio de eletrões. As peças do primeiro grupo, com força perpendicular à orientação das camadas, apresentaram deformações laterais, com inclinação das camadas e alterações na altura das peças, o efeito de separação das camadas foi praticamente nulo. No segundo grupo, com força paralela à orientação das camadas, observou-se ao microscópio de eletrões, uma fenda principal, que representava separação das

camadas, e fendas secundárias que provinham da fenda primária. Não houve deformações laterais, mas as peças sofreram deformação em forma de barril. Os autores, concluíram, que a direção de impressão das camadas vai ter influência nas deformações das peças quando sujeitas a forças de carga, e que as peças impressas na vertical, sujeitas a forças perpendiculares, apresentaram uma maior resistência às forças de carga. Tornando-se assim, a direção de impressão, um fator a ter conta quando o fabrico de peças restauradoras através das tecnologias de impressão tridimensional (Alharbi, Osman, & Wismeijer, 2016).

As impressoras 3D, estão preparadas para criar estruturas com praticamente qualquer forma ou geometria, fabricando peças que promovem um eficaz ajuste marginal e interno da restauração, que por si só, pode ser um dos mais importantes fatores que tende a evitar falhas na restauração e que melhora significativamente o prognóstico do tratamento (Ahlholm et al., 2019).

As peças e estruturas impressas pela técnica 3D, podem alcançar uma maior precisão de restauração em comparação com as técnicas tradicionais de fresagem, frequentemente utilizadas. A eficiência da precisão, pode prevenir complicações biológicas relacionadas com as restaurações *inlay* e *onlay*, como a recorrência de cárie, dificuldades de adaptação, obstáculos no tratamento endodôntico e ainda fratura das peças dentárias. Além da precisão, as técnicas 3D envolvem uma baixa perda de material e a duração de fabrico das estruturas é rápida, sendo esta uma tecnologia que provavelmente, no futuro, poderá mesmo passar a fazer parte do dia-a-dia do Médico Dentista (Ahlholm et al., 2019).

Ahlholm et al., em 2019, realizaram um estudo, que serviu para avaliar e comparar, a precisão de restaurações indiretas, realizadas a partir de técnica de impressão tridimensional, e por técnicas de fresagem. Neste estudo, os resultados sugerem que a impressão 3D pode oferecer uma solução para restaurações com cavidades desafiadoras, bem como uma melhor precisão da restauração em todos os aspetos, quer em diferentes tipos de restauração e formas de cavidades. É necessário considerar, que a rigidez dos materiais de restauração, a viscosidade do material de impressão no momento da realização da restauração e ainda a pressão aplicada, podem criar variações e incertezas perante estes resultados, no entanto não há dúvida que foi descrita a técnica 3D como tendo uma boa reprodutibilidade e consistência. Adicionalmente, a realização de restaurações a partir da impressão 3D, proporciona uma produção económica, bem como, a possibilidade de um

aumento na longevidade das peças dentárias e sucesso de possíveis tratamentos protéticos sob essas peças dentárias, graças ao aprimoramento do ajuste. Um fator, que representa assim, a primeira desvantagem das impressoras 3D na Dentisteria restauradora, pode ser o valor que pode acarretar para os pacientes, sendo esta tecnologia uma nova aquisição para qualquer laboratório ou consultório. Ainda assim, a tecnologia 3D não envolve tantas restrições como as técnicas convencionais de fresagem, em que a precisão das restaurações é limitada às ferramentas de usinagem da unidade de fresagem, nesta técnica mais recente, tanto a facilidade e rapidez de execução são mais vantajosas, tal como a disponibilidade de materiais que podem ser utilizados, é mais ampla. As impressões 3D, também permitem a correção de erros, medidas ou ângulos de forma simples durante a impressão. Apesar deste estudo ser um potencial indicador que as impressões 3D desempenham, cada vez mais, um papel importante na área da Dentisteria, é necessária a realização de pesquisas mais aprofundadas, de modo a garantir a viabilidade e resultados, principalmente de restaurações com carácter definitivo e procedimentos com todos os tipos de dentes e lesões de cárie, principalmente devido ao estudo da biocompatibilidade dos materiais de restauração impressos em 3D.

As restaurações indiretas são o tipo de procedimento em Dentisteria, que mais pode vir a beneficiar do uso de impressões 3D, uma vez que é possível que desafios como a durabilidade e propriedades estéticas sejam resolvidos com o uso desta tecnologia. Mesmo sendo reconhecida a necessidade de serem desenvolvidos mais estudos, é de notar, que uma grande parte dos Médicos Dentistas já começou a adotar estas técnicas inovadoras, sentindo que através destes métodos, é possível proporcionar um tratamento restaurados mais eficaz ao paciente (Ahlholm et al., 2019).

Em relação á realização de restaurações de carácter provisório, ou seja, funcionais durante um breve período da reabilitação oral, existem poucas dúvidas de que as impressoras 3D possam ter um grande potencial (Tahayeri, Morgan, Fugolin, Bompolaki, Athirasala, Pfeifer, & Bertassoni., 2018).

II.4.6. IMPRESSORAS 3D EM PROSTODONTIA

A tecnologia de impressão tridimensional desenvolveu-se rapidamente nos últimos anos, com várias aplicações na Prostodontia Dentária, pois economiza tempo, mão de obra e garante um bom ajuste marginal. Uma das grandes vantagens desta tecnologia aditiva, é a capacidade de trabalhar com diversos materiais, tais como, polímeros, compósitos, metais e ligas com estruturas densas e com rugosidades superficiais predeterminadas. Estas também permitem o fabrico de formas geométricas mais complexas, bem como o uso de diferentes materiais para diferentes partes do mesmo objeto. Atualmente, as impressoras mais utilizadas na Prostodontia Dentária são, Estereolitografia (SLA), Fotopolimerização *Polyjet* (PPP), Sinterização Seletiva por Laser (SLS) e Modelagem de Deposição por Fusão (FDM), estas trabalham principalmente com ceras, ligas metálicas, materiais de resina e cerâmicas (Torabi, Farjood, & Hamedani, 2015).

A viabilidade da impressão 3D no fabrico de próteses dentárias tem vindo a aumentar nos últimos anos, estas podem ter aplicações na confeção de guias cirúrgicas de implantes, estruturas para próteses parciais fixas e removíveis, padrões de cera para prótese dentária, próteses de zircónica, moldes para peças fundidas em metal próteses maxilofaciais e próteses totais. Estas conseguem contribuir para um melhor planeamento e desenvolvimento de próteses dentárias, reduzindo também o tempo de exposição intraoral dos pacientes (Torabi et al., 2015).

II.4.6.1 FABRICO DE PADRÕES DE CERA PARA CONSTRUÇÕES PROTÉTICAS

Com a introdução das tecnologias tridimensionais, nomeadamente, a Estereolitografia, é possível a impressão direta de modelos em cera, tais como, estruturas protéticas ou construções dentárias. Depois de impressas as estruturas em cera, é necessário que o resto do processo seja feito de forma convencional, através da criação de moldes que permitam a substituição da cera por metal fundido. Desta forma, o processo consegue ser mais acessível, pois os processos de fabricação direta de estruturas metálicas, tais como, a fusão a laser, permanecem financeiramente inatingíveis para a maioria dos laboratórios protéticos (Katreva, Dikova, Abadzhiev, & Tonchev, 2016).

II.4.6.2. FABRICO DE ESTRUTURAS PROTÉTICAS DE METAL

O fabrico direto de estruturas de prótese metálicas, através das tecnologias tridimensionais já é possível, por meio de utilização de uma impressora de sinterização a laser seletiva, que através de um laser, é capaz de fundir partículas camada a camada, até formar o modelo desejado. Este tipo de tecnologias permite a eliminação de processos como, a substituição de ceras por metais fundidos, eliminando assim o risco de errar. Este processo, é fundamental quando se trata de estruturas metálicas com geometrias complexas e com alto nível de personalização, também permitem a redução do número de etapas neste tipo de processos (Katreva et al., 2016).

II.4.6.3. IMPRESSÃO 3D DE MOLDES PARA FUNDIÇÃO DE METAL.

As impressoras 3D permitem a realização de moldes que são impressos em cerâmica a partir da técnica aditiva, que visam melhorar a técnica de fundição de metal na realização de próteses com infraestruturas metálicas (Katreva et al., 2016).

Com o auxílio destas tecnologias, cria-se então um molde adequado ao tipo de complexidade da estrutura em questão, de forma rápida e sem a necessidade do uso de ceras, bem como processos tradicionais que ocupam demasiado tempo, como a fabricação de modelos em cera e núcleo, moldagem da cera e do núcleo ou imersão e eliminação da cera. Esta nova tecnologia visa substituir as técnicas convencionais, demonstrando ser mais eficaz e sem grandes perdas de material (Torabi et al., 2015).

II.4.6.4. IMPRESSÃO 3D DE MOLDES PARA PRÓTESES TOTAIS

Embora seja uma aplicação bastante estudada e onde se desenvolvem imensos estudos, a utilização da tecnologia tridimensional na realização de próteses totais ou mesmo moldes para próteses totais, ainda não mostrou ser uma técnica de eleição no fabrico destas próteses. O objetivo da utilização de moldes impressos em 3D em prótese total, passa pela fabricação de um molde físico da prótese, e posterior procedimento convencional em consultório. Ainda assim são necessários registos gráficos dos dentes artificiais em três dimensões para possibilitar o seu correto posicionamento da arcada, bem como dados 3D de modelos desdentados e dos maxilares em relações centradas e o

aparecimento de um software indicado e funcional para prótese total que englobe todos estes parâmetros, necessários para alcançar o sucesso nesta área (Torabi et al., 2015).

II.4.6.5. FABRICO DE RESTAURAÇÕES TOTALMENTE EM CERÂMICA

Através do método de *Binder Jetting*, é possível o fabrico de restaurações totalmente em cerâmica. Com a ajuda das tecnologias de leitura tridimensional, este pode ser um método inovador, com capacidade de reprodução de restaurações com alta precisão com desperdício mínimo de materiais. Este método encontra-se em fase experimental, mas poderá ser uma hipótese viável num futuro próximo. Se este realmente for um método fiável, poderá eliminar as impressões convencionais, sendo estas substituídas por digitalizações das estruturas dentárias, reduzindo a possibilidade de deformações teciduais. O espaço de armazenamento necessário vai ser reduzido, devido a digitalização dos dados e ao arquivo do mesmo em discos rígidos.

Quando debatidas as vantagens e desvantagens destes métodos, a maior desvantagem para as técnicas tridimensionais, na realização de restaurações totais em cerâmica, passa pelo custo que as mesmas envolvem (Torabi et al., 2015).

No decorrer dos anos, foram efetuados estudos, onde se ponderaram os procedimentos e as aplicações que este tipo de tecnologia poderia auxiliar e melhorar, deste modo, pondera-se o uso das impressoras 3D para o fabrico de padrões de cera para confeção de próteses dentárias, coroas totalmente em cerâmica, próteses metálicas e impressão de moldes para a confeção de próteses (Sun & Zhang, 2012).

Para comprovar a precisão de modelos dentários fabricados por impressoras 3D, foi realizado um estudo comparativo com o método convencional. Park & Shin em 2018, fabricaram um modelo principal, que serviu como referência ao longo do estudo, este modelo foi fabricado com um material semi-cristalino e termoplástico chamado *PolyetherKetoneKetone* (PEKK), este, possui uma grande resistência a altas temperaturas, químicos, assim como tem uma grande capacidade de aguentar grandes cargas mecânicas. A partir deste modelo, produziram 10 modelos através de técnicas convencionais, utilizando gesso do tipo IV, e ainda utilizaram um scanner (5 Series; *Dental Wings*) para produzir um ficheiro capaz de ser fabricado através das impressoras 3D. A partir desse ficheiro, utilizaram três impressoras diferentes, *Polyjet* (Objet EDEN260V; *Stratasys*

Ltd), DLP- UV LED (*ProMaker D35; Prodways*) e DLP-UV (*LC-3Dprint; Nextdent*) para imprimir 10 modelos a partir de cada uma. Esses modelos foram depois sujeitos ao mesmo scan que o modelo principal, tornando assim possível a comparação digital das informações de cada modelo. Os ficheiros de cada modelo foram sobrepostos ao ficheiro do modelo principal, através de um software especializado, a fim de serem comparados vários parâmetros, entre estes. Os resultados da análise dos modelos, mostraram discrepâncias significativas entre os modelos obtidos através dos métodos convencionais, que apresentaram menores alterações volumétricas, comparativamente com os modelos obtidos através de impressoras 3D. Também foram relatadas diferenças volumétricas e de acabamento entre os modelos impressos pelos diferentes tipos de impressoras. Os modelos impressos através da impressora DLP com uso de luz ultravioleta, foram os que apresentaram resultados mais próximos do modelo principal, tornando este, o método de impressão tridimensional mais fiável.

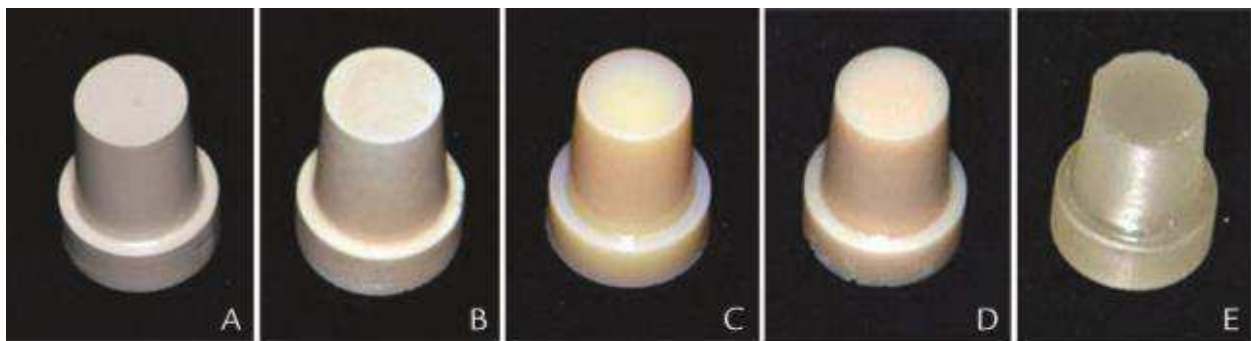


Figura 15 - A, Modelo principal. B, Modelo em gesso tipo IV. C, Polyjet. D, Digital Light processing-UV LED. E, Digital Light processing- UV (Adaptada de Park & Shin 2018).

Os modelos das impressoras 3D foram sujeitos a análise de mapas de cores, e foi conclusivo que qualquer um dos modelos apresentados, tem tendência a apresentar deformações. Deste modo, a conclusão deste estudo, é que os modelos obtidos pelos métodos convencionais conseguem ser os que apresentam menores discrepâncias volumétricas, mantendo assim, os métodos convencionais, os mais fidedignos na Medicina Dentária (Park & Shin, 2018).

Outro estudo que compara os métodos de impressão tridimensional, foi conduzido por Kim et al., em 2018, em que foram usadas quatro impressoras 3D diferentes, com quatro técnicas distintas, Estereolitografia (SLA), Processamento por Luz Digital (DLP), Modelagem por Deposição Fundida (FDM) e Fotopolimerização Polyjet (PPP), em que cada impressora fabricou cinco

modelos que serviram para comparação entre si. Cada modelo foi sujeito a um scan de modo a que pudessem ser digitalizados e comparados através de um software específico (*Geomagic Control; 3D Systems, Rock Hill, SC*). Neste estudo, e através da ajuda do software, foram analisadas várias componentes de cada modelo, dimensão méso-distal dos dentes de cada modelo, dimensão das arcadas através de referências como, distância inter-canina e distância inter-molar, e ainda medições oclusais, as quais, foram definidas através do próprio software, utilizando os primeiros molares como referência. Os resultados do estudo em questão, mostraram que não houve discrepâncias entre modelos no que toca a dimensões méso-distais dos dentes, mas que foram apresentadas diferenças volumétricas no que toca a altura coronária dos diferentes modelos. Em relação as medições das arcadas, foram apresentadas algumas discrepâncias entre modelos, assim como nas medições oclusais. Os modelos que demonstraram maiores desníveis nas medições, foram os obtidos através das técnicas de Estereolitografia e de Modelagem por Deposição Fundida, contrariamente aos modelos fabricados pelas técnicas de *Polyjet* e Processamento por Luz Digital, que demonstraram consistência nas medições entre modelos. Os autores do estudo concluíram, que os modelos impressos em 3D poderão ter algumas aplicações na Medicina Dentária, nomeadamente em áreas como, a Ortodontia.

Num estudo, realizado por Williams, Bibb, Eggbeer, & Collis, em 2006, utilizaram uma impressora de Sinterização seletiva de Laser para confecção de uma estrutura metálica em Cromo-Cobalto para uma prótese parcial removível. O uso da tecnologia de impressão tridimensional, foi com o intuito de reduzir o tempo de realização da prótese e eliminar o processo de fundição, reduzindo quantidade de material consumido. A utilização desta tecnologia mostrou potencial de aplicação na prostodontia, devido á capacidade de reproduzir geometrias complexas diretamente em ligas metálicas, resistentes a corrosão, como o Cromo-Cobalto, utilizando apenas dados CAD.

As técnicas de impressão tridimensional têm vindo a desempenhar, cada vez mais, um papel importante na Medicina Dentária, mas as aplicações na Prostodontia ainda são relativamente raras. Contudo, as próteses dentárias, podem ser diretamente fabricadas, camada a camada, através de um modelo digital, de maneira fácil, rápida, por diversas técnicas tridimensionais, sem ferramentas específicas nem intervenção humana. Esta, é uma técnica revolucionária de fabrico de próteses, que com o desenvolvimento, a pesquisa e materiais, nos permite obter diversos tipos de próteses dentárias para diferentes casos e aplicações (Sun & Zhang, 2012).

Não há dúvidas, de que esta tecnologia, conseguirá substituir muitas etapas da confecção de próteses, criando vantagens, reduzindo os erros associados a alterações dimensionais das impressões e moldes convencionais, tornando possível a digitalização de todos os dados necessários ou até mesmo, de todo o processo convencional (Sun & Zhang, 2012).

II.5. O FUTURO DA TECNOLOGIA TRIDIMENSIONAL

Dentro de um espaço de, aproximadamente 5 anos, prevê-se um grande desenvolvimento por parte das tecnologias de impressão tridimensional, um aumento nas possibilidades de produtos que estas irão poder confeccionar assim como um aumento na resistência, na qualidade e nos detalhes dos mesmos. Estima-se que estará disponível, uma vasta gama de projetos em CAD-CAM, com a possibilidade de download para impressão no consumidor final, como por exemplo em casa. Com o aumento do número de impressoras 3D disponíveis, resultando numa descida no custo de aquisição das mesmas, e com os custos dos materiais mais baixos, vai resultar numa subida no número de aquisições deste tipo de tecnologias. A disponibilidade deste tipo de tecnologias, para fabricar peças com maiores dimensões, com maior rapidez e mais detalhe, vai aumentar, permitindo uma maior variedade de produtos que podem resultar deste tipo de processos. Deste modo, as impressoras 3D, vão estar presentes em quase todos os mercados devido a versatilidade e às vantagens das mesmas, desde uma fábrica industrial de fabrico de peças de automóveis, a uma clínica dentária, até na garagem de alguém com projetos e ideias novas para reproduzir (Berman, 2012).

Existem projetos aprovados, sobre impressoras capazes de imprimir dosagens de medicamentos. Estima-se, que as impressoras tridimensionais ideais para esse tipo de fabrico, sejam capazes de produzir formas de dosagem versáteis com segurança, qualidade e estabilidade aceitáveis, ter baixo consumo e serem de fácil manuseamento por pessoas que não sejam especialistas na área. O poder das impressoras 3D na área farmacêutica é evidente, sendo esta tecnologia capaz de revolucionar a produção de medicamentos (Trenfield, Awad, Goyanes, Gaisford, & Basit, 2018).

Existem desafios únicos à frente das tecnologias de bio impressão tridimensional para uso clínico, especificamente, existem limitações no que toca à produção e utilização deste tipo de tecidos, pois devem possuir características únicas, além disso, existem outras barreiras que impedem o uso deste

tipo de tecidos, tais como, a impossibilidade de serem produzidos diretamente no local onde são necessários, como por exemplo, na sala de operações. A inovação desta tecnologia de bio impressão tridimensional tem o potencial de vir a revolucionar a Medicina, trazendo possibilidades para transplantes de tecidos e órgãos, triagem de medicamentos e Medicina regenerativa. Apesar dos avanços na área de bio impressão, o fabrico de tecidos permanece muito complexa e desafiadora. No entanto, acredita-se que num futuro próximo, a bio impressão tridimensional alcançara novos patamares, com precisão orientada para o paciente e no fabrico de tecidos complexos (Matai, Kaur, Seyedsalehi, McClinton, & Laurencin, 2019)

III. CONCLUSÃO

A técnica de impressão 3D, uma técnica de confecção aditiva, promove um desperdício de material muito mais reduzidos que as técnicas convencionais, em alguns casos, tornando-o nulo. Permite um armazenamento digital, reduzindo o espaço necessário de arrumação e possibilitando, uma vez mais, a redução de material gasto, devido à possibilidade de planeamentos digitais.

Ao longo do trabalho realizado, foram descritos os benefícios e as possíveis aplicações desta tecnologia nas diversas áreas da Medicina Dentária, mostrando a capacidade de introdução das mesmas em diversos tratamentos. Desde uma simples impressão, para um planeamento cirúrgico ou explicação ao paciente, à confecção de estruturas capazes de reabilitar reabsorções ósseas bastante extensas. Em inúmeras situações clínicas, foi possível, indicar as impressoras 3D como um instrumento de trabalho eficaz que facilmente poderá ser utilizado na prática clínica diária.

Será sempre necessário a realização de mais estudos e investigações, permitindo assim evoluir cada vez mais nesta tecnologia, abordando os materiais utilizados, a biocompatibilidade dos mesmos, as peças que estas são capazes de fabricar, assim como, delinear algumas questões legais que possam passar despercebidas.

Como conclusão, à pergunta inicial, *“as impressoras 3D na Medicina Dentária são uma realidade?”*. Há uma enorme probabilidade de estas virem a fazer parte integrante das consultas e dos tratamentos de Medicina Dentária, tendo um papel a desempenhar em quase todos os tipos de tratamento possíveis. Embora ainda haja muitas aplicações e áreas por estudar.

IV. BIBLIOGRAFIA

AbouHashem, Y., Dayal, M., Savanah, S., & Štrkalj, G. (2015). The application of 3D printing in anatomy education. *Medical education online*, 20(1), 29847.

Ahlholm, P., Lappalainen, R., Lappalainen, J., Tarvonen, P. L., & Sipilä, K. (2019). Challenges of the Direct Filling Technique, Adoption of CAD/CAM Techniques, and Attitudes Toward 3D Printing for Restorative Treatments Among Finnish Dentists. *The International journal of prosthodontics*, 32(5), 402-410.

Ahlholm, P., Sipilä, K., Vallittu, P., Kotiranta, U., & Lappalainen, R. (2019). Accuracy of inlay and onlay restorations based on 3D printing or milling technique-a pilot study. *The European journal of prosthodontics and restorative dentistry*, 27(2), 56-64.

Alharbi, N., Osman, R., & Wismeijer, D. (2016). Effects of build direction on the mechanical properties of 3D-printed complete coverage interim dental restorations. *The Journal of prosthetic dentistry*, 115(6), 760-767.

Anderson, J., Wealleans, J., & Ray, J. (2018). Endodontic applications of 3D printing. *International endodontic journal*, 51(9), 1005-1018.

Arnold, C., Monsees, D., Hey, J., & Schweyen, R. (2019). Surface Quality of 3D-Printed Models as a Function of Various Printing Parameters. *Materials*, 12(12), 1970.

Berman, B. (2012). 3-D printing: The new industrial revolution. *Business horizons*, 55(2), 155-162.

Bernhard, J. C., Isotani, S., Matsugasumi, T., Duddalwar, V., Hung, A. J., Suer, E., ... & Hu, B. (2016). Personalized 3D printed model of kidney and tumor anatomy: a useful tool for patient education. *World journal of urology*, 34(3), 337-345.

Campbell, T., Williams, C., Ivanova, O., & Garrett, B. (2011). Could 3D printing change the world. *Technologies, Potential, and Implications of Additive Manufacturing*, Atlantic Council, Washington, DC, 3.

Chia, H. N., & Wu, B. M. (2015). Recent advances in 3D printing of biomaterials. *Journal of biological engineering*, 9(1), 4.

Cohen, A., Laviv, A., Berman, P., Nashef, R., & Abu-Tair, J. (2009). Mandibular reconstruction using stereolithographic 3-dimensional printing modeling technology. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 108(5), 661-666.

D'haese, J., Van De Velde, T., Komiyama, A. I., Hultin, M., & De Bruyn, H. (2012). Accuracy and complications using computer-designed stereolithographic surgical guides for oral rehabilitation by means of dental implants: a review of the literature. *Clinical implant dentistry and related research*, 14(3), 321-335.

Dawood, A., Marti, B. M., Sauret-Jackson, V., & Darwood, A. (2015). 3D printing in dentistry. *British dental journal*, 219(11), 521.

Do, A. V., Khorsand, B., Geary, S. M., & Salem, A. K. (2015). 3D printing of scaffolds for tissue regeneration applications. *Advanced healthcare materials*, 4(12), 1742-1762.

Dudek, P. F. D. M. (2013). FDM 3D printing technology in manufacturing composite elements. *Archives of Metallurgy and Materials*, 58(4), 1415-1418.

Garcia, J., Yang, Z., Mongrain, R., Leask, R. L., & Lachapelle, K. (2018). 3D printing materials and their use in medical education: a review of current technology and trends for the future. *BMJ Simulation and Technology Enhanced Learning*, 4(1), 27-40.

Gokuldoss, P. K., Kolla, S., & Eckert, J. (2017). Additive manufacturing processes: Selective laser melting, electron beam melting and binder jetting—*Selection guidelines. Materials*, 10(6), 672.

Gonzalez, J. A., Mireles, J., Lin, Y., & Wicker, R. B. (2016). Characterization of ceramic components fabricated using binder jetting additive manufacturing technology. *Ceramics International*, 42(9), 10559-10564.

Groth, C. H. R. I. S. T. I. A. N., Kravitz, N. D., Jones, P. E., Graham, J. W., & Redmond, W. R. (2014). Three-dimensional printing technology. *J Clin Orthod*, 48(8), 475-85.

Hager, I., Golonka, A., & Putanowicz, R. (2016). 3D printing of buildings and building components as the future of sustainable construction?. *Procedia Engineering*, 151, 292-299.

Hiemenz, J. (2011). 3D printing with FDM: How it Works. *Stratasys Inc*, 1, 1-5.

Inzana, J. A., Olvera, D., Fuller, S. M., Kelly, J. P., Graeve, O. A., Schwarz, E. M., ... & Awad, H. A. (2014). 3D printing of composite calcium phosphate and collagen scaffolds for bone regeneration. *Biomaterials*, 35(13), 4026-4034.

Kaisarly, D., & El Gezawi, M. (2016). Polymerization shrinkage assessment of dental resin composites: a literature review. *Odontology*, 104(3), 257-270.

Katreva, I., Dikova, T., Abadzhiev, M., Tonchev, T., Dzhendov, D., Simov, M., ... & Doychinova, M. (2016). 3D-printing in contemporary prosthodontic treatment. *Scripta Scientifica Medicinæ Dentalis*, 2(1), 7-11.

Kim, S. Y., Shin, Y. S., Jung, H. D., Hwang, C. J., Baik, H. S., & Cha, J. Y. (2018). Precision and trueness of dental models manufactured with different 3-dimensional printing techniques. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 153(1), 144-153.

Liravi, F., & Vlasea, M. (2018). Powder bed binder jetting additive manufacturing of silicone structures. *Additive Manufacturing*, 21, 112-124.

Martelli, N., Serrano, C., van den Brink, H., Pineau, J., Prognon, P., Borget, I., & El Batti, S. (2016). Advantages and disadvantages of 3-dimensional printing in surgery: a systematic review. *Surgery*, 159(6), 1485-1500.

Matai, I., Kaur, G., Seyedsalehi, A., McClinton, A., & Laurencin, C. T. (2019). Progress in 3D bioprinting technology for tissue/organ regenerative engineering. *Biomaterials*, 119536.

Park, M. E., & Shin, S. Y. (2018). Three-dimensional comparative study on the accuracy and reproducibility of dental casts fabricated by 3D printers. *The Journal of prosthetic dentistry*, 119(5), 861-e1.

Petrick, I. J., & Simpson, T. W. (2013). 3D printing disrupts manufacturing: how economies of one create new rules of competition. *Research-Technology Management*, 56(6), 12-16.

Pirjan, A., & Petroșanu, D. M. (2013). The impact of 3D printing technology on the society and economy. *Journal of Information Systems & Operations Management*, 7(2), 360-370.

Prince, J. D. (2014). 3D printing: an industrial revolution. *Journal of electronic resources in medical libraries*, 11(1), 39-45.

Savini, A., & Savini, G. G. (2015, August). A short history of 3D printing, a technological revolution just started. In 2015 ICOHTEC/IEEE *International History of High-Technologies and their Socio-Cultural Contexts Conference (HISTELCON)* (pp. 1-8). IEEE.

Shah, P., & Chong, B. S. (2018). 3D imaging, 3D printing and 3D virtual planning in endodontics. *Clinical oral investigations*, 22(2), 641-654.

Sinha, A., Govil, P., Srivastava, S., & Mishra, A. (2019). 3D PRINTING-THE FUTURE IS NOW. *International Journal of Scientific Research*, 8(2).

Sun, J., & Zhang, F. Q. (2012). The application of rapid prototyping in prosthodontics. *Journal of Prosthodontics: Implant, Esthetic and Reconstructive Dentistry*, 21(8), 641-644.

Tahayeri, A., Morgan, M., Fugolin, A. P., Bompolaki, D., Athirasala, A., Pfeifer, C. S., ... & Bertassoni, L. E. (2018). 3D printed versus conventionally cured provisional crown and bridge dental materials. *Dental Materials*, 34(2), 192-200.

Taneva, E., Kusnoto, B., & Evans, C. A. (2015). 3D scanning, imaging, and printing in orthodontics. *Issues in contemporary orthodontics*, 148.

Torabi, K., Farjood, E., & Hamedani, S. (2015). Rapid prototyping technologies and their applications in prosthodontics, a review of literature. *Journal of Dentistry*, 16(1), 1.

Trenfield, S. J., Awad, A., Goyanes, A., Gaisford, S., & Basit, A. W. (2018). 3D printing pharmaceuticals: drug development to frontline care. *Trends in pharmacological sciences*, 39(5), 440-451.

Tuce, R. A., Arjoca, S., Neagu, M., & Neagu, A. (2019). The use of 3D-printed surgical guides and models for sinus lift surgery planning and education. *Journal of 3D printing in medicine*, 3(3), 145-155.

Tunchel, S., Blay, A., Kolerman, R., Mijiritsky, E., & Shibli, J. A. (2016). 3D printing/additive manufacturing single titanium dental implants: a prospective multicenter study with 3 years of follow-up. *International journal of dentistry*, 2016.

Vagropoulou, G. I., Klifopoulou, G. L., Vlahou, S. G., Hirayama, H., & Michalakis, K. (2018). Complications and survival rates of inlays and onlays vs complete coverage restorations: A systematic review and analysis of studies. *Journal of oral rehabilitation*, 45(11), 903-920

Wang, J., Suenaga, H., Hoshi, K., Yang, L., Kobayashi, E., Sakuma, I., & Liao, H. (2014). Augmented reality navigation with automatic marker-free image registration using 3-D image overlay for dental surgery. *IEEE transactions on biomedical engineering*, 61(4), 1295-1304.

Whitaker, M. (2014). The history of 3D printing in healthcare. *The Bulletin of the Royal College of Surgeons of England*, 96(7), 228-229.

Whitley III, D., Eidson, R. S., Rudek, I., & Bencharit, S. (2017). In-office fabrication of dental implant surgical guides using desktop stereolithographic printing and implant treatment planning software: a clinical report. *The Journal of prosthetic dentistry*, 118(3), 256-263.

Williams, R. J., Bibb, R., Eggbeer, D., & Collis, J. (2006). Use of CAD/CAM technology to fabricate a removable partial denture framework. *The Journal of prosthetic dentistry*, 96(2), 96-99.

Wohlers, T., & Gornet, T. (2014). History of additive manufacturing. *Wohlers report*, 24(2014), 118.

Wong, J. Y., & Pfahnl, A. C. (2014). 3D printing of surgical instruments for long-duration space missions. *Aviation, space, and environmental medicine*, 85(7), 758-763.

Wu, C., Yi, R., Liu, Y. J., He, Y., & Wang, C. C. (2016, October). Delta DLP 3D printing with large size. In *2016 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)* (pp. 2155-2160). IEEE.