



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ODONTOLOGIA DE PIRACICABA

GABRIEL WILSON SILVA

**APLICAÇÕES DA MANUFATURA ADITIVA EM REABILITAÇÃO
ORAL: REVISÃO DE LITERATURA**

PIRACICABA

2020

GABRIEL WILSON SILVA

**APLICAÇÕES DA MANUFATURA ADITIVA EM REABILITAÇÃO
ORAL: REVISÃO DE LITERATURA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Odontologia de Piracicaba da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de Cirurgião Dentista.

Orientador: Prof. Dr. Wander José da Silva

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO APRESENTADO PELO(A) ALUNO GABRIEL WILSON SILVA E ORIENTADO(A) PELO PROF. DR. WANDER JOSÉ DA SILVA

PIRACICABA

2020

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Faculdade de Odontologia de Piracicaba
Marilene Girello - CRB 8/6159

Si38a Silva, Gabriel Wilson, 1995-
Aplicações da manufatura aditiva em reabilitação oral : revisão de literatura /
Gabriel Wilson Silva. – Piracicaba, SP : [s.n.], 2020.

Orientador: Wander José da Silva.

Coorientador: Larissa Dolfini Alexandrino.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Odontologia de Piracicaba.

1. Impressão tridimensional. 2. Sistemas CAD/CAM. 3. Odontologia. I. Silva,
Wander José da, 1980-. II. Alexandrino, Larissa Dolfini, 1996-. III. Universidade
Estadual de Campinas. Faculdade de Odontologia de Piracicaba. IV. Título.

Informações adicionais, complementares

Título em outro idioma: Applications of additive manufacturing in oral rehabilitation: literature
review

Palavras-chave em inglês:

Printing, three-dimensional

CAD/CAM systems

Dentistry

Área de concentração: Reabilitação Oral

Titulação: Cirurgião-Dentista

Data de entrega do trabalho definitivo: 27-11-2020

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Faculdade de Odontologia de Piracicaba, na pessoa de seu diretor Prof. Dr. Francisco Haiter Neto, incluindo todos os docentes e funcionários, pela oportunidade da realização desse trabalho e pelos conhecimentos transmitidos a mim durante esse período.

Ao Prof. Dr. Wander José da Silva, pela atenção e imenso apoio durante o processo de definição e orientação deste trabalho.

À minha Família por todo amor, carinho, compreensão, paciência e atenção em todos os momentos da minha vida.

Aos meus amigos e colegas da Turma 60, pela amizade que adquirimos durante esse tempo em que construímos as bases de nossa trajetória.

RESUMO

A Manufatura Aditiva (MA), popularmente conhecida como impressão 3D, é uma tecnologia introduzida na década de 80 que vem transformando diversas áreas como a engenharia de materiais, medicina e também a odontologia. Ao contrário das outras técnicas subtrativas de CAD/CAM, as quais produzem objetos através da redução de blocos poliméricos, metálicos ou cerâmicos, a MA surgiu com a proposta de construção de estruturas tridimensionais através da sobreposição de camadas contínuas. Dessa forma, a perda de material é mínima e, sendo uma manufatura digital, diminui a variação de operador presente nas metodologias convencionais, sem perder a qualidade do produto final. No contexto da odontologia, esta tecnologia tem se adaptado para ser aplicável no ambiente clínico e laboratorial, em vista de aprimorar os parâmetros mecânicos relacionados à microestrutura e porosidade, em conjunto com as características estéticas indispensáveis sobretudo na confecção de dispositivos para reabilitação oral. Neste sentido, este trabalho tem o intuito de revisar os conteúdos na literatura associados à tecnologia de MA dentro da odontologia e proporcionar uma visão mais atual sobre o tema.

Palavras-chave: Impressão 3D. CAD/CAM. Odontologia

ABSTRACT

Additive Manufacturing (MA), popularly known as 3D printing, is a technology introduced in the 1980s that has been transforming several areas such as materials engineering, medicine and also dentistry. Unlike other CAD / CAM subtractive techniques, which produce objects by carving polymeric, metallic or ceramic blocks, MA came up with the proposal to build three-dimensional structures by overlapping continuous layers. Thus, the loss of material is minimal and, being a digital manufacture, it reduces the operator variation present in conventional methodologies, without losing the quality of the final product. In the context of dentistry, this technology has been adapted to be applicable in the clinical and laboratory environment, in order to improve the mechanical parameters related to the microstructure and porosity, together with the aesthetic characteristics essential above all in the manufacture of devices for oral rehabilitation. Therefore, this work aims to review the content in the literature associated with MA technology within dentistry and provide a more current view on the subject.

Key words: 3D printing. CAD / CAM. Dentistry

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 PROPOSIÇÃO	10
3 REVISÃO DA LITERATURA	11
4 DISCUSSÃO	17
5 CONCLUSÃO	18
REFERÊNCIAS	19
ANEXOS	24
Anexo 1 – Verificação de originalidade e prevenção de plágio	24

1 INTRODUÇÃO

A manufatura aditiva (MA) é um processo em que há a sobreposição contínua de camadas de um determinado material com a finalidade de produzir uma forma tridimensional. Essa tecnologia é associada com impressoras 3D e se diferencia totalmente de outros métodos de manufatura como podem ser observados nas máquinas de fresagem, pois se trata de um procedimento antagônico de natureza subtrativa, na qual um bloco pré-fabricado é esculpido por fresas no formato do objeto projetado (Jakus, Adam E et al 2018). Ainda que os métodos de MA estão disponíveis no mercado há décadas, atualmente a ascensão comercial e diversidade de impressoras e resinas é uma realidade muito mais prática e acessível para aplicabilidades na medicina, engenharia, biotecnologia e odontologia (Wohlers, T et al. 2016)

O processo de fabricação através da técnica de MA em odontologia inicia-se com o escaneamento intraoral do paciente ou de seus modelos de gesso em bancada, assim um arquivo de leitura e planejamento é gerado para então serem projetados os dispositivos odontológicos em softwares com desenhos CAD. O projeto pode variar desde Overdentures e guias para implantes, até mesmo a impressão de infraestruturas metálicas para Próteses Parciais Removíveis (PPR), as quais são de geometria complexa e alta precisão. Dessa forma, comparada a outros tipos de técnicas de manufatura, a MA proporciona uma série de vantagens como a possibilidade de utilização de diversos tipos de materiais e impressoras, pouca perda de material durante o processamento e passividade entre as superfícies. Por outro lado, limitações como efeito de escadaria, a manufatura de estruturas em cerâmicas e as especificidades necessárias demandadas dentro da odontologia (Syam, Wahyudin & Mannan. 2011).

O desenvolvimento de novas manufaturas e protocolos de trabalho voltados para uma abordagem mais digital, torna os processos em geral mais rápidos, sem perdas em termo de precisão e acurácia (Barnatt, C et al. 2001). Com o aprimoramento e acessibilidade de scanners intraorais e softwares, os planejamentos tornaram-se quase automatizados e possibilitaram a visualização minuciosa de detalhes antes imperceptíveis. Isso trouxe uma série de benefícios para o paciente e também aos profissionais cirurgiões-dentistas, que agora podem contar com o networking entre diferentes especialidades dentro da mesma área (Joda, Tim et al.2017). Ainda assim, a necessidade de treinamento e adequação do profissional para a introdução destes tipos de tecnologias não devem ser negligenciados, visto que são determinantes no sucesso e na eficiência dos resultados desejados na rotina clínica (Justice, Laura. 2020). Dessa forma, mesmo que a técnica de MA e fluxo de procedimentos e planejamentos clínicos digitais estejam em constante expansão, em casos específicos como

em fabricações de infraestruturas metálicas de PPRs, foram observadas algumas limitações em função das propriedades específicas das ligas metálicas utilizadas, aumento de porosidade quando impressas em diferentes angulações, dificuldades também variação da disposição dos suportes na plataforma de impressão influenciando diretamente nas propriedades mecânicas finais das infraestruturas, o que demonstra claramente a necessidade de mais pesquisas e compreensão dessa tecnologia (Schweiger, Josef et al. 2020 e Zhou, Yanan et al. 2018).

Por conseguinte, este trabalho tem a finalidade de reunir os achados na literatura e elucidar sobre os diferentes tipos de aplicações da técnica de MA na odontologia, os avanços e as limitações observadas em cada um destes, e assim, permitir um panorama atual diante da associação do fluxo digital e a inserção na prática clínica deste tipo de tecnologia dentro da odontologia.

2 PROPOSIÇÃO

Esta revisão tem por objetivo elucidar aspectos e correlações que associam técnicas de Manufatura Aditiva (MA), suas origens, tipos de tecnologias mais utilizadas, histórico e também perspectivas futuras, com as demandas exigidas pela Reabilitação Oral em termos de propriedades mecânicas e biológicas dentro do contexto mais atual da odontologia. Visando esclarecer em que ponto, em termos de aplicabilidades, esta tecnologia se encontra quando comparada a metodologias tradicionalmente utilizadas e cuja eficácia e biocompatibilidade estão cientificamente comprovadas.

3 REVISÃO DA LITERATURA

Protocolos e procedimentos reabilitadores tem sido constantemente aprimorado e reformulado em vista do aumento da precisão, controle, assim como uma melhora na velocidade e comodidade durante as consultas clínicas (Cervino et al, 2019). Neste sentido, novas tecnologias foram sendo projetadas ao longo do tempo, a exemplo da CAD/CAM: “Computer-Aided Design” (CAD) e “Computer-Aided Manufacturing” (CAM), introduzida no mercado na década de 70. Essa tecnologia está basicamente associada a três etapas, primeiro um dispositivo scanner transfere as características tridimensionais dos elementos dentários e estruturas adjacentes, ou de modelos de gesso em bancada, para um formato específico de arquivo compatível com os softwares de planejamento digital, esse processo é conhecido como escaneamento intraoral ou de bancada, respectivamente. Depois, o controlador do programa CAD utiliza o arquivo para modelar a prótese ou o material que será utilizado para o tratamento de forma totalmente computadorizada. Por fim, o sistema CAM gera um arquivo do tipo “Standard Triangle Language” (STL) compatível com impressoras 3D, as quais podem ser de tecnologia por manufatura subtrativa (MS) ou aditiva (MA) (Duret,1988). Estes três passos podem ser executados em diferentes maneiras dentro da logística de um consultório, ou mesmo de um laboratório, e tem sofrido, constantes transformações, especificamente nos materiais utilizados e técnicas para obtenção do produto final (Jafarzadeh et al., 2019).

Quando nos referimos ao conceito de manufatura observa-se a relação diretamente à concepção de transformação de materiais de base em produtos tangíveis através de diferentes técnicas. Adicionalmente, esse processo é guiado por uma série de aplicações de energia em que cada uma destas promove mudanças físicas e, até mesmo químicas, nestes materiais com a finalidade de obter um objeto final hígido e com características próprias (Danø,1966). Dentro desse contexto, a MA corresponde então ao processo de deposição contínua de sucessivas e finas camadas de um determinado material, na qual é usado um modelo tridimensional digital como referência para a fabricação deste objeto final (Badiru, 2017). Por conseguinte, segmentos da aviação e armamento militar, até diversas áreas biomédicas como a ortopedia e odontologia, foram beneficiados com este método de manufatura (Yan et al, 2009).

A tecnologia de MA, originada nos anos 80, foi introduzida com a Estereolitografia (SLA) patenteada em 1986, um sistema pioneiro dentre os processos de prototipagem rápida que ganharam amplo destaque no mundo. De forma geral, é um processo que se tem um líquido de base polimérica fotossensível que é curado ou solidificado quando um feixe de laser UV é projetado sob esse material. A acurácia e resolução do produto final, são dependentes

do tipo de impressora utilizada. Uma plataforma de suporte é posicionada para apoiar as estruturas que estão sendo confeccionadas e à medida em que as camadas vão se depositando, a plataforma vai descendo até a obtenção do produto final (Kruth, 1991). Esse sistema sofreu muitas melhorias ao longo do tempo o que resultou em um novo processo que promove uma alta resolução do que as até então obtidas, chamado de microstereolitografia. Essa nova tecnologia consegue alcançar espessuras próximas a 10 μ (Halloran et al. 2011), ajudando a promover uma estrutura tridimensional mais densa possibilitando novas aplicações desde a área médica até bens de consumo*. Na odontologia, polímeros criados com a SLA promoveram um aumento da flexibilidade de cores, na rigidez e na modificação de componentes, além de apresentarem biocompatibilidade (Alifui-segbaya, et al. 2017). Também podem ser usados na fabricação infraestruturas metálicas de PPR, expondo um caráter substitutivo dos procedimentos convencionais como na fundição por cera perdida (KIM, et al. 2018). Apesar disso, o uso da SLA traz algumas considerações, principalmente com relação aos processos de limpeza da peça, remoção dos suportes e mesmo alguns ajustes podem ser necessários (Stansbury, 2016).

Em 1992, foi patenteada a tecnologia de “Fused Deposition Modeling” FDM. Nesta técnica um material termoplástico é estruído por uma estrutura móvel do maquinário e depositado em finas camadas sobre um suporte que serve de substrato. Basicamente, este material é aquecido a uma temperatura um pouco maior do que seu ponto de fusão para que durante o processo de extrusão se solidifique e, ao mesmo tempo, produza uma junção entre as camadas que estão sendo depositadas de forma subsequente (Kruth, 1998). É uma técnica muito versátil, pois na maior parte das vezes não demanda um pós tratamento químico, também tem menor custo quando comparada aos demais tipos de impressoras por não exigir um processo de cura na fabricação de objetos resinosos, e ainda assim produz produtos com acurácia bastante satisfatória (Cooper, 2001). Porém, em alguns casos é possível enxergar a linha de união entre as camadas sendo necessária também a presença de apoios, além disso, a depender da complexidade do desing do CAD, pode demandar muito tempo para a finalização da construção e, quando comparada com outras técnicas de manufatura, possui uma baixa resolução do eixo Z (Anna, 1997). Quando se pensa na fabricação através dessa técnica diretamente na odontologia, alguns materiais como acrilonitrila butadieno estireno (ABS) e a cera, polímeros de ácido polilático (PLA), podem ser utilizados de forma satisfatória (Turner, 2014).

A partir da década de 90, sistemas como FDM e o sistema “Selective Laser Sintering” (SLS), o qual utiliza do calor proveniente de um laser de alta potência para fundir materiais em pó, começaram a surgir juntamente com a introdução das impressoras 3D de

baixo custo. Nos anos 2000 surgiram novas gerações de máquinas com tecnologias como “Direct Metal Deposition” (DMD), um processo de revestimento a laser que produz e repara objetos utilizando metal em pó (Wohlers, 2014).

Ao longo dos anos estas tecnologias foram se aprimorando culminando naquelas que hoje são os tipos mais comuns como as SLS, as “Thermal Inkjet Printing” (TIP), que podem funcionar através de processamentos térmicos, eletromagnéticos ou uma tecnologia piezoelétrica na confecção de objetos, e as (Fdm Ventola, 2014). Dentro da odontologia, o primeiro procedimento realizado utilizando a MA como parte do planejamento e tratamento de um paciente foi em 1999, utilizando um modelo 3D impresso pela tecnologia FDM e, desde então, o número de possibilidades e aplicações dentro deste campo só aumentaram (Dawood et al, 2015).

Dentro da odontologia diferentes tecnologias podem ser utilizadas para uma gama ampla de procedimentos que podem se beneficiar da MA, entretanto estes dependem do tipo de material que será utilizado, podendo ser desde polímeros, como resina ou cera, cerâmicas como a zircônia, ou ligas metálicas, (Van Noort, 2012). O uso de polímeros é demandado por praticamente todas as áreas sejam elas com finalidades reabilitadoras, endodônticas, periodontais, bem como em procedimentos cirúrgicos mais complexos (Deb, 1998). Mas o fato é que existe uma ampla quantidade destes materiais, o que torna extremamente importante o conhecimento sobre suas propriedades e características (Shalaby, 2006).

Assim como os polímeros, vários tipos de materiais foram sendo absorvidos pelos novos tipos de manufatura, e não seria diferente com a cerâmica (Nannan, 2013). As cerâmicas odontológicas podem ser processadas através da MA de diversas maneiras e técnicas, por FDM, SLA, “Binder Jetting” (BJ) e “Selective Laser Melting” (SLM). Apesar do grau de complexidade, os estudos confirmam que praticamente qualquer forma pode ser produzida. Além disso, os protocolos de produção podem ser adaptados às diferentes características e propriedades que desejam ser obtidas, como grau de porosidade ou densidade. A MA de cerâmicas possui um grande potencial dentro da indústria odontológica, porém muitos estudos ainda são necessários para que o uso desta tecnologia se torne comum (Galante, 2019).

O uso da MA na fabricação de estruturas à base de zircônia foi descrito em estudos como possíveis aplicações na odontologia. Alguns autores verificaram a possibilidade de construção de componentes similares a coroas dentárias com as mesmas características e anatomias oclusais utilizando tecnologias de MA extrusivas com impressoras do tipo “Direct Inkjet”, tendo como base suspensões de zircônia. Como resultado, atingiram uma densidade

relativa do material de quase 97%, com propriedades mecânicas similares às obtidas através de procedimentos convencionais (Ebert, 2009). Técnicas utilizando SLA para fabricação de análogos e implantes à base de zircônia também demonstraram características mecânicas e acurácia próximos daqueles produzidos de forma convencional (Anssari Moin, 2017 e Denry, 2008).

O potencial da MA aplicado aos materiais cerâmicos voltados ao uso na odontologia foram amplamente explorados. A fabricação, por exemplo de componentes cerâmicos à base de alumina utilizando suspensões deste material obtiveram componentes de alta densidade, com microestrutura bastante homogênea entre as camadas impressas (Scheithauer, 2015). Estruturas com cálcio e fosfato e outras biocerâmicas também foram exploradas, estudos em coelhos adultos para restaurar defeitos em segmentos ósseos mandibulares tiveram sucesso, foram usadas estruturas em forma andaimes fabricados com tricálcio fosfato e componentes bioativos através de uma impressora FDM (Lopez, 2018). Além disso, compósitos cerâmicos também foram estudados utilizando tecnologias de SLM com estruturas mistas de zircônia e alumina, obtiveram uma densidade de 100%, boas caracterizações biológicas e resistência flexural de protótipos de restaurações odontológicas (Lopez, 2018).

Além das cerâmicas, os metais também possuem um papel extremamente importante nos procedimentos odontológicos de forma geral, seja na confecção de copings metálicos para PF metalo-cerâmicas, infraestruturas metálicas para PRR ou Overdentures sobre implantes, bem como para a fabricação de implantes e seus componentes de forma propriamente dita (Anusavice, 2013). As referências de metais na impressão 3D de uso odontológico são dois tipos de liga: o cobalto-cromo (CoCr) e o titânio (Ti) (Revilla-León, 2017). Dentre as tecnologias disponíveis para MA as mais ligadas à produção de metais são as “Power-based Fusion” (PBF), em seus diferentes tipos como SLS, SLM e “Electron Beam Melting” (EBM) (Milewski, 2017).

A tecnologia do tipo SLS é conhecida pela aplicação de um feixe de laser de alta potência sobre uma plataforma contendo pó metálico para ser sinterizado, produzindo finas camadas metálicas até que se forme o objeto tridimensional desejado (Mazzoli, 2013). Entretanto, as estruturas metálicas obtidas através desta técnica podem apresentar poros em algumas regiões, o que reflete diretamente nas propriedades mecânicas finais do objeto (Anestiev, 1997).

O desenvolvimento de novos lasers de alta potência deu origem à tecnologia camada de SLM (Kruth, 2005). De forma similar à SLS, uma camada de pó metálico é disposta

em uma estrutura de suporte e, geralmente, um laser de CO₂ é utilizado, gerando superfícies muito bem acamadas, porém com propriedades mecânicas internas afetadas pelo estresse do gradiente térmico, o que gera a necessidade de um pós tratamento térmico (Trainl, 2008).

Já a tecnologia chamada de EBM não requer uma fonte de laser para promover a fusão, no entanto é utilizado um feixe de elétrons em uma câmara que pode conter um gás, como o argônio, a uma temperatura constante em torno de 700°C para evitar que o estresse térmico interfira nas propriedades finais do objeto. Apesar das ótimas propriedades, este ainda é um sistema muito caro quando comparado aos demais, por isso seu uso ainda não é tão assíduo no mercado (Murr, 2012).

Ainda que a fabricação de metais através da MA em geral é realizada pelas técnicas de SLA e SLM, devido à alta demanda financeira da EBM, é possível observar que ainda não atingiram o grau de reprodutibilidade ideal dentro dos critérios odontológicos. Dessa forma, ainda há bastante espaço para o desenvolvimento de pesquisas e aprimoramento nessa área (Revilla-León, 2017).

Estudos como PARK, 2015*, mostraram que a tecnologia de MA foi igualmente eficaz, podendo ser utilizada como alternativa clínica na fabricação de próteses dentárias, quando comparada às técnicas convencionais da cera perdida ou mesmo a MS. Além disso, existem as questões associadas ao reaproveitamento do material, como nos casos que utilizam impressoras de SLA, SLM ou FDM, é possível aproveitar o material não utilizado logo após a confecção do produto final (Wimpenny, 2017).

No que se refere às aplicações práticas associadas na construção de guias cirúrgicos para instalação de implantes dentários, essa tecnologia só trouxe benefícios para as etapas de diagnóstico e planejamento, assim como o aumento na precisão do trabalho finalizado (Stapleton, 2014). Também na fabricação de moldeiras individuais para realizar moldagem de transferência de implantes de forma bastante eficaz e precisa (Cascón, 2018). Em procedimentos restauradores, por exemplo, no uso de index de um polímero flexível impresso e previamente planejado em software CAD, foi possível estabelecer como o paciente se comportaria com o aumento de dimensão vertical (DV) proposto para o tratamento com bastante previsibilidade (Revilla-León, 2019).

Nesse contexto, as ferramentas digitais como scanners intraorais e impressoras 3D podem ser integradas aos fluxos de trabalhos odontológicos tanto na rotina de consultório, quanto nos laboratórios de prótese (Revilla-León, 2019 e Makovec, 2010). Contudo, é preciso enfatizar a necessidade de treinamento específico tanto para o cirurgião dentista quanto para

o técnico de laboratório, a fim de lidar com as tecnologias CAD/CAM para que se possa aplicá-las de forma efetiva e prática (Stapleton, 2014).

Os procedimentos odontológicos que visam reabilitar aspectos estéticos e funcionais de um paciente, geralmente estão associados aos procedimentos fixos, sejam eles sobre remanescentes dentários ou implantes, na forma de coroas, infraestruturas metálicas, facetas ou mesmo protocolos (Pegoraro, 2014). E, também, procedimentos removíveis que mais frequentemente se associam às Próteses Parciais Removíveis, ou mesmo às Overdentures (Rocha, 2015).

4 DISCUSSÃO

O avanço da tecnologia de MA é bastante promissor por ser um processo que gera novas possibilidades de compartilhamento, modificação, customização e integração de profissionais. A própria natureza aditiva é um fator bastante vantajoso, pois opera com menos material comparado às demais técnicas e apresenta a capacidade de reutilizar a matéria prima não consumida durante a fabricação do objeto. Assim, para o contexto atual de sustentabilidade, a introdução dessas novas manufaturas tem muita relevância para o mercado, visto que as técnicas convencionais são manipuladas há décadas, lidam com o constante desperdício de material e, conseqüentemente, com a poluição ambiental (Dawood, 2015)

Com o traçado evolutivo da tecnologia de MA associada às aplicações dentro da Reabilitação Oral, é possível observar que para fabricação de estruturas poliméricas destacam-se as impressoras extrusoras, máquinas do tipo FDM e também as SLA, que utilizam materiais fotossensíveis. Para construção de estruturas cerâmicas, técnicas que incluem SLS vem sendo estudadas e mostrado constante evolução, apesar de suas limitações. Já na fabricação de dispositivos em metais usando as ligas de CoCr e Ti, as técnicas de DMLS tem um emprego mais usual em relação as demais tecnologias (Barazanchi, 2017).

Ainda assim, as técnicas descritas nesse trabalho apresentam suas respectivas limitações, o custo e a velocidade de produção também são desafios a serem superados, bem como a validação das propriedades mecânicas e térmicas de materiais já existentes para uma melhor estabilidade e confiança no processo (FORD, 2016). No entanto, estudos primários já mostram que a MA teve um comportamento igual ou superior ao uso de técnicas convencionais (Alharbi, 2017).

Por isso, é importante destacar que a manufatura em si é bem consolidada, porém as aplicações na odontologia são muito recentes e mais estudos são necessários para afirmar a completa substituição das técnicas tradicionais, além do treinamento adequado para cirurgões dentistas e técnicos de laboratórios.

5 CONCLUSÃO

Através desta revisão, tornaram-se compreensíveis os fatos que reverberam as possibilidades e o espaço que tecnologias de Manufatura Aditiva estão tomando dentro da odontologia. No que se refere à reabilitação oral, a MA se destaca mostrando-se capaz de ser um método com características e parâmetros equiparáveis de desempenho mecânico e biológico aos protocolos convencionais historicamente adotados pelos profissionais desta área. O que demonstra a viabilidade de integração desta tecnologia, pouco a pouco, à rotina clínica ou laboratorial sem perdas em termos de valores estéticos e funcionais ao paciente.

Ainda assim, sendo a odontologia uma ciência que depende constantemente das propriedades específicas dos materiais que utiliza em sua rotina, mais estudos são necessários a fim de validar o uso desta tecnologia.

REFERÊNCIAS

Alharbi N, Wismeijer D, Osman RB. Additive Manufacturing Techniques in Prosthodontics: Where Do We Currently Stand? A Critical Review. *Int J Prosthodont*. 2017 September/October;30(5):474–484. doi: 10.11607/ijp.5079. Epub 2017 Jul 27. PMID: 28750105.

Alifui-Segbaya F, Varma S, Lieschke GJ, George R. Biocompatibility of photopolymers in 3D printing. *3D Printing and Additive Manufacturing*. 2017;4(4):185–191.

Anestiev L, Froyen L. Model of the primary rearrangement processes at liquid phase sintering and selective laser sintering due to biparticle interactions. *Journal of applied physics*. 1999;86(7):4008–4017.

ANESTIEV, L. A.; FROYEN, Ludo. Model of the primary rearrangement processes at liquid phase sintering and selective laser sintering due to biparticle interactions. *Journal of applied physics*, v. 86, n. 7, p. 4008-4017, 1999.

Anssari Moin D, Hassan B, Wismeijer D. A novel approach for custom three-dimensional printing of a zirconia root analogue implant by digital light processing. *Clin Oral Implants Res*. 2017 Jun;28(6):668-670. doi: 10.1111/clr.12859. Epub 2016 Apr 25. PMID: 27114184.

Anusavice KJ. *Phillips materiais dentários*. Elsevier Brasil; 2013.

Badiru AB, Valencia VV, Liu D. *Additive manufacturing handbook: product development for the defense industry*. CRC Press; 2017.

BADIRU, Adedeji B.; VALENCIA, Vhance V.; LIU, David (Ed.). *Additive manufacturing handbook: product development for the defense industry*. CRC Press, 2017.

Barazanchi A, Li KC, Al-Amleh B, Lyons K, Waddell JN. Additive Technology: Update on Current Materials and Applications in Dentistry. *J Prosthodont*. 2017 Feb;26(2):156-163. doi: 10.1111/jopr.12510. Epub 2016 Sep 23. PMID: 27662423.

Bäßler R. Additive manufacturing of metals—From fundamental technology to rocket nozzles, medical implants, and custom jewelry (Book review). 2018.

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

Bosch G, Ender A, Mehl A. A 3-dimensional accuracy analysis of chairside CAD/CAM milling processes. *J Prosthet Dent*. 2014 Dec;112(6):1425-31. doi: 10.1016/j.prosdent.2014.05.012. Epub 2014 Jul 1. PMID: 24993373.

Cervino G, Fiorillo L, Arzukanyan AV, Spagnuolo G, Cicciù M. Dental Restorative Digital Workflow: Digital Smile Design from Aesthetic to Function. *Dent J (Basel)*. 2019 Mar 28;7(2):30. doi: 10.3390/dj7020030. PMID: 30925698; PMCID: PMC6632039.

Cooper K. Rapid prototyping technology: selection and application. CRC press; 2001.

Danø S. Multi-Product Models. In: *Industrial Production Models*. Springer; 1966. p. 166–189.

Dawood A, Marti Marti B, Sauret-Jackson V, Darwood A. 3D printing in dentistry. *Br Dent J*. 2015 Dec;219(11):521-9. doi: 10.1038/sj.bdj.2015.914. Erratum in: *Br Dent J*. 2016 Jan 22;220(2):86. PMID: 26657435.

Deb S. Polymers in dentistry. *Proc Inst Mech Eng H*. 1998;212(6):453-64. doi: 10.1243/0954411981534213. PMID: 9852740.

Denry I, Kelly JR. State of the art of zirconia for dental applications. *Dent Mater*. 2008 Mar;24(3):299-307. doi: 10.1016/j.dental.2007.05.007. Epub 2007 Jul 19. PMID: 17659331.

Duret F, Blouin JL, Duret B. CAD-CAM in dentistry. *J Am Dent Assoc*. 1988 Nov;117(6):715-20. doi: 10.14219/jada.archive.1988.0096. PMID: 3058771.

Ebert J, Ozkol E, Zeichner A, Uibel K, Weiss O, Koops U, Telle R, Fischer H. Direct inkjet printing of dental prostheses made of zirconia. *J Dent Res*. 2009 Jul;88(7):673-6. doi: 10.1177/0022034509339988. PMID: 19641157.

Ford S, Despeisse M. Additive manufacturing and sustainability: an exploratory study of the advantages and challenges. *Journal of cleaner Production*. 2016;137:1573–1587.

Galante R, Figueiredo-Pina CG, Serro AP. Additive manufacturing of ceramics for dental applications: A review. *Dent Mater*. 2019 Jun;35(6):825-846. doi: 10.1016/j.dental.2019.02.026. Epub 2019 Apr 2. PMID: 30948230.

Gebhardt A, Schmidt F-M, Hötter J-S, Sokalla W, Sokalla P. Additive manufacturing by selective laser melting the realizer desktop machine and its application for the dental industry. *Physics Procedia*. 2010;5:543–549.

Guo N, Leu MC. Additive manufacturing: technology, applications and research needs. *Frontiers of Mechanical Engineering*. 2013;8(3):215–243.

Halloran JW, Tomeckova V, Gentry S, Das S, Cilino P, Yuan D, et al. Photopolymerization of powder suspensions for shaping ceramics. *Journal of the European Ceramic Society*. 2011;31(14):2613–2619.

Ishikiriama A, Oliveira Jde F, Vieira DF, Mondelli J. Influence of some factors on the fit of cemented crowns. *J Prosthet Dent*. 1981 Apr;45(4):400-4. doi: 10.1016/0022-3913(81)90100-1. PMID: 6939845.

Jafarzadeh H, Iusefipour F, Zirouhi ME, Kinoshita JI, Manabe A, Kobayashi M, Azarpazhooh A. A Consolidated Pulp Test System Including Flowmetry, Pulse Oximetry, and Thermometry. *J Contemp Dent Pract*. 2019 Jul 1;20(7):873-877. PMID: 31597812.

Khan M, Dickens P. Selective laser melting (SLM) of pure gold for manufacturing dental crowns. *Rapid Prototyping Journal*. 2014.

Kim SB, Kim NH, Kim JH, Moon HS. Evaluation of the fit of metal copings fabricated using stereolithography. *J Prosthet Dent*. 2018 Nov;120(5):693-698. doi: 10.1016/j.prosdent.2018.01.012. Epub 2018 May 25. PMID: 29807735.

Kochan A. Features Rapid growth for rapid prototyping. *Assembly Automation*. 1997.

Kruth J-P, Leu M-C, Nakagawa T. Progress in additive manufacturing and rapid prototyping. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*. 1998;47(2):525–540.

Kruth J-P, Mercelis P, Vaerenbergh JV, Froyen L, Rombouts M. Binding mechanisms in selective laser sintering and selective laser melting. *Rapid prototyping journal*. 2005;11(1):26–36.

Kruth J-P. Material increment manufacturing by rapid prototyping techniques. *CIRP annals*. 1991;40(2):603–614.

Lopez CD, Diaz-Siso JR, Witek L, Bekisz JM, Cronstein BN, Torroni A, Flores RL, Rodriguez ED, Coelho PG. Three dimensionally printed bioactive ceramic scaffold osseointegration across critical-sized mandibular defects. *J Surg Res*. 2018 Mar;223:115-122. doi: 10.1016/j.jss.2017.10.027. Epub 2017 Nov 17. PMID: 29433862; PMCID: PMC5812371.

Mainjot AK, Dupont NM, Oudkerk JC, Dewael TY, Sadoun MJ. From Artisanal to CAD-CAM Blocks: State of the Art of Indirect Composites. *J Dent Res*. 2016 May;95(5):487-95. doi: 10.1177/0022034516634286. Epub 2016 Mar 1. PMID: 26933136.

Makovec R. Digital technologies in dental laboratories. *Annals of DAAAM & Proceedings*. 2010;p1579.

Mazzoli A. Selective laser sintering in biomedical engineering. *Med Biol Eng Comput*. 2013 Mar;51(3):245-56. doi: 10.1007/s11517-012-1001-x. Epub 2012 Dec 19. PMID: 23250790.

Murr LE, Gaytan SM, Ramirez DA, Martinez E, Hernandez J, Amato KN, et al. Metal fabrication by additive manufacturing using laser and electron beam melting technologies. *Journal of Materials Science & Technology*. 2012;28(1):1–14.

Noort R. The future of dental devices is digital. *Dent Mater*. 2012 Jan;28(1):3-12. doi: 10.1016/j.dental.2011.10.014. Epub 2011 Nov 26. PMID: 22119539.

Paris H, Mokhtarian H, Coatanéa E, Museau M, Ituarte IF. Comparative environmental impacts of additive and subtractive manufacturing technologies. *CIRP Annals*. 2016;65(1):29–32.

Park JY, Kim HY, Kim JH, Kim JH, Kim WC. Comparison of prosthetic models produced by traditional and additive manufacturing methods. *J Adv Prosthodont*. 2015 Aug;7(4):294-302. doi: 10.4047/jap.2015.7.4.294. Epub 2015 Aug 18. PMID: 26330976; PMCID: PMC4551785.

Pegoraro LF. Fundamentos de Prótese Fixa: Série Abeno: Odontologia Essencial-Parte Clínica. Artes Médicas Editora; 2014.

Piedra Cascón W, Revilla-León M. Digital workflow for the design and additively manufacture of a splinted framework and custom tray for the impression of multiple implants: A dental technique. *J Prosthet Dent*. 2018 Dec;120(6):805-811. doi: 10.1016/j.prosdent.2018.02.003. Epub 2018 Jun 29. PMID: 30067479.

Revilla-León M, Besné-Torre A, Sánchez-Rubio JL, Fábrega JJ, Özcan M. Digital tools and 3D printing technologies integrated into the workflow of restorative treatment: A clinical report. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2019;121(1):3–8.

Revilla-León M, Özcan M. Additive manufacturing technologies used for 3D metal printing in dentistry. *Current Oral Health Reports*. 2017;4(3):201–208.

Rocha EP, Russi S. Prótese Total e Prótese Parcial Removível. Artes Médicas Editora; 2015.

Scheithauer U, Schwarzer E, Richter H-J, Moritz T. Thermoplastic 3D printing—an additive manufacturing method for producing dense ceramics. *International journal of applied ceramic technology*. 2015;12(1):26–31.

Shalaby SW, Salz U. *Polymers for dental and orthopedic applications*. CRC Press; 2006S.

Stansbury JW, Idacavage MJ. 3D printing with polymers: Challenges among expanding options and opportunities. *Dent Mater*. 2016 Jan;32(1):54-64. doi: 10.1016/j.dental.2015.09.018. Epub 2015 Oct 20. PMID: 26494268.

Stapleton BM, Lin W-S, Ntounis A, Harris BT, Morton D. Application of digital diagnostic impression, virtual planning, and computer-guided implant surgery for a CAD/CAM-fabricated,

implant-supported fixed dental prosthesis: a clinical report. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2014;112(3):402–408.

Traini T, Mangano C, Sammons RL, Mangano F, Macchi A, Piattelli A. Direct laser metal sintering as a new approach to fabrication of an isoelastic functionally graded material for manufacture of porous titanium dental implants. *Dent Mater*. 2008 Nov;24(11):1525-33. doi: 10.1016/j.dental.2008.03.029. Epub 2008 May 27. PMID: 18502498.

Turner BN, Strong R, Gold SA. A review of melt extrusion additive manufacturing processes: I. Process design and modeling. *Rapid Prototyping Journal*. 2014.

Ventola CL. Medical Applications for 3D Printing: Current and Projected Uses. *P T*. 2014 Oct;39(10):704-11. PMID: 25336867; PMCID: PMC4189697.

Wilkes J, Hagedorn Y-C, Meiners W, Wissenbach K. Additive manufacturing of ZrO₂-Al₂O₃ ceramic components by selective laser melting. *Rapid Prototyping Journal*. 2013.

Wimpenny DI, Pandey PM, Kumar LJ. *Advances in 3D printing & additive manufacturing technologies*. Springer; 2017.

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

Yan Y, Li S, Zhang R, Lin F, Wu R, Lu Q, et al. Rapid prototyping and manufacturing technology: principle, representative technics, applications, and development trends. *Tsinghua Science and Technology*. 2009;14(S1):1–12.

Zhou Y, Li N, Yan J, Zeng Q. Comparative analysis of the microstructures and mechanical properties of Co-Cr dental alloys fabricated by different methods. *J Prosthet Dent*. 2018 Oct;120(4):617-623. doi: 10.1016/j.prosdent.2017.11.015. Epub 2018 Apr 5. PMID: 29627206.

ANEXOS

Anexo 1 – Verificação de originalidade e prevenção de plágio

APLICAÇÕES DA MANUFATURA ADITIVA EM REABILITAÇÃO ORAL: REVISÃO DE LITERATURA

RELATÓRIO DE ORIGINALIDADE

8%	7%	1%	5%
ÍNDICE DE SEMELHANÇA	FONTES DA INTERNET	PUBLICAÇÕES	DOCUMENTOS DOS ALUNOS
FONTES PRIMÁRIAS			
1	Submitted to Universidade Estadual de Campinas Documento do Aluno		3%
2	repositorio.unicamp.br Fonte da Internet		2%
3	bdm.unb.br Fonte da Internet		1%
4	www.cursospos.com.br Fonte da Internet		<1%
5	www.scheckandsiress.com Fonte da Internet		<1%
6	repositorio.ufu.br Fonte da Internet		<1%
7	www.repositorio.ufscar.br Fonte da Internet		<1%
8	3dprintturkey.org Fonte da Internet		<1%

9	repositorio.ufsc.br Fonte da Internet	<1 %
10	idoc.pub Fonte da Internet	<1 %
11	repositorio.ufscar.br Fonte da Internet	<1 %
12	repositorio.utfpr.edu.br Fonte da Internet	<1 %

 Excluir citações

Desligado

Excluir correspondênciasDesligado

Excluir bibliografia

Em