

CENTRO UNIVERSITÁRIO CENTRAL PAULISTA
UNICEP SÃO CARLOS
CURSO DE BACHARELADO EM ODONTOLOGIA

Lidiane Camila Simão

**Utilização de impressão 3D de zircônia para aplicações em restaurações dentárias: uma
revisão bibliográfica**

São Carlos
2021

Lidiane Camila Simão

**Utilização de impressão 3D de zircônia para aplicações em restaurações dentárias: uma
revisão bibliográfica**

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Odontologia do Centro Universitário Central Paulista – UNICEP São Carlos - como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Odontologia.

Orientador: Prof. Dr. José Luiz Lopes Sanchez

Coorientador: Prof. Me. Leonildo Bernardo Pivotto

São Carlos

2021

SIMÃO, L. C.

Utilização de impressão 3D de zircônia para aplicações em restaurações dentárias: uma revisão bibliográfica/ Lidiane Camila Simão – São Carlos: Unicep, 2021. 28 p.

Orientador (a): Prof. Dr. José Luiz Lopes Sanchez

Co-orientador (a): Prof. Me. Leonildo Bernardo Pivotto

Monografia (Conclusão de Curso) – Centro Universitário Central Paulista, Unicep, Odontologia, 2021.

1. Manufatura Aditiva 2. Odontologia Digital 3. Biocerâmicas I. Título

Lidiane Camila Simão

**Utilização de impressão 3D de zircônia para aplicações em restaurações dentárias: uma
revisão bibliográfica**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Bacharel em Odontologia” e aprovado em sua forma final pelo Curso de Odontologia do Centro Universitário Central Paulista – UNICEP São Carlos.

São Carlos, 3 de dezembro de 2021.

Prof. (a) Dr. (a) Michelle Alexandra Chinelatti
Coordenador(a) do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Dr. José Luiz Lopes Sanchez
Orientador(a)
Centro Universitário Central Paulista – UNICEP São Carlos

Prof.(a) Dr.(a) Luara Pires
Avaliador(a)
Centro Universitário Central Paulista – UNICEP São Carlos

Prof. Dr. Lucas Candido
Avaliador(a)

Dedicatória

Aos meus pais, Iraci e Zilda, por sempre acreditarem em mim e por terem abdicado de suas vidas em prol das realizações e da felicidade de seus filhos.

Ao meu amado noivo Léo e ao meu filho Lucas, por todo amor, incentivo, apoio e compreensão. Nada disso teria sentido se vocês não existissem na minha vida.

AGRADECIMENTOS

É o momento de agradecer a todos que de alguma forma contribuíram para a realização desta pesquisa.

Trago em meu coração pessoas que trilharam comigo este percurso e pelas quais tenho gratidão.

Agradeço desta forma, Primeiramente a Deus, pelo dom da vida, por conceder sabedoria nas minhas escolhas, por me fortalecer para não desistir nos momentos mais difíceis

À minha mãe Zilda e meu pai Iraci por todo o esforço ao me criarem à frente de seu tempo com muito amor e dedicação.

Ao meu noivo Léo pela paciência, ajuda e amor me dedicado no desenvolvimento desse trabalho.

Ao meu filho Lucas que se tornou o principal combustível de minha vida para que eu sempre faça o melhor para tornar o mundo um lugar mais humano para ele.

A minhas irmãs Francielen e Sabrina e meus cunhados Sérgio e Matheus por todo companheirismo, risadas e confidências durante essa longa jornada.

À professora Dra. Luara Pires e ao professor Dr. Lucas Miguel Candido pelas contribuições na minha banca de defesa do trabalho de conclusão deste curso.

Ao meu orientador professor Dr. José Luiz Lopes Sanchez pela orientação e acima de tudo ter sido um ótimo professor e amigo durante todo o processo de crescimento desse trabalho e da graduação.

Enfim, a todos que, de alguma maneira, auxiliaram na execução deste trabalho, minha eterna gratidão!

RESUMO

A incorporação de técnicas oriundas dos processos de fabricação mecânica em segmentos da saúde permitiu uma melhoria qualitativa no tratamento de pacientes, além de criar um segmento de mercado com alto impacto tecnológico e financeiro. Em especial na odontologia, a aplicação de ferramentas de projeto e manufatura auxiliadas por computador (CAD/CAM), desenvolvimento de biomateriais, processos de usinagem e, mais recentemente, impressão 3D (manufatura aditiva) contribuí profundamente para a fabricação de implantes, coroas e outros componentes que unem desempenho mecânico, critérios clínicos e estéticos que permitem tratamentos de melhor qualidade e precisão, criando uma área conhecida como Odontologia Digital. Após quase três décadas de utilização de sistemas de usinagem CAD/CAM para usinagem de componentes protéticos, uma série de pesquisas científicas indicam a possibilidade cada vez mais ampla de obtenção desses produtos por processos de impressão 3D, inclusive de materiais cerâmicos como a zircônia. Embora a quantidade de trabalhos publicados com essa temática só tenha crescido de forma significativa nos últimos anos, após uma revisão bibliográfica sobre o tema é possível de forma inicial identificar em componentes impressos de zircônia características iguais ou superiores os equivalentes obtidos por usinagem. Essas propriedades superiores foram obtidas tanto devido às melhorias nos dispositivos das impressoras quanto no processamento dos biomateriais para impressão. Embora tais produtos ainda estejam majoritariamente em caráter experimental, espera-se para os próximos anos a presença dessa tecnologia no ambiente clínico odontológico.

Palavras-chave: Manufatura aditiva. Odontologia digital. Biocerâmicas.

ABSTRACT

The incorporation of techniques from mechanical manufacturing processes in healthcare segments allowed a qualitative improvement in the treatment of patients, in addition to creating a market segment with a high technological and financial impact. Especially in dentistry, the application of computer-aided design and manufacturing tools (CAD/CAM), development of biomaterials, machining processes and, more recently, 3D printing (additive manufacturing) contributes profoundly to the fabrication of implants, crowns and other components that combine mechanical performance, clinical and aesthetic criteria that allow for better quality and precision treatments, creating an area known as Digital Dentistry. After nearly three decades of using CAD/CAM machining systems for machining prosthetic components, a series of scientific research indicates the increasingly wide possibility of obtaining these products through 3D printing processes, including ceramic materials such as zirconia. Although the number of works published on this subject has only grown significantly in recent years, after a literature review on the subject, it is possible to initially identify characteristics in printed zirconia components equal to or greater than the equivalents obtained by machining. These superior properties were achieved both due to improvements in printer devices and in the processing of biomaterials for printing. Although these products are still mostly experimental, the presence of this technology in the dental clinical environment is expected for the next few years.

Keywords: Additive manufacturing. Digital dentistry. Bioceramics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Componentes da prótese dentária.....	17
Figura 2 – Usinagem de coroa cerâmica no sistema CAD/CAM.....	19
Figura 3 – Implante de fixação de zircônia produzido por manufatura aditiva.....	21
Figura 4 – Número de publicações no período de 1994 a 2018 na Web of Science	22
Figura 5 – Esquema de uma impressora 3D por fusão de leito de pó por SLS	23
Figura 6 – Esquema de impressora 3D de zircônia por jato de tinta para fabricação de coroa dentária	23
Figura 7 – Impressão 3D de coroa de zircônia após a sinterização.....	24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Propriedades mecânicas das principais cerâmicas utilizadas na odontologia	20
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAD – Projeto Auxiliado por Computador (*Computer Aid Design*)

CAM – Manufatura Auxiliada por Computador (*Manufacture Aid Design*)

MA – Manufatura Aditiva

Cerec – Reconstrução Cerâmica (*Ceramic Reconstruction*)

Y-TZP – Zircônia Tetragonal Policristalina Estabilizada por Ítrio

SLS – Sinterização Seletiva a Laser

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVO	15
3. METODOLOGIA	16
4. REVISÃO DA LITERATURA	17
4.1 Sistemas de usinagem CAD/CAM na odontologia	17
4.2 Zircônia como material odontológico	19
4.3 Manufatura aditiva na odontologia	20
5. DISCUSSÃO	24
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	26
REFERÊNCIAS	27

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento tecnológico impulsionado pela diversificação da indústria ao longo do século XX proporcionou um avanço extremamente rápido na criação e melhora de produtos e processos em diferentes ramos da engenharia. Seja pela busca da solução de problemas ou pela necessidade de atendimento ao consumo, áreas como processos de fabricação e ciência dos materiais conheceram um processo acelerado de sofisticação, de forma a transformar profundamente tanto o cotidiano das pessoas quanto às políticas de desenvolvimento econômico de diferentes países (GROOVER, 2013).

Os avanços em aplicações médicas e odontológicas devem ser analisados no âmbito desse acelerado desenvolvimento científico. A busca por soluções clínicas proporcionou a expansão de bens e produtos como tipos de exames, medicamentos, vacinas, equipamentos biomédicos (desde os mais simples de funcionamento puramente mecânico até os mais sofisticados com eletrônica embarcada), instrumentos cirúrgicos, próteses, órteses e uma série de equipamentos na área de tecnologia assistiva (inclusive com aplicações robóticas). Em especial, o surgimento de uma linha de pesquisa denominada biomateriais possibilitou a aplicação de materiais e dispositivos que permitem diagnóstico, tratamento e intervenções cirúrgicas no sistema biológico, garantindo um funcionamento minimamente saudável do corpo humano (PIRES, BIERHALZ e MORAES, 2015).

Na odontologia especificamente, temos o desenvolvimento de tratamentos para prevenção em saúde bucal, técnicas e biomateriais para restauração das condições dentárias e toda uma linha de máquinas e equipamentos para o atendimento de demandas nessa área da saúde (REZAIE et al, 2020). O tratamento de restauração protética evoluiu tanto no que se refere à aplicação de novos materiais quanto com relação aos processos de fabricação. Nos últimos 30 anos, essa área da odontologia aplicou e aprimorou um processo de manufatura já bem utilizado na indústria mecânica conhecido como usinagem, que se baseia na remoção de um material em bruto com o auxílio de máquinas e ferramentas para a obtenção de um componente de acordo com o formato desejado. Quando esse processo passou a ser aplicado na odontologia para a confecção de componentes de próteses dentárias, utilizou o que havia de mais moderno em termos de otimização e automação do trabalho. A tecnologia CAD/CAM (sigla em inglês para desenho auxiliado por computador e manufatura auxiliada por computador, respectivamente) permite que esses equipamentos de usinagem executem a geometria desejada na peça através de movimentos automáticos de eixos, que orientam a

ferramenta de acordo com o planejado tanto no desenho quanto nas etapas de fabricação, produzindo componentes restauradores dos tipos metálicos, cerâmicos ou poliméricos (KAYATT e NEVES, 2013; ALGHAZZAWI, 2016). Mais recentemente (últimos 10 anos) a odontologia tem buscado alternativas na produção desses componentes na aplicação de um processo de fabricação denominado manufatura aditiva, mais popularmente conhecido como impressão 3D. Como o próprio nome supõe, esse processo produz peças e componentes através da deposição de material (o oposto do que o processo de usinagem realiza), que pode ser tanto com a adição de camadas de filamentos de materiais quanto através do endurecimento de matéria prima em formato de pós aglutinados. Com diferentes graus de aprimoramento e de pesquisas realizadas, é possível através dessa técnica fabricar componentes poliméricos, metálicos e cerâmicos, embora ainda exista uma grande necessidade de estudos para a avaliação das propriedades mecânicas de produtos obtidos por esse processo (RODRIGUES et al, 2016).

A pesquisa e o aprimoramento de processos e biomateriais aplicados em restauração protética são de fundamental importância tanto para o bem-estar do paciente quanto para o fortalecimento de cadeias produtivas que atendem esse segmento. Ao unir aspectos de saúde e estética, o acesso a esse tipo de tratamento com qualidade e custo acessível contribui para a autoestima e uma vida saudável. Embora o Brasil seja o país com a maior quantidade de dentistas do mundo (por volta de 19%) o acesso a serviços odontológicos ainda é considerado restrito e desigual, principalmente por questões financeiras. Mesmo com alguns avanços, estima-se que apenas 30,7% dos serviços odontológicos prestados à população sejam fornecidos pelo serviço público, e que aos 60 anos de idade, 41,5% da população já tenha a arcada dentária completamente comprometida (BRASIL, 2018). Pesquisas que otimizem e ajudem a baratear tecnologias odontológicas podem contribuir para a melhoria desse cenário, além de impulsionar segmentos produtivos de alta qualificação.

Embora a manufatura aditiva para aplicações protéticas seja um campo ainda por ser amplamente explorado quando comparado a aplicação de sistemas CAD/CAM por usinagem, é possível visualizar que esta tecnologia estará cada vez mais presente na odontologia nos próximos anos.

2 OBJETIVO

O objetivo desse trabalho é apresentar uma revisão bibliográfica sobre a utilização da tecnologia de impressão 3D de zircônia para aplicações em restaurações dentárias, apresentando as ideias básicas e indicando os principais conceitos aplicados nessa área do conhecimento.

3. METODOLOGIA

A pesquisa foi baseada em levantamento bibliográfico de natureza descritiva, realizada através da análise qualitativa dos artigos pesquisados nas principais plataformas de artigos online relativos ao tema (*Web of Science* e *Scielo*) no período de 2000 a 2021, visando apresentar os conceitos fundamentais das tecnologias envolvidas e o estado da arte no que se refere à aplicação na odontologia. As palavras chaves utilizadas para o levantamento de artigos foram manufatura aditiva, odontologia digital e biocerâmicas.

A pesquisa bibliográfica é feita através de um levantamento de bibliografias existentes já publicadas sobre um determinado assunto de interesse do pesquisador, com o objetivo de proporcionar contato direto com o assunto e assim reforçar, explorar e identificar problemas pertinentes ao tema (MARCONI, LAKATOS 2001).

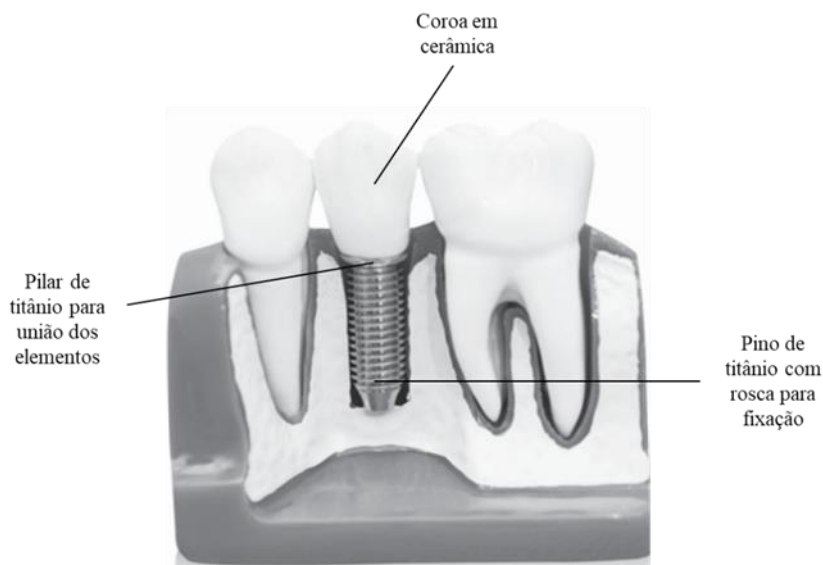
4 REVISÃO DA LITERATURA

4.1 Sistemas de usinagem CAD/CAM na odontologia

As tentativas de utilização de sistemas de usinagem na fabricação de próteses dentárias têm origem em pesquisas desenvolvidas na segunda metade dos anos 1970 nos Estados Unidos, França e Suíça. Mas foi na década de 1980, que Werner Mormann e Marco Brandestini desenvolveram o chamado sistema *Cerec* (Ceramic Reconstruction), o primeiro sistema CAD/CAM a ser comercializado de forma viável. Embora posteriormente outros sistemas tenham surgido e ganhado espaço no mercado, o sistema *Cerec* foi o responsável pela difusão dessa tecnologia (KAYATT e NEVES, 2013; CRUZ, 2018; FARIAS et al, 2018). O sistema CAD/CAM se apresentou viável na odontologia porque incorporou técnicas e inovações nas áreas de informática, softwares de projetos mecânicos e processos de manufatura, incorporação de sistemas mecatrônicos em máquinas e o desenvolvimento de novas ferramentas de usinagem.

Através de processos de usinagem é possível produzir componentes (figura 1) para restaurações de prótese fixa (como coroas, pontes, facetas, *inlays*, *onlays* e laminados) e próteses removíveis. Pode ser aplicado também para a confecção de modelos que ajudam o dentista a planejar as etapas de cirurgia buco-maxilo-facial.

Figura 1 - Componentes da prótese dentária



Fonte: Oliveira, 2014

De maneira geral, os sistemas CAD/CAM proporcionaram redução nos custos de fabricação devido a padronização e reprodutibilidade, precisão nas dimensões dos produtos, melhor ajuste das próteses no paciente, rapidez no atendimento uma vez que reduz a quantidade de consultas e supera o método tradicional de confecção de próteses por fundição de resinas, aplicação de materiais totalmente cerâmicos (*metal free*) superiores principalmente no requisito estético, redução do risco de colonização de micro-organismos nas superfícies da prótese e menor incidência de estomatite protética. Embora tais características positivas apresentem grandes avanços, em contrapartida são apresentados como pontos negativos o custo inicial para a aquisição dos equipamentos, necessidade de profissionais com qualificação específica e limitações relativas ao sistema de captação de imagens na modelagem das próteses (TAVARES et al, 2018; ROCHA e ABREU, 2019).

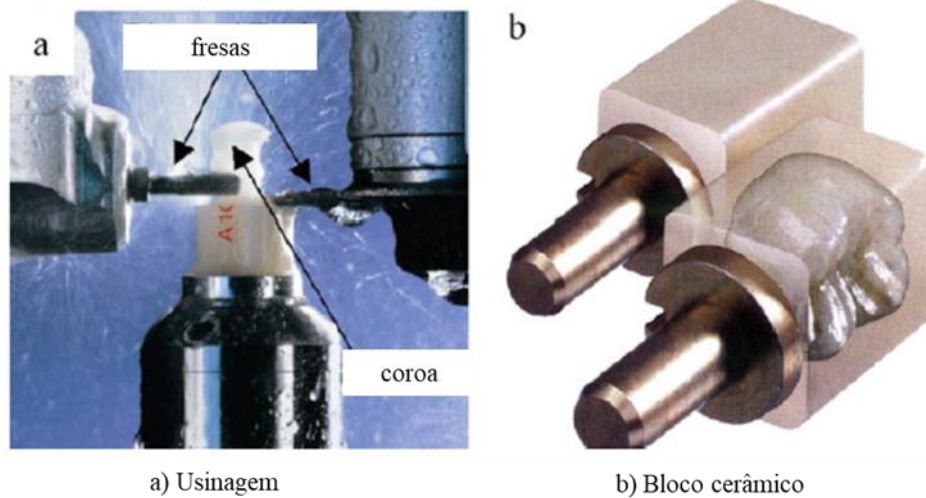
A fabricação de coroas dentárias por sistema de usinagem CAD/CAM prevê a execução de três etapas (ALGHAZZAWI, 2016; CRUZ, 2018; FARIAS et al, 2018):

- Aquisição e digitalização da imagem topográfica da arcada dentária do paciente através de mapeamento com scanner 3D ou câmeras especiais de impressão óptica. Essa etapa pode ser feita de duas formas: através de um equipamento que possibilita o mapeamento direto na boca do paciente (impressão digital intraoral) ou fora da cavidade oral com o mapeamento de um modelo de gesso.

- Planejamento virtual da restauração, a fase CAD do processo. Com a aquisição das imagens, realiza-se o desenho com as dimensões, pontos de montagem e formato do componente protético a ser produzido.

- Fabricação da coroa dentária, a partir da usinagem de blocos fabricados de cerâmica pré-sinterizada (fase CAM). Nessa etapa executa-se a remoção de material do bloco até atingir o formato desenhado da coroa na fase anterior (figura 2). Antes da usinagem, deve-se preparar a máquina com as ferramentas e com o programa que irá executar os movimentos de rotação e avanço das fresas. Ao término da usinagem, a coroa é submetida ao processo de sinterização final.

Figura 2 - Usinagem de coroa cerâmica no sistema CAD/CAM



Fonte: Rezaie et al, 2020

4.2 Zircônia como material odontológico

Por muitos anos as próteses metalocerâmicas eram as únicas opções disponíveis para tratamento de restauração dentária. Devido a superioridade no aspecto estético, as próteses totalmente cerâmicas passaram a ganhar espaço nesse tipo de tratamento, embora existisse o desafio de garantir as propriedades mecânicas similares ou superiores ao equivalente com metal e a possibilidade de produção de forma acessível e precisa. As restaurações cerâmicas possuem sucesso clínico a longo prazo, não só pelas suas propriedades mecânicas, estéticas e biocompatibilidade, mas também pela sua capacidade de adaptação marginal à estrutura dentária. O desenvolvimento de cerâmicas reforçadas proporciona propriedades mecânicas relevantes e adequadas clinicamente, possibilitando a confecção de coroas unitárias ou prótese fixa, tanto anterior quanto posterior. Os materiais cerâmicos mais utilizados na usinagem em sistemas CAD/CAM são blocos de vidro reforçada com leucita, alumina reforçada com vidro, alumina densamente sintetizada, zircônia Y-TZP (*Yttrium-tetragonal zircônia polycrystal*) com sinterização parcial ou total (CRUZ, 2018; FARIAS et al, 2018; ROCHA e ABREU, 2019).

Dentre os materiais cerâmicos utilizados, a zircônia em particular apresenta valores de resistência mecânica similares a algumas ligas metálicas, embora tenha uma fragilidade maior que outros materiais. É um material adequado para manufatura de coroas e outros componentes devido à resistência a corrosão, biocompatibilidade, osteocondutividade, baixo acúmulo de placas e biofilmes. A formação de óxidos a base de ítrio no processamento de zircônia para

próteses é necessária para garantir uma microestrutura sem riscos de promover trincas durante a transformação de fases, o que garante melhorias na tenacidade e na resistência mecânica.

Esse processo é acompanhado por um aumento de volume de 3 a 5% da zircônia, provocando uma força compressiva contra as superfícies da trinca, o que dificulta sua propagação. Por meio deste fenômeno, a zircônia Y-TZP atinge resistência à flexão de 900 a 1.200 MPa e valores de tenacidade de 6-10 MPa.m^{1/2}. Com propriedades mecânicas superiores às demais cerâmicas, a zircônia Y-TZP ganhou espaço nas indicações das próteses cerâmicas para próteses parciais fixas de 3 a 4 elementos em qualquer região bucal (MARTINS et al, 2010; REICHENBACH, 2017; REZAIE et al, 2020). A tabela 1 apresenta uma comparação entre os principais materiais cerâmicos utilizados na odontologia.

Tabela 1 - Propriedades mecânicas das principais cerâmicas utilizadas na odontologia

Material	Módulo de elasticidade (GPa)	Dureza Vickers (HV)	Tenacidade (MPa.m^{1/2})	Resistência à flexão (MPa)
Vidro reforçado com leucita	65	612	1,3	140
Alumina reforçada com vidro	274	1.112	3,6	548
Alumina densamente sintetizada	372	2.039	3,1	572
Zircônia Y-TZP	210	1.428	4,0	1.200

Fonte: Rezaie et al, 2020 adaptado

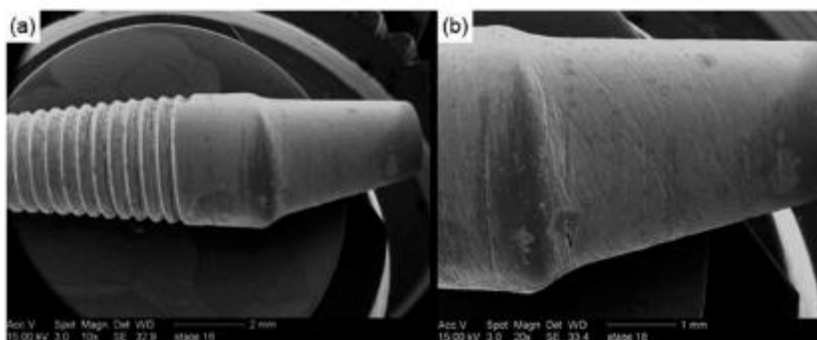
4.3 Manufatura aditiva na odontologia

Criada em 1986, a impressão 3D é uma técnica da fabricação que consiste em adicionar camadas sucessivas de matéria prima (manufatura aditiva), visando construir estruturas e geometrias complexas a partir de modelos tridimensionais criados por softwares de desenho auxiliado por computador (NGO et al, 2018; RODRIGUES et al, 2016). A impressão 3D envolve diferentes métodos, materiais e equipamentos, e evoluiu ao longo dos anos devido principalmente aos avanços e integração de áreas como processos de fabricação, ciência dos

materiais, microeletrônica e informática. Inicialmente utilizada como técnica de prototipagem, atualmente é aplicada na manufatura de componentes definitivos nas indústrias automobilística, aeroespacial, máquinas e equipamentos, dentre outros.

A impressão 3D tem conquistado importantes espaços nas áreas médica e odontológica. Principalmente devido a sua capacidade de produzir pequenas quantidades de produtos customizados com custos relativamente baixos. Essa característica é especialmente útil no campo biomédico, em que produtos exclusivos e personalizados para o paciente são normalmente necessários. Inicialmente, a manufatura aditiva de materiais poliméricos na odontologia tem suprido necessidades de treinamento e planejamento de cirurgias através da fabricação rápida de moldes e modelos dentários. Apenas nos últimos anos, com o desenvolvimento de máquinas de impressão de metais e cerâmicas, que essa tecnologia abriu perspectivas na produção de próteses e órteses para diferentes finalidades (RODRIGUES et al, 2016; GALANTE, FIGUEIREDO-PINA e SERRO, 2019; JAVAID e HALEEM, 2019; ZANG, WU e SHI, 2020).

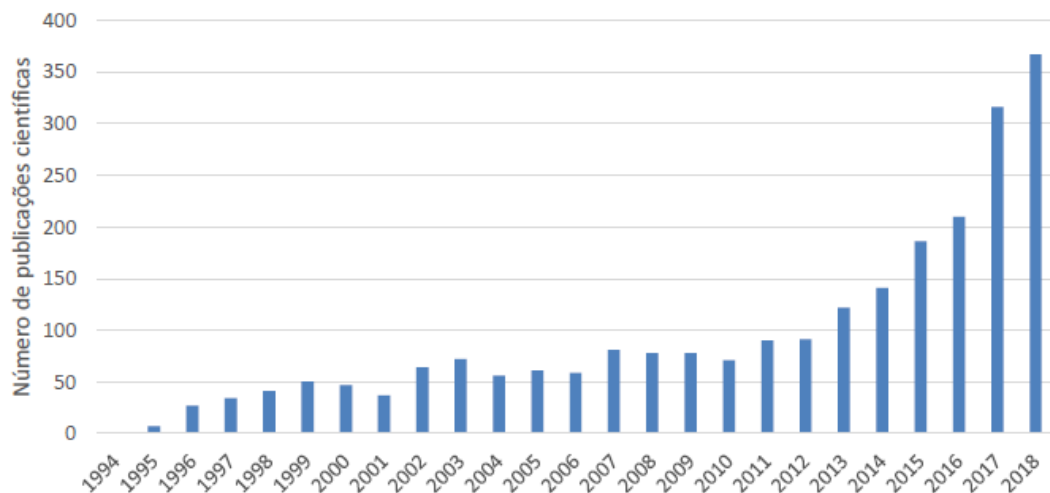
Figura 3: Implante de fixação de zircônia produzido por manufatura aditiva



Fonte: Zang, Wu e Shi, 2020

Embora o primeiro protótipo de impressora 3D e este novo conceito de manufatura tenha surgido na década de 1980, é só a partir da metade dos anos 1990 que o número de artigos científicos na área começa a apresentar um crescimento consistente (PORTO, 2019). O gráfico abaixo apresenta a evolução de trabalhos publicados na plataforma Web of Science com a temática de manufatura aditiva de forma geral.

Figura 4: Número de publicações mundiais no período de 1994 a 2018



Fonte: Porto, 2019

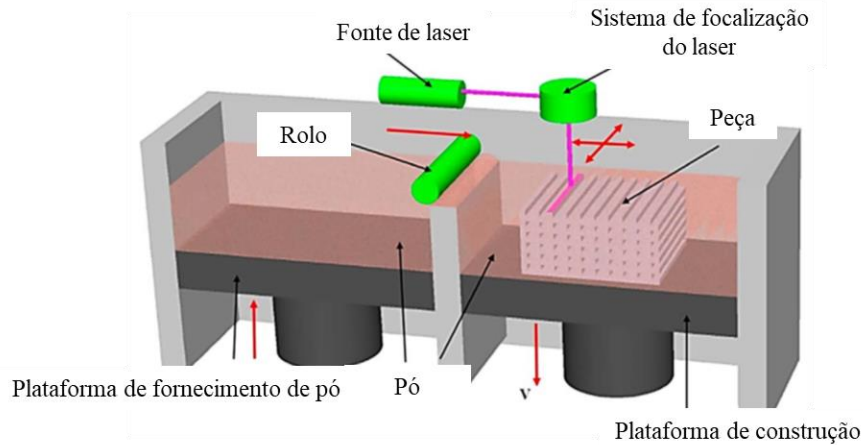
Ao se identificar o perfil do periódico durante o período citado (JVAID e HALEEM, 2019), temos que de todas as divulgações realizadas com o tema manufatura aditiva, a odontologia contribui com 23%, ciência dos materiais com 16%, bioquímica, genética e biologia molecular com 11%, a medicina com 5%, a informática com 3% e outras áreas também com 14%. A área de engenharia, uma das principais interessadas no tema pois desenvolve diretamente atividades de fabricação, contribuiu com 27%. Tal comparativo indica o grande interesse das áreas da saúde no geral pela tecnologia, e pela odontologia em particular, indicando a versatilidade de aplicações que a impressão 3D pode proporcionar. No âmbito da manufatura aditiva de biocerâmicas, a média de publicações foi de pouco mais de 90 por ano entre 1994 e 2018. Para Porto (2019), esse cenário é um indicativo de que a impressão 3D de materiais cerâmicos ainda não atingiu um nível tecnológico de maturidade quando comparado ao uso de outros materiais (polímeros principalmente), sendo assim caracterizada como uma técnica em estado emergente.

Embora existam diferentes métodos de manufatura aditiva, os que possibilitam a fabricação de componentes cerâmicos de zircônia e apresentam resultados mais promissores para aplicações odontológicas (OSMAN et al, 2017; NGO et al, 2018; SHI e WANG, 2020; ZANG, WU e SHI, 2020) são os seguintes:

- Fusão de Leito em Pó: utilização de uma fonte de energia direta a laser ou feixe de elétrons para fundir e solidificar simultaneamente a matéria prima em formato de pós aglutinados com resina. O endurecimento do material ocorre por Sinterização Seletiva a Laser (SLS). O processo se baseia em uma camada de material na forma de pó ser espalhada em um leito que está

aquecido e, por meio de um sistema ótico, um feixe de laser se move para fundir cada camada seguindo o modelo do desenho computadorizado. A fusão do material ocorre pelo aumento da temperatura local resultado da interação do laser com as partículas.

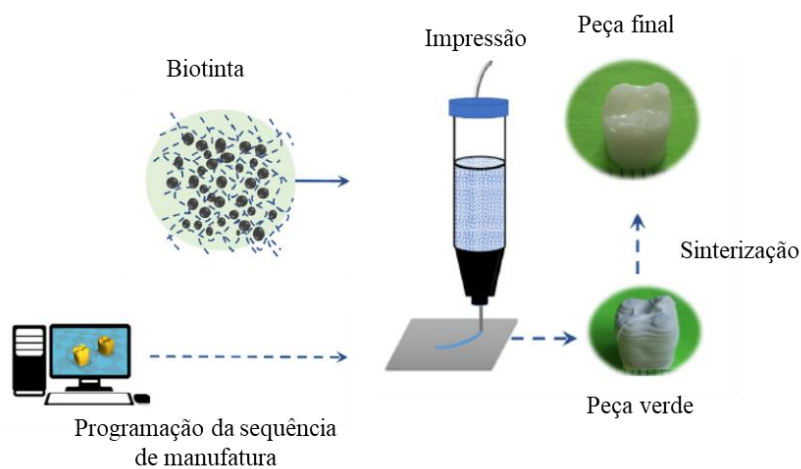
Figura 5: Esquema de uma impressora 3D por fusão de leito de pó por SLS



Fonte: Ngo et al, 2018

- Impressão por jato de tinta: nesta técnica, uma suspensão de cerâmica estável (biotinta) é bombeada e depositado na forma de gotículas através do bocal de injeção no substrato. As gotas então formam um padrão contínuo que se solidifica com força suficiente para conter camadas subsequentes de materiais impressos. Este método é rápido e eficiente, o que permite flexibilidade no projeto e na impressão estruturas complexas.

Figura 6: Esquema de impressora 3D de zircônia por jato de tinta para fabricação de coroa dentária



Fonte: Shi e Wang, 2020

5 DISCUSSÃO

A capacidade de fabricar componentes de zircônia por manufatura aditiva abriu um amplo espaço para estudos e aplicações dessa técnica na odontologia, principalmente no segmento de próteses dentárias. Embora os estudos e análises sejam todos experimentais, pesquisas preliminares apontam para algumas vantagens significativas na manufatura de implantes e coroas dentárias com esse tipo de biocerâmica.

Figura 7: Impressão 3D de coroa de zircônia após a sinterização



Fonte: Shi e Wang, 2020

Apesar da boa precisão dimensional e geométrica dos processos de impressão, a ligação e endurecimento entre as camadas e uma seleção limitada de materiais são os principais desafios para a impressão 3D de cerâmica. A moldagem de peças de cerâmica é um processo demorado e caro. Portanto, a impressão 3D de formas complexas seguida de sinterização para fabricar o produto final tornou-se muito atraente. Além disso, a impressão 3D de cerâmicas introduziu vários benefícios ao desenvolver materiais leves avançados que são feitos sob medida para diferentes aplicações. Os andaimes (*scaffolds*) de cerâmica usados na engenharia de tecidos para estruturação de substâncias tornaram-se mais convenientes e rápidos em comparação com os tradicionais métodos de fundição e sinterização (OSMAN et al, 2017; ZANG, WU e SHI, 2020). Com o aprimoramento dos componentes das impressoras 3D de cerâmica nos últimos anos, foi possível um controle mais rigoroso de parâmetros como nível e composição dos pós, quantidade de aglutinante, tempo de secagem e velocidade de espalhamento do pó. Os resultados obtidos indicam um implante preciso, com baixo custo e melhor resistência mecânica proporcionado pelo controle mais refinado da formação da microestrutura (NGO et al, 2018; JAVAID e HALEEM, 2019).

Apesar dos avanços recentes na área de impressão 3D de materiais cerâmicos, ainda há muito que se pesquisar com relação as propriedades mecânicas desses componentes, sua estrutura cristalina, formação das fases, comportamento anisotrópico, rugosidade e biocompatibilidade. O que alguns pesquisadores apontam, é que a busca de propriedades desejadas em materiais por esse tipo de método requer a combinação adequada de variáveis como preparação correta dos pós aglutinados, parâmetros de regulagem do laser e controle de temperatura (JAVOID e HALEEM, 2019; ZANG, WU e SHI, 2020) A exemplo do que foi o surgimento dos equipamentos CAD/CAM nos anos 1980, ao acesso a esse tipo de maquinário e seus insumos hoje possui custos muito elevados, o que dificulta a disseminação dessa tecnologia nos dias atuais.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A integração de diferentes áreas tecnológicas como fabricação mecânica, ciência dos materiais, microeletrônica e informática possibilitou o surgimento de um novo processo de manufatura capaz de combinar precisão, rapidez e customização. A possibilidade de customização de produtos com os recursos CAD, os diferentes tipos de materiais aplicados e a operação simplificada das impressoras 3D quando comparadas a outros equipamentos industriais, abriu espaço para o uso dessa técnica em diferentes campos científicos, em especial a medicina e a odontologia. Seja para elaboração de protótipos ou para a manufatura de produtos definitivos, é possível encontrar a manufatura aditiva em aplicações como componentes de equipamentos biomédicos, instrumentos cirúrgicos, válvulas cardíacas, próteses ósseas, implantes e coroas dentárias.

Das diferentes técnicas para fabricação de componentes protéticos, a tecnologia CAD/CAM permite a utilização de cerâmicas para confecção de coroas dentárias, oferecendo um produto que combina critérios mecânicos, clínicos e estéticos com qualidade reconhecida há décadas. A zircônia em particular se apresenta propriedades tecnológicas como dureza e resistência à flexão que permite a obtenção de geometria muito similar a um dente natural. Por outro lado, o sistema CAD/CAM ainda é uma técnica de custo elevado quando se leva em consideração o perfil da saúde bucal no Brasil.

Embora ainda em caráter majoritariamente experimental, é possível encontrar em bases de dados de periódicos científicos estudos relacionados a utilização de zircônia em processos de impressão 3D, sendo a odontologia responsável por 23% dos trabalhos publicados nos últimos 25 anos. A simplificação do processo e a economia de material quando comparado à manufatura por usinagem, são indicativos de que é possível obter implantes e coroas com custo reduzido. Com o aprimoramento das máquinas e seus dispositivos, foi possível obter melhorias nos insumos utilizados (pós aglutinados e biotintas), nos cabeçotes de impressão e controle da formação da microestrutura e geometria dos produtos.

Com o avanço das pesquisas e crescente aplicação da manufatura aditiva como um todo na indústria, a tendência é a redução do custo e disseminação crescente desses equipamentos. Cabe ainda a elaboração de estudos que englobem em maior quantidade experimentos de caracterização desses materiais e testes de integração tecidual e óssea para garantia de cumprimento de critérios clínicos necessários.

REFERÊNCIAS

- ALGHAZZAWI, T. F. Advancements in CAD/CAM technology: Options for practical implementation. **Journal of Prosthodontic Research**, Japan Prosthodontic Society, Tokyo, v. 60, n. 2, p. 72 – 84, fevereiro 2016.
- BRASIL. **A Saúde Bucal no Sistema Único de Saúde**. Ministério da Saúde, Secretaria de Atenção à Saúde, Departamento de Atenção Básica, Brasília. 2018.
- CRUZ, E. M. **Sistemas CAD/CAM na Odontologia**. 2018. 48 p. Monografia (Especialização em Prótese Dentária) — Faculdade de Odontologia - UFMG.
- FARIAS, I. A. et al. Sistema CAD-CAM: a tecnologia na confecção de próteses. **Salusvita**, Bauru, v. 37, n. 4, p. 963 – 983, 2018.
- GALANTE, R.; FIGUEIREDO-PINA, C. G.; SERRO, A. P. Additive manufacturing of ceramics for dental applications: A review. **Dental Materials**, Academy of Dental Materials, San Diego, v. 35, n. 6, p. 825 – 846, fevereiro 2019.
- GROOVER, M. P. **Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, processes and systems**. 5ª. ed. Wiley, 2013. 1101 p.
- JAVAID, M.; HALEEM, A. Current status and applications of additive manufacturing in dentistry: A literature-based review. **Journal of Oral Biology and Craniofacial Research**, Craniofacial Research Foundation, Queenstown, v. 9, n. 2, p. 179 – 185, 2019.
- KAYATT, F. E.; NEVES, F. D. **Aplicação dos Sistemas CAD/CAM na Odontologia Restauradora**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013. 312 p.
- LAKATOS, Eva Maria & MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos da metodologia científica**. 4. e. SP: Atlas, 2001.
- MARTINS, L. M. et al. Comportamento biomecânico das cerâmicas odontológicas: revisão. **Cerâmica**, IPT, São Paulo, v. 56, n. 338, p. 148 – 155, 2010.
- NGO, T. D. et al. Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges. **Composites Part B: Engineering**, Elsevier, n. 143, p. 172 – 196, fev 2018.
- OLIVEIRA, A. S. **Técnicas em próteses dentárias: noções básicas, classificação e confecção**. 1. ed. São Paulo: Érica, 2014. 128 p.
- OSMAN, R. B. et al. 3D-printing zirconia implants; a dream or a reality? An in-vitro study evaluating the dimensional accuracy, surface topography and mechanical properties of printed zirconia implant and discs. **Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials**, Elsevier, n. 75, p. 521 – 528, ago 2017.

PIRES, A. L. R.; BIERHALZ, A. C. K.; MORAES, A. M. Biomateriais: tipos, aplicações e mercado. **Química Nova**, Sociedade Brasileira de Química, São Paulo, v. 38, n. 7, p. 957 – 971, maio 2015.

PORTO, A. C. **Indicadores de produção científica para prospecção tecnológica em manufatura aditiva de biocerâmicas**. 2019. 140 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) — Universidade Federal de São Carlos.

REICHENBACH, R. C. **A utilização de pilar em zircônia confeccionada pela técnica de fresamento do sistema CAD/CAM em próteses dentárias**. 2017. 49 p. Monografia (Especialização em Prótese Dentária) — Departamento de Odontologia Restauradora - UFPR.

REZAIIE, H. M. et al. **A Review on Dental Materials**. 1. ed. Cham: Springer, 2020. 230 p.

ROCHA, G. L. P.; ABREU, C. W. Tecnologia CAD/CAM (Desenho Assistido por Computador/Manufatura assistida por computador) aplicada à prótese dentária: estado atual. **Revista Eletrônica Acervo Saúde**, v. 22, p. 1 – 6, abril 2019.

RODRIGUES, V. P. et al. Manufatura aditiva: estado da arte e framework de aplicações. **Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, Departamento de Engenharia de Produção da Faculdade de Engenharia da UNESP, Bauru, v. 12, n. 3, p. 1 – 34, abril 2016.

SHI, Y.; WANG, W. 3D inkjet printing of the zirconia ceramic implanted teeth. **Materials Letters**, Elsevier, n. 261, p. 127 – 131, dez 2019.

TAVARES, C. et al. Aplicabilidade dos sistemas CAD/CAM em Prótese Total: revisão de literatura. **Arch Health Invest**, v. 7, n. 11, p. 482 – 485, 2018.

ZHANG, X.; WU, X.; SHI, J. Additive manufacturing of zirconia ceramics: a state-of the-art review. **Journal of Materials Research and Technology**, Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração, São Paulo, v. 9, n. 4, p. 9029 – 9048, 2020.