



CENTRO UNIVERSITÁRIO FAMETRO - UNIFAMETRO
GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA

RAFAELA ALVES CASTRO
LUCAS ANDEILSON DOS SANTOS MATOS

A UTILIZAÇÃO DE IMPLANTES PRODUZIDOS POR MANUFATURA
ADITIVA PARA REABILITAÇÃO ORAL

FORTALEZA - CE

2022

RAFAELA ALVES CASTRO
LUCAS ANDEILSON DOS SANTOS MATOS

A UTILIZAÇÃO DE IMPLANTES PRODUZIDOS POR MANUFATURA
ADITIVA PARA REABILITAÇÃO ORAL

Artigo científico apresentado ao curso de Odontologia do Centro Universitário Fametro - UNIFAMETRO, como requisito para a obtenção do grau de bacharel, sob a orientação do Prof. Me. Rômulo Bomfim Chagas.

FORTALEZA - CE

2022

RAFAELA ALVES CASTRO
LUCAS ANDEILSON DOS SANTOS MATOS

A UTILIZAÇÃO DE IMPLANTES PRODUZIDOS POR MANUFATURA
ADITIVA PARA REABILITAÇÃO ORAL

Este artigo científico foi apresentado no dia 30 de maio de 2022, como requisito para obtenção do grau de bacharel em Odontologia do Centro Universitário Fametro - UNIFAMETRO, tendo sido aprovado pela banca examinadora composta pelos professores abaixo:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Rômulo Bomfim Chagas
Orientador - Centro Universitário Fametro - UNIFAMETRO

Profa. Me. Aline Dantas Diógenes Saldanha
Membro - Centro Universitário Fametro - UNIFAMETRO

Prof. Me. João Eudes Teixeira Pinho Filho
Membro - Centro Universitário Fametro - UNIFAMETRO

Dedicamos este artigo a todos os pacientes que já atendemos e aos que ainda iremos atender.

Dedicamos ainda ao nosso orientador Prof. Me. Rômulo Bomfim, que nos é referência para a Implantodontia contemporânea.

AGRADECIMENTOS

Eu Lucas Matos, agradeço a minha família, em especial aos meus irmãos Iraílson Matos e Anderson Matos, que são meus maiores exemplos de determinação, onde em meio as turbulências, me deram todo o apoio e suporte que necessário durante esses longos cinco anos de graduação. Espero retribuir em dobro cada mínimo esforço que me foi proporcionado. Além de minha mãe, Iris Matos, minha inspiração de garra, força e resiliência, muito obrigado por tudo. Ao meu pai, Francisco Matos, agradeço por tudo. Amo vocês, obrigado por existirem em minha vida (♡).

Agradeço aos meus amigos, que fizeram da faculdade um espaço de acolhimento e parceria, onde, mesmo no caos dos estudos/provas encontraram paz nas risadas e companheirismo. Em especial à Italo Sampaio (nos vemos na residência, futuro Bucomaxilo), Samara Rabelo e Lauana Kelly. A vida reserva um caminho grandioso pra cada um de vocês.

Agradeço também ao meu amigo querido Miguel Tomaz e a sua família, que me acolheram inúmeras vezes em seu lar, sem pensar duas vezes. Além disso, sempre foi, e é uma pessoa que acreditou no meu potencial e me incentivou. Obrigado amigo, você é um ser humano fantástico e um profissional ímpar, desejo tudo de mais incrível pra ti em sua nova fase da vida. Amo você.

Agradeço a minha dupla, Rafaela Castro que sempre esteve ao meu lado (literalmente) em toda a minha vida acadêmica, me auxiliando (literalmente²) em tudo e desempenhando extraordinariamente o papel de dupla e amiga. Você é uma pessoa de coração puro, super esforçada e dedicada, que na sua vida sempre apareçam pessoas que correspondam a imensidão que você é. Te amo Rafa.

Ademais, agradeço aos meus professores que me formaram como profissional e futuro cirurgião-dentista.

Eu, Rafaela Castro agradeço a Deus por sempre estar ao meu lado. Por me ensinar diariamente a ser melhor, justa e verdadeira comigo mesma e sempre me motivar a alcançar meus sonhos, mesmo parecendo impossíveis, tudo é possível para Ele e com Ele.

Agradeço a minha mãe, Mariza e ao meu pai, Jerônimo que são a minha fortaleza. As pessoas nas quais mais amo no mundo, que me deram a vida, me educaram e ensinaram grandes valores. Sou grata por terem investido em mim e por até hoje segurarem na minha mão e dizerem que juntos iremos vencer. Amo vocês.

Agradeço as minhas irmãs Janaína, Raísa, Marília, por sempre acreditarem em mim, por me motivarem e me ensinarem sempre algo. Vocês fazem parte dessa conquista, amo cada uma de vocês, de forma incondicional. Em especial, agradeço a minha irmã Janaína por ter cuidado de mim como filha, durante 3 anos do ensino médio. Por ter me ensinado muito sobre a vida, sobre valores e sobre o amor (e por ter me dado a sobrinha mais linda do mundo).

Agradeço a Melinda, minha pequena sobrinha que há 2 anos e 11 meses me tornou uma pessoa melhor, que me ensinou o grande e verdadeiro sentido de amar, amar sem medida. Que com um simples sorriso faz meu dia ficar mais alegre e com um "Tia Rafa" me torna a pessoa mais importante do mundo, por ser sua tia. Te amo Melinda.

Agradeço a minha tia Euridea e ao meu primo Filipe, que investiram em mim, para a conquista desse sonho. Vocês são seres humanos incríveis, eu amo vocês e admiro muito.

Agradeço ao meu noivo, Vinícius por ser meu companheiro para todas as horas e ocasiões, por me apoiar e sempre estar ao meu lado, por não ter desistido de mim, nem nos piores momentos que já passamos. Por me amar incansavelmente e ser meu porto seguro. Você é minha fonte de inspiração, em ser uma pessoa melhor a cada dia. Amo tu, Vini.

Agradeço a minha dupla, Lucas Matos por estar comigo desde o início das práticas, me auxiliando em tudo que fosse preciso. Por nunca ter soltado a minha mão, por ser uma pessoa tão doce e sensível, um grande amigo, que sabe ouvir e aconselhar. Você é a pessoa mais importante que conheci na minha vida como acadêmica. Te amo pra sempre.

Agradeço a minha segunda família, meus sogros Eliane e Oscélio, pessoas maravilhosas que me consideram filha. Vocês são grandes exemplos para mim, eu tenho um carinho enorme e verdadeiro por vocês. Obrigada por me apoiarem e por serem família, na ausência da minha. E agradeço também aos meus cunhados, Letícia e Júnior, vocês são incríveis e torço muito pelo sucesso de cada um. Amo vocês.

Agradeço a Samara e Lauana, grandes amigas, que em muitos momentos foram aconchego e motivação. Obrigada por tudo que já vivemos juntas, vocês são maravilhosas e quero sempre ter vocês na minha vida. Amo vocês.

Palavras são, na minha humilde opinião, nossa inesgotável fonte de magia. Capazes de formar grandes sofrimentos e também de remediá-los.

- **Alvo Dumbledore (Harry Potter e Relíquias de Morte)**

A UTILIZAÇÃO DE IMPLANTES PRODUZIDOS POR MANUFATURA ADITIVA PARA REABILITAÇÃO ORAL

THE USE OF IMPLANTS PRODUCED BY ADDITIVE MANUFACTURING FOR ORAL REHABILITATION

Rafaela Alves Castro¹

Lucas Andeilson dos Santos Matos²

Rômulo Bomfim Chagas³

RESUMO

A manufatura aditiva vem se tornando cada vez mais relevante no mundo da indústria, pela capacidade de produzir objetos a partir de projetos virtuais de dados 3D. A fabricação aditiva tem crescido seu escopo de atuação na área da implantodontia, proporcionando assim, novas formas de produção dos implantes dentários, sendo elas: Fusão Seletiva a Laser ou Fusão de Feixe de Elétrons. Objetiva-se identificar na literatura os principais benefícios dos implantes personalizados produzidos por manufatura aditiva para reabilitação oral. Trata-se de revisão integrativa da literatura, onde o levantamento bibliográfico ocorreu mediante acesso virtual às bases de dados MEDLINE via PubMed, Web of Science e EMBASE. Além disso, foi empregada busca manual bibliográfica de artigos primários. Foram encontradas 266 publicações, sendo eleitos doze artigos como amostra final para compor a revisão. Pode-se observar que a utilização dos implantes produzidos por manufatura aditiva apresentou efeitos benéficos para reabilitação oral. Quanto aos principais fatores positivos, os autores destacam a possibilidade de produção de peças mais complexas, possuindo propriedades mecânicas personalizadas, com superfície de escala micro e nano rugosas. Alicerçado na síntese de evidências científicas apresentadas nesta da literatura, infere-se que a manufatura aditiva é uma nova e eficaz alternativa para a fabricação de implantes personalizados. Constatou-se ainda que a fabricação aditiva de implantes por meio da técnica de fusão seletiva a laser é mais favorável do que as demais, este fato advém da produção de peças mais delicadas e da alta superfície rugosa apresentada, que implicará diretamente em seu tratamento de superfície, capazes de acelerar os processos de osseointegração.

Palavras-chave: Indústria Manufatureira. Impressão Tridimensional. Titânio. Implantação Dentária.

¹ Discente do curso de Odontologia do Centro Universitário Fametro – UNIFAMETRO

² Discente do curso de Odontologia do Centro Universitário Fametro – UNIFAMETRO

³ Docente do curso de Odontologia do Centro Universitário Fametro – UNIFAMETRO

ABSTRACT

Additive manufacturing has become increasingly relevant in the world of industry, due to the ability to produce objects from virtual 3D data projects. Additive manufacturing has grown its scope of action in the area of implantology, thus providing new ways of producing dental implants, namely: Selective Laser Fusion or Electron Beam Fusion. The objective is to identify in the literature the main benefits of customized implants produced by additive manufacturing for oral rehabilitation. This is an integrative literature review, where the bibliographic survey took place through virtual access to MEDLINE databases via PubMed, Web of Science and EMBASE. In addition, a manual bibliographic search of primary articles was used. A total of 266 publications were found, and twelve articles were chosen as the final sample to compose the review. It can be observed that the use of implants produced by additive manufacturing had beneficial effects for oral rehabilitation. As for the main positive factors, the authors highlight the possibility of producing more complex parts, having customized mechanical properties, with rough micro and nano scale surfaces. Based on the synthesis of scientific evidence presented in this literature, it is inferred that additive manufacturing is a new and effective alternative for the manufacture of customized implants. It was also found that the additive manufacturing of implants through the selective laser fusion technique is more favorable than the others, this fact comes from the production of more delicate parts and the high rough surface presented, which will directly imply in its treatment of surface, capable of accelerating the osseointegration processes.

Keywords: Manufacturing Industry. Three-dimensional Printing. Titanium. Dental Implantation.

¹ Discente do curso de Odontologia do Centro Universitário Fametro – UNIFAMETRO

¹ Discente do curso de Odontologia do Centro Universitário Fametro – UNIFAMETRO

¹ Docente do curso de Odontologia do Centro Universitário Fametro – UNIFAMETRO

1. INTRODUÇÃO

A reabilitação oral com implantes tem sido descrita como uma opção de tratamento previsível para o paciente, o que possibilita não somente a melhora estética, como também influencia diretamente na sua função mastigatória. Somando-se ainda, o edentulismo, seja ele parcial ou total, pode ser um fator potencial para desencadear e intensificar inúmeras comorbidades, nesse sentido, a implantodontia é uma importante ferramenta que visa contribuir para inibição dessas possíveis patologias, além de agregar positivamente nos aspectos psicossociais do indivíduo (CAMPOS; GONÇALVES; GARCIA, 2015).

Um dos grandes marcos da odontologia foi a descoberta de Brånemark, na década de 50, onde foi identificado que o titânio pode ser integrado ao osso, no qual pôde ser descrito o processo da osseointegração. Destarte, em 1969, a teoria de Brånemark trouxe um momento decisivo no campo clínico dos implantes, onde seu conceito de osseointegração progrediu rapidamente na década de 80, fato que revolucionou a ciência da reabilitação oral, perpetuando-se até os dias atuais (KAWAHARA; KAWAHARA, 2008).

O implante dentário é um dispositivo protético feito de material aloplástico, implantado nos tecidos orais abaixo da camada periosteal e dentro do osso, fornecendo retenção e suporte para uma prótese dentária fixa ou removível. Atualmente a maioria dos implantes dentários são feitos de titânio comercialmente puro ou ligas de titânio, como a Ti-6Al-4V, constituída por 90% titânio, 6% alumínio e 4% vanádio (THAKRAL *et al.*, 2014).

Os biomateriais utilizados nas reconstruções ósseas são capazes de promover o aumento de uma estrutura pré-existente, substituir estruturas perdidas, ou até mesmo induzirem a formação de um novo tecido (BURG; PORTER; KELLAM, 2000). O titânio é considerado um biomaterial metálico por possuir capacidade de alcançar a integração ao osso, isso decorrente da sua alta biocompatibilidade, alcançando assim o processo de osseointegração. Nessa circunstância, a inaudita afinidade tecido-osso do titânio ocorre especialmente devido às propriedades da camada superficial de óxido que se forma (STEINEMANN, 1998).

Segundo a literatura, a osseointegração está diretamente conectada a qualidade da superfície que o implante possui, onde uma superfície rugosa resulta em uma maior osseointegração. Os implantes dentários convencionais são desenvolvidos por meio de hastes do titânio puro, o que resulta em uma superfície lisa. Os processos para sua fabricação são por forjamento, usinagem e fresagem, porém tais métodos são bastante limitados para produção de peças mais complexas (YANG *et al.*, 2016).

Deste modo, devido a superfície lisa que o implante convencional possui, faz-se necessário um tratamento pós-processamento da superfície, com o objetivo de diminuir a lisura presente no implante, trazendo uma maior rugosidade à sua superfície e com isso, possibilitar uma melhor osseointegração. Dentre os tratamentos, tem-se o uso de jatos de areia, ataque ácido e anodização, deposição de hidroxiapatita, cristais de fosfato de cálcio ou revestimentos com outras moléculas biológicas (NOVAES *et al.*, 2010).

À vista disso, para solucionar as deficiências dos implantes convencionais relacionados às etapas de pós processamento, surgiram os implantes impressos em 3D, também denominados como implantes produzidos por manufatura aditiva, que estão tornando-se cada vez mais relevantes no mundo da indústria, por serem produzidos a partir de projetos virtuais de dados 3D, sem etapas intermediárias de produção, economizando tempo e dinheiro (TRAINI *et al.*, 2008). Com o advento da tecnologia de implantes impressos em 3D, somado aos seus benefícios associados às restaurações e próteses implanto-suportadas, espera-se que esse tipo de implante esteja cada vez mais presente na odontologia moderna (THAKRAL *et al.*, 2014).

As técnicas para fabricação deste tipo de implante promovem a produção do implante manufaturado por camadas finas e com superfície rugosa, dispensando etapas de pós-processamento (MANGANO *et al.*, 2014). Com isso, o implante impresso apresenta características essenciais para sua osseointegração, como a rugosidade, composição química da superfície do material e morfologia (CHEN *et al.*, 2014).

Por conseguinte, diante do exposto, o presente estudo tem como objetivo identificar na literatura os principais benefícios dos implantes personalizados produzidos por manufatura aditiva para reabilitação oral.

2. METODOLOGIA

O estudo trata-se de revisão integrativa da literatura, tal ferramenta metodológica possibilita compreender de forma abrangente a literatura existente, fornecendo uma análise acerca de uma determinada temática de estudo. A partir disso, pode ser empregada em diversos temas e/ou desenhos de estudo, contribuindo para a prática da Odontologia baseada em evidências científicas (WHITTEMORE; KNAFL, 2005).

Como forma de sistematizar a pesquisa, esta foi estruturada em seis etapas distintas, previamente estabelecidas: 1) identificação da temática do estudo e elaboração da pergunta norteadora; 2) busca bibliográfica e estabelecimento dos critérios para inclusão e exclusão; 3) seleção e caracterização das publicações a serem incluídas; 4) análise crítica e definição das informações a serem extraídas dos estudos ; 5) interpretação e discussão dos resultados; 6) apresentação da revisão/síntese do conhecimento (SOUZA; SILVA; CARVALHO, 2010).

Adotaram-se como critérios de inclusão: artigos primários, que abordassem acerca da utilização de implantes produzidos por manufatura aditiva na reabilitação oral, publicados sem delimitação de tempo e na língua inglesa, com texto na íntegra disponível eletronicamente na base de dados. Já os critérios de exclusão foram: artigos de revisão, editoriais, teses, dissertações, monografias, resenhas, resumos publicados em anais de eventos, artigos duplicados e que não possuíssem relação com a questão norteadora estabelecida para o estudo.

O levantamento bibliográfico ocorreu em fevereiro de 2022, mediante acesso virtual às bases de dados Medical Literature Analysis and Retrieval System Online (MEDLINE) via PubMed, Web of Science e Excerpta Medica dataBASE (EMBASE), tendo como pergunta norteadora: “quais os benefícios da utilização de implantes produzidos por manufatura aditiva na reabilitação oral?”. Além disso, também foi empregada busca manual bibliográfica de estudos primários. Para ampliar os resultados da pesquisa, todos os artigos científicos foram acessados por meio da Comunidade Acadêmica Federativa (CAFe), por meio do portal de periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Para as buscas, utilizou-se os descritores controlados no idioma inglês, indexados no Medical Subject Headings (MeSH) e palavras-chaves, associados aos operadores booleanos AND e OR, no qual foi adaptada conforme as características de cada base de dados, como apresentado no Quadro 1:

Quadro 1 – Descritores controlados e não controlados utilizados para busca.

BASE DE DADOS	ESTRATÉGIA DE BUSCA
MEDLINE/PubMed	(((Manufacturing) AND ("Printing, Three-Dimensional"[Mesh] OR (Printing, Three Dimensional) OR (Printings, Three-Dimensional) OR (Three-Dimensional Printings) OR (3-Dimensional Printing) OR (3 Dimensional Printing) OR (3-Dimensional Printings) OR (Printing, 3-Dimensional) OR (Printings, 3-Dimensional) OR (3-D Printing) OR (3 D Printing) OR (3-D Printings) OR (Printing, 3-D) OR (Printings, 3-D) OR (Three-Dimensional Printing) OR (Three Dimensional Printing) OR (3D Printing) OR (3D Printings) OR (Printing, 3D) OR (Printings, 3D))) AND (Titanium)) AND ("Dental Implants"[Mesh] OR (Implant, Dental) OR (Implants, Dental) OR (Dental Implant) OR (Dental Implants, Mini) OR (Dental Implant, Mini) OR (Mini Dental Implant) OR (Mini Dental Implants) OR (Dental Prostheses, Surgical) OR (Dental Prosthesis, Surgical) OR (Surgical Dental Prostheses) OR (Surgical Dental Prosthesis) OR (Prostheses, Surgical Dental) OR (Prosthesis, Surgical Dental)))

Fonte: Autores, 2022.

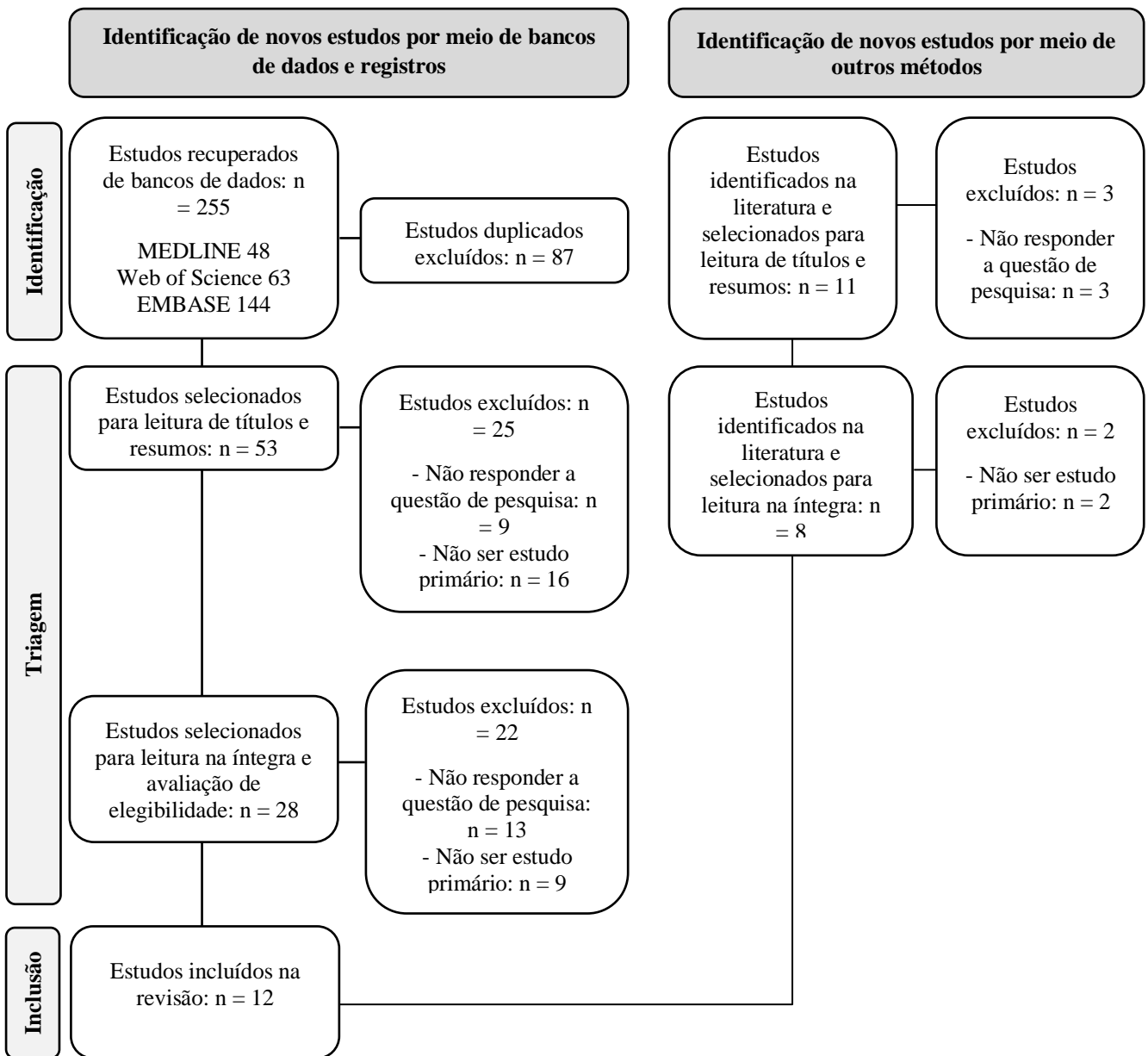
O processo de seleção e elegibilidade dos artigos foi seguido conforme instruções do Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) (PAGE *et al.*, 2021), realizado por dois pesquisadores independentes, que determinaram a sequência de uso dos descritores e referências cruzadas em cada base de dados e, em seguida, correlacionaram os resultados obtidos.

Ademais, para o estabelecido o nível de evidência científica, considerou-se: nível I - meta-análise e estudo controlado e randomizado; nível II - estudo experimental; nível III - estudo quase-experimental; nível IV - estudo descritivo, não experimental ou qualitativo; nível V - relato de caso ou experiência; nível VI - consensos e opiniões de especialistas (MELNYK; FINEOUT-OVERHOLT, 2005).

3. RESULTADOS

Após buscas bibliográficas, identificaram-se um total de 266 publicações, das quais, após aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, foram selecionados doze artigos para compor essa revisão. A figura 1 mostra a síntese dos dados alcançados em cada etapa metodológica, segundo PRISMA.

Figura 1 – Fluxograma da busca e seleção dos artigos encontrados nas bases de dados, de acordo com as recomendações PRISMA.



Fonte: Autores, 2022.

A amostra final dos artigos selecionados foi distribuída nas seguintes bases de dados: cinco (41,67%) na MEDLINE/PubMed, um (8,33%) na Web of Science, zero (0,00%) na EMBASE e seis (50,00%) por busca manual. No que tange o desenho dos estudos, seis

(50,00%) estudos *in vitro*, dois (16,67%) estudos *in vivo*, dois (16,67%) estudos *in vitro/in vivo*, um (8,33%) estudo prospectivo e um (8,33%) relato de caso, publicados entre 2011 a 2020, com maior concentração de estudos no ano de 2019 (22,22%). Quanto ao país de origem, destaca-se que a maioria foi produzida no Brasil com quatro publicações (33,33%), três publicações na China, duas (16,67%) na Itália, quanto às demais, Austrália, Alemanha e Índia, uma publicação cada, sendo todas produções no idioma inglês. Sobre o nível de evidência, foi prevalente o nível II, com dez (83,33%) estudos, seguido do nível V, com dois (16,67%) estudos.

O Quadro 2 apresenta as doze publicações selecionadas de acordo com o autor principal, ano de publicação, aspectos metodológicos, país de origem da publicação e nível de evidência científica apresentado.

Quadro 2 - Descrição das publicações encontradas nas bases de dados e busca manual.

AUTOR PRINCIPAL/ANO	TIPO DE ESTUDO	PAÍS DE ORIGEM	NÍVEL DE EVIDÊNCIA
Ren, 2021	Estudo <i>in vivo / in vitro</i>	China	II
Barbin, 2020	Estudo <i>in vitro</i>	Brasil	II
Wang, 2019	Estudo <i>in vivo</i>	China	II
Qin, 2018	Estudo <i>in vitro</i>	Austrália	II
Barui, 2017	Estudo <i>in vitro</i>	Índia	II
Chen, 2014	Estudo <i>in vitro</i>	China	II
Gellderich, 2017	Estudo <i>in vitro</i>	Alemanha	II
Mangano, 2017	Estudo <i>in vitro</i>	Itália	II
Tunchel, 2016	Estudo prospectivo	Brasil	V
Guastaldi, 2013	Estudo <i>in vivo</i>	Brasil	II
Figliuzzi, 2012	Relato de caso clínico	Itália	V
Elias, 2008	Estudo <i>in vivo / in vitro</i>	Brasil	II

Fonte: Autores, 2022.

O Quadro 3 mostra as publicações sobre implantes impressos por manufatura aditiva, no que diz respeito ao objetivo principal do estudo e seus desfechos.

Quadro 3 - Síntese dos artigos e seus principais achados.

AUTOR PRINCIPAL/ANO	OBJETIVO	RESULTADOS/CONCLUSÕES DOS ESTUDOS
Ren, 2021	Melhorar a bioatividade e a osteogênese de implantes de Ti-6Al-4V impressos em 3D através da construção de uma micro/nanotopografia hierárquica na superfície.	A micro/nanotopografia hierárquica gerada na superfície nativa da FFE mostrou uma melhora da bioatividade e propriedades osteogênicas, o que se espera acelerar a aplicação de implantes ortopédicos e dentários impressos em 3D em clínicas.
Barbin, 2020	Avaliar a influência das tecnologias de fabricação (fresagem, FSL e FFE) em próteses implantossuportadas de arco completo Ti-6Al-4V CAD / CAM, em termos de desajuste marginal, estabilidade do parafuso, análises de tensão e tensão.	As estruturas fabricadas por tecnologias aditivas apresentaram valores aceitáveis de torque de desaperto do parafuso, deformação e tensão. Portanto, tais tecnologias de impressão 3D parecem ser viáveis para a fabricação de estruturas suportadas por implantes de arco completo.
Wang, 2019	Comparar o desempenho biológico entre implantes porosos de tântalo e titânio também foi realizada no reparo de pequenos defeitos ósseos de coelhos.	O tântalo (Ta) poroso tem um desempenho biológico equivalente aos implantes tradicionais de titânio poroso no reparo de pequenos defeitos ósseos. Em conjunto, o Ta poroso é um material promissor para a regeneração óssea.
Qin, 2018	Demonstrar um modelo único de implantes de titânio baseado na tecnologia de impressão 3D com propriedades de osseointegração melhoradas.	A tecnologia de impressão 3D combinada com nanoestruturação eletroquímica e modificação de HA é uma abordagem promissora para a fabricação de implantes de Ti com melhor osseointegração e oferece alternativas potenciais aos implantes dentários convencionais.
Barui, 2017	Otimizar os parâmetros de processamento da impressão em pó 3D para fabricar os implantes porosos tridimensionais de Ti-6Al-4V usando deposição direta de ligante em leito de pó metálico.	A metodologia de processamento baseada em impressão direta em pó 3D para andaimes baseados em Ti-6Al-4V é estabelecida e os parâmetros de impressão foram otimizados juntamente com a receita do aglutinante.
Chen, 2014	Avaliar o desempenho mecânico e biomecânico de um novo implante dentário personalizado fabricado pela técnica de fusão seletiva a laser com simulação e estudos experimentais in vitro.	A fusão seletiva a laser provou ser um meio eficiente de imprimir implantes personalizados totalmente densos com alta resistência e precisão dimensional suficiente.
Gellderich, 2017	Projetar um novo implante que permite a ancoragem endóssea multivetorial ao redor do osso subjacente individual, que deve ser escaneado por tomografia computadorizada (TC) para permitir o planejamento da implantar.	A reabilitação dentária em pacientes com atrofia severa pode ser uma estratégia potencial para superar os problemas conhecidos da implantodontia convencional.
Mangano, 2017	Avaliar a interface entre o osso e os implantes SDLM recuperados após 5 anos de carga funcional.	O osso lamelar compacto e maduro foi encontrado na maioria dos implantes SDLM

		em contato próximo com a superfície do implante.
Tunchel, 2016	Avaliar a sobrevivência e as taxas de sucesso de implantes dentários 3D por MA de titânio simples colocados em ambas as mandíbulas.	Os implantes dentais de titânio 3D por MA parecem representar uma opção clínica de sucesso para a reabilitação de lacunas unipodentais em ambas as mandíbulas, pelo menos até o período de 3 anos.
Guastaldi, 2013	Investigar se o efeito biológico de uma superfície de implante dentário tratada com plasma não térmico à base de argônio armazenada por 30 dias antes da colocação ainda é eficaz em termos de carga de superfície em comparação com sua contraparte não tratada.	Demonstraram que a química elementar da superfície foi modificada pelo plasma e durou 30 dias após o tratamento, resultando em melhor fixação biomecânica e formação óssea logo após a implantação em comparação com o grupo controle.
Figliuzzi, 2012	Demonstrar o uso clínico bem-sucedido de um implante de fusão seletiva a laser, análogo de raiz feito sob medida.	No exame de acompanhamento de 1 ano, o implante feito sob medida mostrou integração funcional e estética eficientes.
Elias, 2008	Investigar as propriedades biológicas de implantes dentários através de testes in vivo e in vitro.	Verificou-se que o ataque ácido homogeneizou os parâmetros de rugosidade da superfície e a superfície anodizada apresentou o menor ângulo de contato. Além disso, o tratamento de superfície teve efeito benéfico na biocompatibilidade do implante medida através do torque de remoção e o implante dentário anodizado apresentou o maior torque de remoção.

Fonte: Autores, 2022.

4. DISCUSSÃO

Em suma, a partir dos resultados obtidos na literatura, pode-se observar que a utilização de implantes produzidos por manufatura aditiva (MA) apresentou efeitos benéficos para reabilitação oral, no qual, com o correto planejamento e tratamento do implante, pode promover sucesso clínico a longo prazo (MANGANO *et al.*, 2017). Quanto aos principais fatores positivos dos implantes por manufatura aditiva, os autores destacam a possibilidade de produção de peças mais complexas, possuindo propriedades mecânicas personalizadas com superfície rugosa (CHEN *et al.*, 2014; REN *et al.*, 2021; BARUI *et al.*, 2017).

Ademais, apesar dos estudos divergirem quanto a metodologia aplicada, o protocolo clínico estabelecido e o tipo de manufatura aditiva usada para confecção do implante, os autores corroboram sobre a ideia de que, a manufatura aditiva tem crescido seu escopo de atuação na área da implantodontia, proporcionando novas formas de fabricação dos implantes que se sobressaem aos convencionais, sendo elas: fusão de feixe de elétrons e solidificação direta a laser de metal, também denominada por fusão seletiva a laser (QIN *et al.*, 2018; TUNCHEL *et al.*, 2016; ELIAS *et al.*, 2008).

Barui *et al.* (2017) explanam que a Fusão de Feixe de Elétrons (FFE) é destinada aos materiais metálicos, onde, para a fabricação dos implantes dentários é utilizado um feixe de elétrons de alta energia, que atinge uma fina camada de pó metálico de titânio, ocasionando o derretimento do metal camada por camada e posteriormente, obtêm-se o resultado desejado, mas para isso a impressora precisa criar um ambiente de quase vácuo para sua execução. Koike *et al.* (2022) postulam que os feixes de elétrons podem ser finamente focados para atingir a precisão dimensional necessária e possuir energia suficiente que derreterão completamente metais com altos pontos de fusão, como o titânio. A manufatura aditiva por FFE tem como desvantagens o alto custo da impressora e uma produção lenta dos implantes dentários.

Já a Solidificação Direta a Laser de Metal (SDLM) ou Fusão Seletiva a Laser (FSL) é uma técnica de fabricação aditiva que permite a criação de implantes dentários a partir do pó da liga de titânio (Ti-6Al-4V), fundidos por um poderoso feixe de laser, sendo construídas camada por camada, utilizando-se de um software de desenho assistido por computador (CAD). Os autores ainda reiteram que esse método permite a produção de implantes personalizados com geometrias complexas e precisas, sem necessidade de suporte, além de resultarem em uma escala micro e nano rugosas que são capazes de estimular a osseointegração (MANGANO *et*

al., 2017; HYZY *et al.*, 2016; GELLRICH *et al.*, 2017; BARUI *et al.*, 2017; WANG *et al.*, 2019).

O estudo multicêntrico prospectivo de Tunchel *et al.* (2016) aborda sobre a técnica de SDLM/FSL e descrevem que esta não requer processo de pós-fabricação, como o tratamento de superfície, como também, não necessitam de descontaminação, pois como não são usinados, não são empregados óleos contaminantes. No entanto, o estudo de Biemond *et al.* (2013) diverge no que se refere ao tratamento pós-processamento, os autores enfatizam que se faz necessário tratamentos térmicos adicionais nos corpos de prova produzidos para remover o estresse residual.

O estudo *in vitro* de Chen *et al.* (2014), demonstrou que a tecnologia de impressão 3D de SDLM/FSL foi bastante eficiente em reproduzir os designs de implantes personalizados, sendo essa uma técnica precisa para a fabricação de peças mais delicadas e de superfície rugosa, capazes de estimular a osseointegração. Tal achado corrobora com o estudo de Shaoki *et al.* (2016), que avaliou *in vitro* as propriedades e a biocompatibilidade do implante de titânio por SDLM/FSL, seus resultados evidenciaram que a superfície microtopográfica porosa e rugosa do implante demonstrou alta proliferação de osteoblastos.

Figliuzzi, Mangano e Mangano (2012), também comprovou a eficácia da SDLM/FSL por meio de um relato de caso clínico com acompanhamento de um ano, onde foi instalado um implante de MA de forma imediata à exodontia. Assim, foi possível constatar que a técnica abordada culminou em uma superfície porosa, capaz de acelerar os processos de cicatrização e promover a osseointegração. Portanto, quando aliado à técnica de SDLM/FSL, a fabricação de implantes dentários sob medida, abre novas perspectivas para reabilitação oral de forma imediata.

O estudo de Wang *et al.* (2019) relata os benefícios quanto às técnicas de SDLM/FSL e FFE. Os autores ressaltam que ambas as técnicas apresentam alta rugosidade de superfície, porém, a SDLM/FSL se sobressaiu quanto a esta característica, este fato decorre, principalmente devido ao grau de porosidade projetada no implante, promovendo a fixação e proliferação celular, além de neovascularização. Barbin *et al.* (2020) corroboram sobre as propriedades da SDLM/FSL, ressaltando também a ausência de rebarbas, menor desperdício do material e a possibilidade de fabricação simultânea de estruturas.

Outrossim, um fenômeno importante e que está intimamente ligado a interface entre osso e implante, é a energia superficial (ES), que carregada positivamente, torna a superfície

18 hidrofílica, resultando na adsorção de algumas das proteínas plasmáticas essenciais para as interações osteogênicas iniciais (GUASTALDI, 2013; QIN *et al.*, 2018). Todavia, quando os metais do implante são expostos ao ar, a sua (ES) irá decair devido às reações químicas resultantes da presença de carbono. Baseando-se nestes princípios, algumas indústrias vêm alcançando bons resultados no processo da osseointegração ao minimizar essa contaminação, fabricando os implantes de MA em atmosferas controladas, como por exemplo, a atmosfera de argônio (TUNCHEL *et al.*, 2016).

Segundo Barbin *et al.* (2020), a tecnologia da MA por SDLM/FSL oferecem diversas vantagens quando comparadas com os processos convencionais, que incluem: fabricação de forma livre, um menor desperdício de material, design leve e eliminação de algumas etapas de produção. Somando-se ainda, possui capacidade de controlar a porosidade de cada camada do implante e consequentemente toda sua estrutura porosa, simplesmente modificando alguns parâmetros de processamento (como potência e diâmetro do feixe de laser focado, espessura da camada e distância entre eles, o tamanho dos pó de titânio originais e atmosfera de processamento) (TUNCHEL *et al.*, 2016).

Contudo, apesar dos inúmeros benefícios apresentados pela manufatura aditiva, constata-se que tal tecnologia possui algumas desvantagens, como elevado preço para fabricação dos modelos tridimensionais e compra das impressoras utilizadas, especificidade dos materiais utilizados, além de exigir conhecimento de profissional capacitado para sua execução, sendo estes, fatores que restringem o público consumidor (WANG *et al.*, 2019; BARBIN *et al.*, 2020).

Os achados da presente revisão apresentam contribuições científicas importantes para a área da saúde e Odontologia, evidenciando o papel da modernização tecnológica aliada a reabilitação oral protética, além de seus principais benefícios para osseointegração e previsibilidade no tratamento. Como também, ressalta-se que tal pesquisa apontou lacunas científicas significativas no que tange a Implantodontia, despertando em cirurgiões-dentistas e acadêmicos o interesse em realizar mais estudos e levantar questionamentos sobre a utilização de implantes produzidos por MA para a reabilitação oral, que serão respondidos futuramente por outros métodos de pesquisa científica.

Constitui-se como limitação desta revisão a escassez de estudos que respondessem à pergunta norteadora empregada, onde, apesar de ter sido realizada uma busca ampla e de alta sensibilidade nas principais bases de dados da saúde, outros estudos elegíveis podem não ter

sido incluídos, por não estarem indexados nas bases selecionadas para a pesquisa. Além disso, a utilização de descritores apenas no idioma inglês restringiu a busca para artigos somente no referido idioma, fato que culminou na ausência de publicações em outras línguas, contudo é importante destacar que o inglês se trata do idioma padrão no meio científico.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Alicerçado na síntese de evidências científicas apresentadas nesta revisão integrativa da literatura, infere-se que a manufatura aditiva é uma nova e eficaz alternativa para a fabricação de implantes personalizados, na qual, embora apresente desvantagens, seus benefícios clínicos são elementos essenciais para a reabilitação oral de qualidade.

Constatou-se ainda que a fabricação aditiva de implantes por meio da técnica de fusão seletiva a laser, é mais favorável do que as demais, este fato advém da produção de peças mais delicadas e da alta superfície rugosa, o que implicará diretamente em sua ES, capazes de acelerar os processos de cicatrização e proporcionar estímulos diretos e mais eficientes para osseointegração.

Destarte, evidencia-se a demanda mais estudos para avaliar a previsibilidade, reprodutibilidade e resultado clínico de todas as técnicas de manufatura aditiva, visando melhorar o método de fabricação de implantes dentários personalizados e padronizar a metodologia utilizada para sua produção.

APÊNDICE

TABELA DE SIGLAS

3D	Três Dimensões
Ti-6Al-4V	Liga de Titânio 6% de Alumínio e 4% de Vanádio
FFE	Fusão de Feixe de Elétrons
FSL	Fusão Seletiva a Laser
SDLM	Solidificação Direta a Laser de Metal (sinônimo de FSL)
CAD	Desenho Assistido por Computador
CAM	Manufatura Assistida por Computador
Ta	Tântalo
Ti	Titânio
HA	Hidroxiapatita
TC	Tomografia Computadorizada
MA	Manufatura Aditiva
ES	Energia Superficial

Fonte: Autores, 2022.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBIN, T. *et al.* 3D metal printing in dentistry: An in vitro biomechanical comparative study of two additive manufacturing technologies for full-arch implant-supported prostheses. **Journal of the mechanical behavior of biomedical materials**, v. 108, p. 103821, 2020.
- BARUI, S. *et al.* Microstructure and compression properties of 3D powder printed Ti-6Al-4V scaffolds with designed porosity: Experimental and computational analysis. **Materials Science and Engineering: C**, v. 70, p. 812-823, 2017.
- BIEMOND, J. E. *et al.* Bone ingrowth potential of electron beam and selective laser melting produced trabecular-like implant surfaces with and without a biomimetic coating. **Journal of Materials Science: Materials in Medicine**, v. 24, n. 3, p. 745-753, 2013.
- BURG, K. J. L; PORTER, S; KELLAM, J. F. Biomaterial developments for bone tissue engineering. **Biomaterials**, v. 21, n. 23, p. 2347-2359, 2000.
- CAMPOS, C. H; GONÇALVES, T. M. S. V; GARCIA, R. C. M. R. Implant-supported removable partial denture improves the quality of life of patients with extreme tooth loss. **Brazilian dental journal**, v. 26, p. 463-467, 2015.
- CHEN, J. *et al.* Design and manufacture of customized dental implants by using reverse engineering and selective laser melting technology. *The Journal of prosthetic dentistry*, v. 112, n. 5, p. 1088-1095. e1, 2014.
- ELIAS, C. N. *et al.* Relationship between surface properties (roughness, wettability and morphology) of titanium and dental implant removal torque. **Journal of the mechanical behavior of biomedical materials**, v. 1, n. 3, p. 234-242, 2008.
- FIGLIUZZI, M.; MANGANO, F.; MANGANO, C. A novel root analogue dental implant using CT scan and CAD/CAM: selective laser melting technology. **International journal of oral and maxillofacial surgery**, v. 41, n. 7, p. 858-862, 2012.
- GELLRICH, N. *et al.* A new concept for implant-borne dental rehabilitation; how to overcome the biological weak-spot of conventional dental implants?. **Head & Face Medicine**, v. 13, n. 1, p. 1-5, 2017.
- GUASTALDI, Fernando PS *et al.* Plasma treatment maintains surface energy of the implant surface and enhances osseointegration. **International journal of biomaterials**, v. 2013, 2013.
- HYZY, S. L. *et al.* Novel hydrophilic nanostructured microtexture on direct metal laser sintered Ti-6Al-4V surfaces enhances osteoblast response in vitro and osseointegration in a rabbit model. **Journal of biomedical materials research Part A**, v. 104, n. 8, p. 2086-2098, 2016.
- KAWAHARA, H; KAWAHARA, D. The history and concept of implant. Chapter 1 Dental Implants. **The Institute of Clinical Materials**, 1-17, 2008.
- KOIKE, M. *et al.* Biofilm accumulation on additive manufactured Ti-6Al-4V alloy surfaces. **Journal of Oral Science**, v. 64, n. 2, p. 139-144, 2022.
- MANGANO, F. *et al.* Direct metal laser sintering titanium dental implants: a review of the current literature. **International journal of biomaterials**, v. 2014, 2014.

- MANGANO, F. *et al.* Histological evidence of the osseointegration of fractured direct metal laser sintering implants retrieved after 5 years of function. **BioMed Research International**, v. 2017, 2017.
- MELNYK, B. M; FINEOUT-OVERHOLT, E. (Ed.). **Evidence-based practice in nursing & healthcare: A guide to best practice**. Lippincott Williams & Wilkins, 2011.
- NOVAES, A. B. *et al.* Influence of implant surfaces on osseointegration. **Brazilian dental journal**, v. 21, n. 6, p. 471-481, 2010.
- PAGE, M. J. *et al.* The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. **Bmj**, v. 372, 2021.
- QIN, J. *et al.* Micro- and nano-structured 3D printed titanium implants with a hydroxyapatite coating for improved osseointegration. **Journal of Materials Chemistry B**, v. 6, n. 19, p. 3136-3144, 2018.
- REN, B. *et al.* Improved osseointegration of 3D printed Ti-6Al-4V implant with a hierarchical micro/nano surface topography: An in vitro and in vivo study. **Materials Science and Engineering: C**, v. 118, p. 111505, 2021.
- SHAOKI, A. *et al.* Osseointegration of three-dimensional designed titanium implants manufactured by selective laser melting. **Biofabrication**, v. 8, n. 4, p. 045014, 2016.
- SOUZA, M. T; SILVA, M. D; CARVALHO, R. Revisão integrativa: o que é e como fazer. **Einstein (São Paulo)**, v. 8, p. 102-106, 2010.
- STEINEMANN, Samuel G. Titanium—the material of choice?. **Periodontology 2000**, v. 17, n. 1, p. 7-21, 1998.
- THAKRAL, G. *et al.* Nanosurface – the future of implants. **J Clin Diagn Res**; 8(5):ZE07-10, 2014.
- TRAINI, T. *et al.* Direct laser metal sintering as a new approach to fabrication of an isoelastic functionally graded material for manufacture of porous titanium dental implants. **Dental materials**, v. 24, n. 11, p. 1525-1533, 2008.
- TUNCHEL, S. *et al.* 3D printing/additive manufacturing single titanium dental implants: a prospective multicenter study with 3 years of follow-up. **International journal of dentistry**, v. 2016, 2016.
- WANG, H. *et al.* Comparison of 3D-printed porous tantalum and titanium scaffolds on osteointegration and osteogenesis. **Materials Science and Engineering: C**, v. 104, p. 109908, 2019.
- WHITTEMORE, R; KNAFL, K. The integrative review: updated methodology. **Journal of advanced nursing**, v. 52, n. 5, p. 546-553, 2005.
- YANG, J. *et al.* Formation and control of martensite in Ti-6Al-4V alloy produced by selective laser melting. **Materials & Design**, v. 108, p. 308-318, 2016.