



**FACULDADES
DOM BOSCO**

**THALES FRANCISCO ALVES BOTELHO
GUILHERME MENANDRO VILELLA DINIZ
ISRAEL MOREIRA DOS SANTOS**

**REABILITAÇÃO ANIMAL COM MANUFATURA ADITIVA: O FUTURO DAS
PRÓTESES PERSONALIZADAS PARA CÃES.**

**RESENDE - RJ
2025**

**ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL DOM BOSCO
FACULDADE DE ENGENHARIA DE RESENDE**

**Thales Francisco Alves Botelho
Guilherme Menandro Vilella Diniz
Israel Moreira dos Santos**

**REABILITAÇÃO ANIMAL COM MANUFATURA ADITIVA: O FUTURO DAS
PRÓTESES PERSONALIZADAS PARA CÃES.**

Trabalho de Graduação apresentado à
Associação Educacional Dom Bosco,
Faculdade de Engenharia de Resende,
Curso de Engenharia Mecânica, como
requisito parcial para obtenção do diploma
de Bacharel em Engenharia Mecânica

**Resende - RJ
2025**

Catálogo na fonte
Biblioteca Central da Associação Educacional Dom Bosco – Resende-RJ

B748	<p>Botelho, Thales Francisco Alves</p> <p>Reabilitação animal com manufatura aditiva: o futuro das próteses personalizadas para cães / Thales Francisco Alves Botelho; Guilherme Menandro Vilella Diniz; Israel Moreira dos Santos - 2025. 69 f.</p> <p>Orientador: Dayana Elizabeth Werderits Silva</p> <p>Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial à finalização do curso de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia de Resende da Associação Educacional Dom Bosco.</p> <p>1. Engenharia mecânica. 2. Biomecânica. 3. Manufatura aditiva. 4. Impressão 3D. I. Diniz, Guilherme Menandro Vilella. II. Santos, Israel Moreira dos. III. Silva, Dayana Elizabeth Werderits. IV. Faculdade de Engenharia de Resende. V. Associação Educacional Dom Bosco. VI. Título.</p> <p>CDU 531.76(043)</p>
------	---

**THALES FRANCISCO ALVES BOTELHO
GUILHERME MENANDRO VILELLA DINIZ
ISRAEL MOREIRA DOS SANTOS**

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
“GRADUADO EM ENGENHARIA MECÂNICA”

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA

BANCA EXAMINADORA:

Prof. (a).: Dayana Elizabeth Werderits Silva
Orientadora

Prof. (a).: José Salvador da Motta Reis
Membro da Banca

Prof. (a).: Nilson Rodrigues da Silva
Membro da Banca

NOVEMBRO - 2025

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus, por nos conceder sabedoria, força e perseverança ao longa de toda essa jornada acadêmica.

Às nossas famílias, pelo amor incondicional, apoio e incentivo constantes, que nos motivaram a seguir em frente mesmo diante dos desafios.

À nossa orientadora, pela dedicação, paciência e valiosas orientações, que foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos colegas e amigos, pela parceria, companheirismo e pelos momentos compartilhados durante o curso.

Por fim, a todos que, de alguma forma, contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho, deixamos nossa sincera gratidão.

RESUMO

O estudo avaliou a utilização da manufatura aditiva como um recurso auxiliar na reabilitação de cães amputados ou com deformidades, considerando seu impacto tecnológico e científico no campo da medicina veterinária moderna. A pesquisa foi conduzida por meio de uma bibliometria, que organizou estudos sobre a aplicação da impressão 3D no desenvolvimento de próteses personalizadas e na elaboração de soluções assistivas individualizadas às necessidades anatômicas de cada animal. Os objetivos englobam a identificação das principais categorias, processos, e materiais utilizados nas fabricações, assim como as taxas de adaptação, as perspectivas e desafios entre engenharia, design, medicina veterinária relacionadas ao avanço da MA na reabilitação animal. Os resultados indicaram que a manufatura aditiva facilita a fabricação de dispositivos personalizados, oferecendo maior adaptabilidade, bem-estar e acessibilidade em relação aos métodos de produção convencionais. Foram identificados ainda, dentre os 80 artigos encontrados por meio da bibliometria utilizando as bases de dados Scopus, Scielo e Redalyc, a quantidade de publicações por ano, percentual de estudos com materiais mais utilizados, distribuição de registros por tipo de intervenção, frequência e percentual de fontes bibliográficas analisadas por país, principais limitações e implicações clínicas e processos, materiais utilizados e suas aplicações principais. Além disso, o conjunto de estudos discutidos apontou que a manufatura aditiva possibilita uma integração mais consolidada entre engenharia mecânica, design biomédico e medicina veterinária, o que pode provocar avanços na precisão dos modelos e na eficiência dos tratamentos. Adicionalmente, observou-se que, apesar dos desafios constantes relacionados à fragilidade dos materiais, durabilidade das peças e processo de adaptação dos animais, a impressão 3D se destaca como uma solução benéfica para o progresso na reabilitação animal. Portanto, a tecnologia colabora para aperfeiçoar a mobilidade, autonomia e qualidade de vida dos cães que requerem próteses personalizadas, consolidando seu papel como um recurso inovador e em expansão na área clínica-veterinária.

PALAVRAS-CHAVE: Impressão 3D. Biomecânica. Tecnologia Assistiva. Modelagem CAD.

ABSTRACT

The study evaluated the use of additive manufacturing as an auxiliary resource in the rehabilitation of amputee or deformed dogs, considering its technological and scientific impact in the field of modern veterinary medicine. The research was conducted through a bibliometric analysis, which organized studies on the application of 3D printing in the development of custom prosthetics and in the creation of assistive solutions tailored to the anatomical needs of each animal. The objectives include identifying the main categories, processes, and materials used in manufacturing, as well as adaptation rates, perspectives, and challenges across engineering, design, and veterinary medicine related to the advancement of additive manufacturing in animal rehabilitation. The results indicated that additive manufacturing facilitates the production of customized devices, offering greater adaptability, well-being, and accessibility compared to conventional production methods. Among the 80 articles identified through bibliometrics using the Scopus, Scielo, and Redalyc databases, the number of publications per year, the percentage of studies using the most common materials, the distribution of records by type of intervention, the frequency and percentage of bibliographic sources analyzed by country, the main limitations and clinical and procedural implications, the materials used, and their main applications were also identified. In addition, the set of studies discussed indicated that additive manufacturing enables a more consolidated integration between mechanical engineering, biomedical design, and veterinary medicine, which can lead to advances in model accuracy and treatment efficiency. Furthermore, it was observed that despite ongoing challenges related to material fragility, the durability of parts, and the adaptation process for animals, 3D printing stands out as a beneficial solution for progress in animal rehabilitation. Therefore, technology helps to improve the mobility, autonomy, and quality of life of dogs that require custom prosthetics, consolidating its role as an innovative and expanding resource in the veterinary clinical field.

KEYWORDS: 3D printing. Biomechanics. Assistive Technology. CAD Modeling.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Distribuição da subfamília Canienae.....	11
Figura 2 - Fluxograma de processo de tratamento e reabilitação.	16
Figura 3 - Etapas do processo e do planejamento de processos da MA.	22
Figura 4 - Categorias da MA de acordo com a ASTM 52900.	23
Figura 5 - Diferenças básicas entre etapas dos processos SL por projeção de imagens e CLIP.	24
Figura 6 - Princípio de funcionamento da tecnologia PolyJet.....	25
Figura 7 - Princípio da tecnologia CJP da 3D Systems.....	26
Figura 8 - Sistema típico de fusão de leito de pó não metálico.	27
Figura 9 - Diagrama esquemático do processo de fusão de leito de pó metálico.	28
Figura 10 - Princípio do processo LENS da Optomec.....	29
Figura 11 - Princípio do processo FDM.....	30
Figura 12 - Quantidade de publicações por ano.....	38
Figura 13 - Percentual de estudos com os materiais utilizados.....	39
Figura 14 - Frequência percentual de fontes bibliográficas analisadas por país.	46

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Condição e recuperação.	18
Quadro 2 - Técnicas fisioterapêuticas e seus benefícios.	19
Quadro 3 - Classificação da pesquisa.	34
Quadro 4 - Síntese bibliométrica dos 80 estudos selecionados.	36
Quadro 5 - Materiais utilizados na MA veterinária e suas características.	41
Quadro 6 - Distribuição dos registros por tipo de intervenção (80 casos analisados).	42
Quadro 7 - Fontes bibliográficas com maior presença.	45
Quadro 8 - Tipo de intervenção utilizando a MA por ano.	47
Quadro 9 - Principais limitações e implicações clínicas.	48
Quadro 10 - Materiais utilizados e suas aplicações principais.	49
Quadro 11 -Benefícios e limitações das principais categorias de MA aplicadas na reabilitação veterinária, encontradas nas 80 fontes analisadas.	50

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO	11
1.2. PROBLEMA DE PESQUISA	13
1.3. DELIMITAÇÃO DO TEMA	13
1.4. OBJETIVO DE PESQUISA	14
1.4.1. <i>Geral</i>	<i>14</i>
1.4.2. <i>Específicos</i>	<i>14</i>
1.5. JUSTIFICATIVA	14
2. REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1. REABILITAÇÃO ANIMAL: CONCEITOS E IMPORTÂNCIA	16
2.2. OBJETIVOS PRINCIPAIS DA REABILITAÇÃO ANIMAL	17
2.3. INDICAÇÕES CLÍNICAS	17
2.4. PRINCIPAIS TÉCNICAS UTILIZADAS	18
2.5. BENEFÍCIOS COMPROVADOS	19
2.6. PRÓTESE VETERINÁRIA: EVOLUÇÃO, DESAFIOS E APLICAÇÕES ...	20
2.7. MA: CONCEITOS, TECNOLOGIAS E MATERIAIS	21
2.7.1. Princípios da MA	21
2.7.2. Categorias da MA	22
2.7.3. Aplicações da MA na medicina veterinária	30
2.7.4. Materiais mais utilizados em próteses animais.....	32
2.8. APLICAÇÕES DA IMPRESSÃO 3D NA MEDICINA VETERINÁRIA	32
3. METODOLOGIA	34
4. RESULTADOS	37
4.1. FONTE DOS DADOS	37
4.2. VISÃO GERAL NUMÉRICA	37
4.3. MATERIAIS MAIS UTILIZADOS E FREQUÊNCIA PERCENTUAL	38
4.4. CATEGORIZAÇÃO POR TIPO DE INTERVENÇÃO OU APLICAÇÃO	41
4.5. FONTES CITADAS COM MAIOR PRESENÇA	43
4.6. TENDÊNCIAS TEMPORAIS (2015–2025)	46
4.7. LIMITAÇÕES RECORRENTES RELATADAS	47
4.8. DISTRIBUIÇÃO DE CATEGORIA DA MA ENCONTRADOS	49
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	52
REFERÊNCIAS	54
APÊNDICE A - BIBLIOMETRIA	60
APÊNDICE B – QUANTIDADE DE PUBLICAÇÕES POR ANO	67
APÊNDICE C - PERCENTUAL DE ESTUDOS COM MATERIAIS UTILIZADOS ...	68
APÊNDICE D - FREQUÊNCIA PERCENTUAL DE FONTES BIBLIOGRÁFICAS ANALISADAS POR PAIS	69

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

MA	Manufatura Aditiva
3D	Três Dimensões
SLA	<i>Stereolithography Apparatus</i>
ABS	<i>Acrylonitrile Butadiene Styrene</i>
PETG	<i>Polyethylene Terephthalate Glycol</i>
PEEK	<i>Polyether Ether Ketone</i>
PMMA	Polimetilmetacrilato
SLM	<i>Selective Laser Melting</i>
DMLS	<i>Direct Metal Laser Sintering</i>
FFF	<i>Fused Filament Fabrication</i>
FDM	<i>Fused Deposition Modeling</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CAM	<i>Computer Aided Manufacturing</i>
STL	<i>Standard Triangle Language</i>
DLP	<i>Digital Light Processing</i>
CLIP	<i>Continuous Liquid Interface Production</i>
UV	<i>Ultraviolet</i>
DNA	Ácido Desoxirribonucleico
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
CJT	<i>ColorJet Printing</i>
PA12	Poliamida 12
SLS	<i>Selective Laser Sintering</i>
PLA	<i>Polylactic Acid</i>
TA	Tecnologia Assistiva
TC	Tecnologia Computadorizada

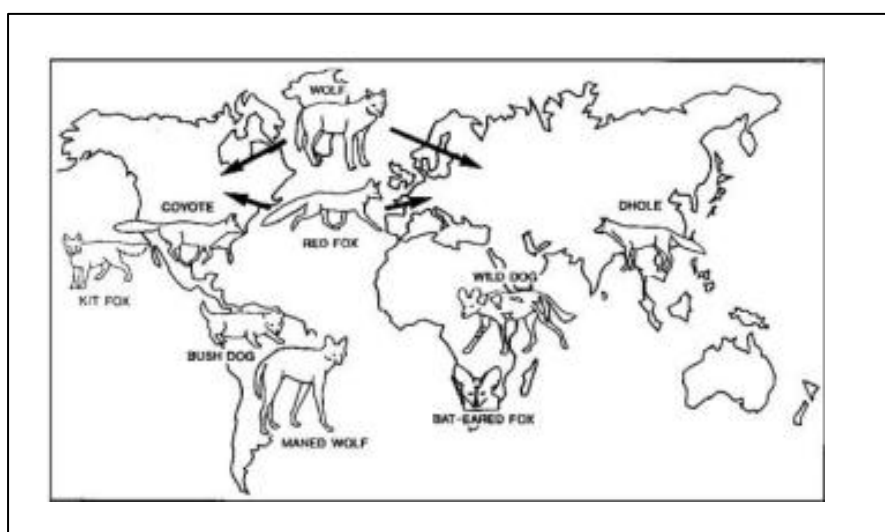
1. INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

A medicina veterinária tem passado por transformações significativas nos últimos tempos, paralelamente a crescente valorização dos animais de estimação como membros integrantes das famílias, que procuram um 'pet' para ter uma companhia, dar e receber afeto e atenção. Nos lares brasileiros, de acordo com pesquisas realizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2018), os favoritos são os cães chegando a um número de 54,2 milhões e tornando o Brasil o segundo país no mundo com a maior população canina.

A relação entre os humanos e esses seres teve início, de acordo com registros, há cerca de 25 milhões de anos com o desenvolvimento de uma subfamília Caninae, a qual engloba todos os canídeos vivos até hoje. A figura 1 reflete a distribuição da subfamília *Caninae* (Porto; Etienne; Maestri, 2023).

Figura 1 – Distribuição da subfamília Caninae.



Fonte: Vilà et al., (1997).

Por meio da percepção de semelhanças morfológicas e fisiológicas, os cães domésticos dos dias de hoje e os lobos sempre foram rotulados, científica e empiricamente, como parentes. Por meio da análise do Ácido Desoxirribonucleico (DNA) notou-se uma pequena taxa de 0,2% de diferenciação entre essas espécies, o que originou uma teoria profundamente aceita de que os lobos cinzentos deram origem a essa subespécie com sequências de acasalamentos, por meio da ação do

homem, que selecionou, treinou e domesticou esses animais que dividiam suas terras e presas (Serpell, 2016).

Embora estudos ainda não definam com clareza o exato momento da história em que o cão abdicou seu instinto selvagem e tornou-se o animal doméstico tão amado e conhecido hoje, essa interação homem-animal é considerada benéfica, seja para o corpo ou para a alma do indivíduo, reduzindo o estresse, incentivando a prática de exercícios ou simplesmente fazendo companhia, esses animais têm um papel fundamental em nosso bem-estar (Beetz et al., 2012).

Com a importância crescente dos cães, que hoje desfrutam de diversos tipos de conforto, a medicina voltada aos seres humanos também passou a se desenvolver simultaneamente para os animais. Dessa maneira, as famílias estão muito mais preocupadas com o bem-estar de seus pets vindo a investir com uma maior disposição em remédios e procedimentos para a cura deles.

Um dos avanços mais relevantes se baseia no desenvolvimento de próteses para cães que sofreram amputações ou deformidades seja devido a acidentes, má-formações congênitas ou doenças, que além de restringir suas atividades como brincadeiras e caminhadas, também podem ocasionar quadros de ansiedade e estresse ao animal (Pacheco; De Lima; Ventura, 2024).

O método de impressão em três dimensões (3D) tem ganhado notoriedade como um dos principais aliados nesse âmbito, oferecendo valores acessíveis, personalização anatômica e agilidade na produção. Seu emprego em próteses veterinárias permite a criação de resultados adaptados às necessidades particulares de cada animal, considerando princípios como peso, porte e tipo de locomoção. Além disso, a união entre as áreas de engenharia mecânica, design biomédico e medicina veterinária tem viabilizado a evolução contínua desses produtos, garantindo maior eficiência e conforto aos pacientes caninos.

Com o avanço da medicina veterinária atual, o uso de modelagem 3D, impressão 3D e planejamento cirúrgico virtual tem expandido exponencialmente, sendo evidenciadas como ferramentas que permitem aos profissionais simularem intervenções com alta precisão antes mesmo do procedimento real. Essa prática, comum na medicina humana, tem reduzido complicações e aprimorado os resultados

em cirurgias complexas, consolidando o papel da tecnologia como aliada na reabilitação e no bem-estar dos cães.

O presente trabalho visa contextualizar, por meio da técnica de bibliometria, o avanço tecnológico da implementação da impressão 3D especificamente na vida de cães que necessitam de auxílio na sua mobilidade comprometida devido a alguma condição ou acontecimento.

1.2. PROBLEMA DE PESQUISA

Embora a tecnologia tenha avançado e a Manufatura Aditiva (MA) esteja se tornando cada vez mais comum na medicina veterinária, ainda persistem desafios relacionados à efetividade, custo e viabilidade das próteses impressas em 3D para cães que passaram por amputações ou apresentam deformidades. Além de dados promissores sobre a reabilitação funcional desses animais, também são identificados obstáculos, como a durabilidade dos materiais, a adaptação dos cães e os elevados custos dos equipamentos necessários (Wendland; Seguin; Duerr, 2019).

Diante desse cenário, observa-se que a aplicação da MA na confecção de próteses veterinárias representa um avanço significativo, permitindo a produção de dispositivos personalizados com base em modelagens tridimensionais obtidas por meio de escaneamento digital. Essa abordagem possibilita maior precisão no ajuste, redução de tempo e custos de produção quando comparada aos métodos tradicionais, além de favorecer a reabilitação motora e o bem-estar animal. No entanto, o uso da tecnologia ainda enfrenta limitações relacionadas à resistência mecânica dos materiais, padronização dos processos e falta de protocolos clínicos consolidados para sua aplicação em larga escala (Wendland; Seguin; Duerr, 2019).

1.3. DELIMITAÇÃO DO TEMA

Este estudo se concentra no emprego da MA para desenvolver próteses personalizadas para cães, evidenciando o benefício da sua aplicação na reabilitação locomotora de animais que foram afetados por amputações ou deformidades. Dessa forma, a finalidade desta análise se aplica nos materiais, processos e vantagens clínicas associados à impressão 3D de próteses para cães, sem incluir outras espécies animais ou implementações físicas.

1.4. OBJETIVO DE PESQUISA

1.4.1. *Geral*

O objetivo geral desta pesquisa é analisar o uso da MA na criação de próteses personalizadas para cães que possuem deformidades congênitas ou que tiveram seus membros amputados, avaliando seus benefícios, contribuições e principais desafios para a reabilitação e melhoria da qualidade de vida desses animais.

1.4.2. *Específicos*

Os objetivos específicos desta pesquisa são:

1. Identificar as principais categorias, processos e materiais utilizados na fabricação de próteses veterinárias por meio da MA;
2. Avaliar estudos que abordam o uso da MA na reabilitação de cães e suas taxas de adaptação;
3. Compreender como a integração entre engenharia, design e medicina veterinária favorecem o desenvolvimento de próteses mais funcionais;
4. Indicar perspectivas e desafios para o avanço da MA na reabilitação animal.
5. Apontar planejamentos futuros para o avanço da tecnologia, considerando novos materiais, processos e acessibilidade.

1.5. JUSTIFICATIVA

A crescente valorização dos cães como membros das famílias tem impulsionado avanços significativos na medicina veterinária contemporânea, promovendo o desenvolvimento de soluções terapêuticas mais eficazes e personalizadas. Nesse contexto, a MA, popularmente conhecida como impressão 3D, destaca-se como uma tecnologia promissora na reabilitação animal, especialmente pela capacidade de produzir próteses e implantes sob medida, com maior precisão anatômica e conforto ao paciente (Mestrinho et al., 2019; Phillips et al., 2017).

A aplicação dessa tecnologia tem demonstrado vantagens expressivas em relação aos métodos convencionais de fabricação, incluindo redução de custos,

agilidade na produção, possibilidade de personalização, e melhor adaptação funcional das próteses do animal. Além disso, 7 categorias de MA têm possibilitado o uso de diferentes materiais e geometrias complexas, favorecendo tanto o desenvolvimento de próteses, quanto de implantes ósseos e guias cirúrgicos de alta precisão (Fernandes et al., 2021; Ulu; Tomar; Mohan, 2021).

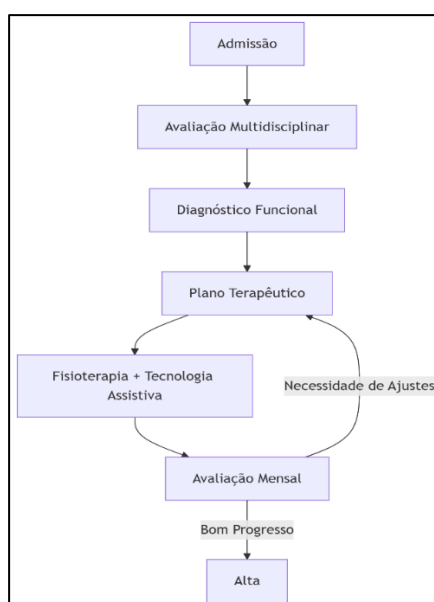
A pesquisa é justificada pela necessidade de compreender e incentivar o uso da impressão 3D na reabilitação de cães com amputações ou deformidades. Isso contribui para o desenvolvimento de melhores recursos e para o trabalho conjunto entre engenharia, design e medicina veterinária, com a finalidade de melhorar o bem-estar e a qualidade de vida dos cães.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. REABILITAÇÃO ANIMAL: CONCEITOS E IMPORTÂNCIA

O processo de reabilitação animal é um campo da medicina veterinária que busca restaurar a função física e melhorar a qualidade de vida de animais com deficiências ou lesões. Esse procedimento contém uma abordagem multidisciplinar que compõe técnicas fisioterapêuticas, uso de dispositivos para auxílio e modificações ambientais, tais etapas são apresentadas em um fluxo na figura 2. O processo começa na admissão, etapa em que o animal é recebido e são registradas as informações clínicas, histórico e queixas apresentadas pelo tutor. Esses dados iniciais permitem compreender o contexto do caso e orientar as próximas etapas do atendimento. Na sequência, realiza-se a avaliação multidisciplinar. Nela, diferentes profissionais analisam o paciente de forma integrada, observando postura, marcha, limitações e possíveis causas das disfunções. Esse olhar conjunto assegura um entendimento mais completo das necessidades do animal e fundamenta as decisões que serão tomadas ao longo da reabilitação. Mensalmente, o paciente é reavaliado para verificar sua evolução. Se forem identificadas dificuldades ou pouca resposta ao tratamento, ajustes são realizados tanto na abordagem fisioterapêutica quanto nos dispositivos assistivos. Quando o animal apresenta progresso consistente e atinge os objetivos estabelecidos, o processo é concluído com a alta. (Millis, Darryl L.; Levine, 2014).

Figura 2 - Fluxograma de processo de tratamento e reabilitação.



Fonte: Autores (2025)

A importância da reabilitação animal vem crescendo significativamente no decorrer dos anos, acompanhando a introdução dos pets no dia a dia da sociedade moderna. Os animais de estimação agora ocupam lugar nas famílias, o que gerou um certo aumento na demanda por tratamentos que assegurem seu bem-estar a longo prazo. Estudos relatam que cães sucumbidos a programas de reabilitação desenvolvem uma melhora de 70% a 85% em sua mobilidade e qualidade de vida (Sims; Waldron; Marcellin-Little, 2015).

O processo reabilitativo tem início com uma avaliação completa do animal e de sua condição, incluindo exames físicos, análise de locomoção e avaliação comportamental. Essa fase é crucial para estabelecer o protocolo mais adequado para cada um dos casos. A reabilitação se caracteriza desde exercícios terapêuticos até o uso das tecnologias que vêm crescendo na sociedade, como próteses e órteses personalizadas, que têm se tornado mais acessíveis devido a introdução da impressão 3D (Brønniche Møller Nielsen et al., 2020).

2.2. OBJETIVOS PRINCIPAIS DA REABILITAÇÃO ANIMAL

- Reduzir a dor e inflamação, promovendo conforto total ao paciente.
- Restaurar a função motora após traumas, cirurgias ou doenças neurológicas.
- Prevenir complicações como atrofia muscular ou rigidez articular.
- Aumentar a qualidade de vida, principalmente em animais geriátricos.
- Promover independência funcional, permitindo que o animal realizar as suas atividades diárias.
- Auxiliar na integração social, especialmente em animais que foram resgatados ou com sequelas físicas.

Pacientes que passam por programas estruturados de reabilitação apresentaram recuperação de 30% mais rápida em casos ortopédicos, quando comparados a animais sem intervenção fisioterapêutica (Drygas et al., 2011).

2.3. INDICAÇÕES CLÍNICAS

A fisioterapia veterinária desempenha um papel fundamental na recuperação e manutenção da funcionalidade de animais acometidos por diferentes condições clínicas. Em casos de lesões ortopédicas, como fraturas, luxações e amputações de

membros, busca-se promover a recuperação funcional, o fortalecimento muscular e a prevenção de sequelas. Para doenças neurológicas, como hérnias de disco, cinomose e neuropatias, o foco terapêutico envolve o estímulo neuromuscular, o treino de marcha e a melhora da propriocepção. No período pós-operatório, especialmente após cirurgias ortopédicas e neurológicas, a fisioterapia visa evitar complicações, acelerar o processo de cicatrização e restaurar a mobilidade. Em pacientes geriátricos, prioriza-se o alívio da dor, a preservação da força muscular e a manutenção da mobilidade articular. Já no controle da obesidade, os exercícios fisioterapêuticos são empregados para redução de peso e melhora do condicionamento físico. O quadro 1 retrata as condições e recuperações abordadas (Goff, 2016; Marsolais; Dvorak; Conzemius, 2002; Zink; Van Dyke, 2013).

Quadro 1 - Condição e recuperação.

Condição	Objetivo Terapêutico
Lesões ortopédicas (fraturas, luxações, displasia coxofemoral)	Recuperação funcional, fortalecimento muscular, prevenção de sequelas.
Doenças neurológicas (hernias de disco, cinomose, neuropatias)	Estímulo neuromuscular, treino de marcha, melhora da propriocepção.
Pós-operatórios (cirurgias ortopédicas e neurológicas)	Prevenir complicações, acelerar cicatrização e retorno à atividade.
Pacientes geriátricos	Controle da dor, manutenção de força muscular e mobilidade.
Controle de obesidade	Exercícios controlados para perda de peso e fortalecimento.

Fonte: Adaptado de Millis, Darryl L.; Levine (2014).

2.4. PRINCIPAIS TÉCNICAS UTILIZADAS

O quadro 2 apresenta as principais técnicas fisioterapêuticas aplicadas na reabilitação animal, destacando seus respectivos benefícios. A hidroterapia, realizada por meio da esteira aquática, proporciona exercícios de baixo impacto, favorecendo o fortalecimento muscular e o aumento da amplitude articular. A eletroterapia (TENS e

FES) é utilizada para alívio da dor, estimulação muscular e melhora da circulação sanguínea. A laserterapia atua na aceleração da cicatrização, com efeitos anti-inflamatórios e analgésicos. O ultrassom terapêutico contribui para a redução de inflamações profundas e estimula a regeneração tecidual. Já a acupuntura e eletroacupuntura auxiliam no controle da dor, promovendo o equilíbrio energético e a estimulação nervosa. Por fim, a massoterapia favorece o relaxamento muscular, a melhora da circulação e a redução do estresse, sendo uma técnica complementar amplamente empregada na reabilitação fisioterapêutica.

Quadro 2 - Técnicas fisioterapêuticas e seus benefícios.

Técnica	Benefícios
Hidroterapia (Esteira Aquática)	Exercícios de baixo impacto, aumento da amplitude articular, fortalecimento muscular.
Eletroterapia (TENS, FES)	Alívio da dor, estimulação muscular, melhora da circulação.
Laserterapia	Acelera cicatrização, ação anti-inflamatória e analgésica.
Ultrassom terapêutico	Redução de inflamações profundas e regeneração tecidual.
Acupuntura e Eletroacupuntura	Controle da dor, equilíbrio energético, estímulo nervoso.
Massoterapia	Relaxamento muscular, melhora da circulação, redução do estresse.
Exercícios Funcionais (Cinesioterapia)	Treinamento motor, propriocepção, equilíbrio e resistência.

Fonte: Adaptado de Goff, (2016); Marsolais; Dvorak; Conzemius, (2002); Zink; Van Dyke, (2013).

2.5. BENEFÍCIOS COMPROVADOS

Pós-operatório de cirurgias ortopédicas: animais que receberam fisioterapia tiveram 40% mais mobilidade após 30 dias comparados aos que não receberam tratamentos. Pacientes neurológicos em casos de hérnia de disco, a reabilitação precoce aumenta a taxa de recuperação funcional de 50% para 80%. Animais idosos

submetidos a programas semanais apresentam melhora significativa na locomoção e redução no uso de analgésicos (Drygas et al., 2011; Millis, Darryl L.; Levine, 2014; Zachary, James F.; McGavin, 2021).

2.6. PRÓTESE VETERINÁRIA: EVOLUÇÃO, DESAFIOS E APLICAÇÕES

Na medicina veterinária são exigidas algumas condições para o desenvolvimento de uma prótese animal, é necessário que seja leve e rígida para que resista ao peso do animal e que tenha medidas precisas de acordo com a anatomia do paciente, assim permitindo que se locomova sem dificuldades ou malefícios (Dalmolin et al., 2013).

Por meio de tecnologias de ponta para novos produtos, a impressora 3D permite o desenvolvimento de modelos virtuais com grande percentual de assertividade, possibilitando resultados positivos que são capazes de melhorar a qualidade de vida dos usuários de próteses, também oferecendo aprimoramentos para produtos já introduzidos no mercado e a criação de novos modelos que podem não ter sido produzidos por limitações industriais, das quais a tecnologia 3D permitiu solucionar (Paredes do Nascimento et al., 2024).

O desenvolvimento de próteses para animais vem utilizando a MA, onde o processo através da criação de um design virtual é realizado na impressora com dois materiais poliméricos, o Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) e Polyethylene Terephthalate Glycol (PETG). O ABS é um termoplástico leve e rígido, tem uma boa flexibilidade e resistência ao impacto. PETG é um copolímero que foi desenvolvido a partir do PET, sendo considerado versátil e com alta durabilidade e resistência (Carvalho, 2024; Pepeliaev et al., 2024)

Apesar da complexidade do tratamento, a evolução tecnológica permitiu que diversas espécies fossem beneficiadas com as próteses como aves, cavalos, golfinhos e elefantes. No Brasil, desde 2015 existe o grupo *Animal Avengers*, eles utilizam próteses que são moldadas e impressas em impressora 3D para animais.

Independentemente de a prática de amputação ser comumente executada, o manuseio diário dos membros, a fabricação da prótese e a adaptação do animal à prótese são mais prolongadas e complexas. O uso desse dispositivo precisa de

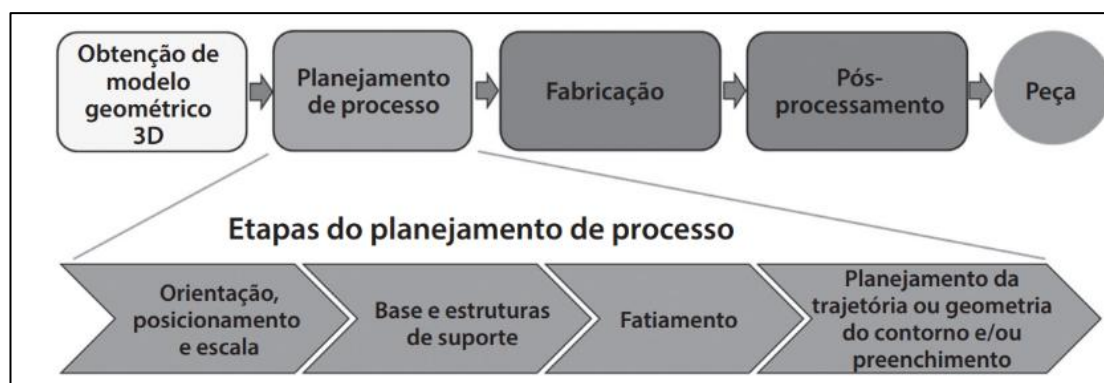
cuidados especiais da família do animal, necessitando ser removido com frequência para realizar limpeza e observar a provável ocorrência de ferimentos, podendo também demandar certos ajustes caso ocorra alguma deformação da prótese ou incapacidade do animal em locomover-se com conforto, levando à troca da mesma (Silva Junior et al., 2020).

2.7. MA: CONCEITOS, TECNOLOGIAS E MATERIAIS

2.7.1. Princípios da MA

A MA ou impressão 3D é caracterizado pela adição de material para produção de peças, contrastando com os métodos de fabricação tradicionais, que contam com o método subtrativo, a MA parte do princípio de sobreposição de camadas finas, as quais são depositadas sucessivamente uma após a outra, formando o objeto físico, desenvolvidos geralmente, mas não se limitando a softwares que contemplam a tecnologia de *Computer Aided Design* (CAD). O processo de MA, conforme apresentado na figura 3, segue uma sequência estruturada que inclui: (1) obtenção do modelo 3D, etapa em que a geometria da peça é criada por modelagem ou digitalização; (2) planejamento do processo de fabricação, em softwares específicos que utilizam a tecnologia de *Computer Aided Manufacturing* (CAM), como o OrcaSlicer e o GrabCADPrint, definindo parâmetros de impressão e realizando a conversão do modelo para um formato compatível com software de fatiamento, como a extensão *Standard Triangle Language* (STL); (3) fabricação, fase em que a impressora 3D produz a peça camada por camada; (4) pós-processamento da peça impressa, que envolve limpeza, retirada de suportes e acabamento; e (5) obtenção da peça final, pronta para uso ou aplicação. (“Terminology for Additive Manufacturing - General Principles - Terminology”, 2021).

Figura 3 - Etapas do processo e do planejamento de processos da MA.



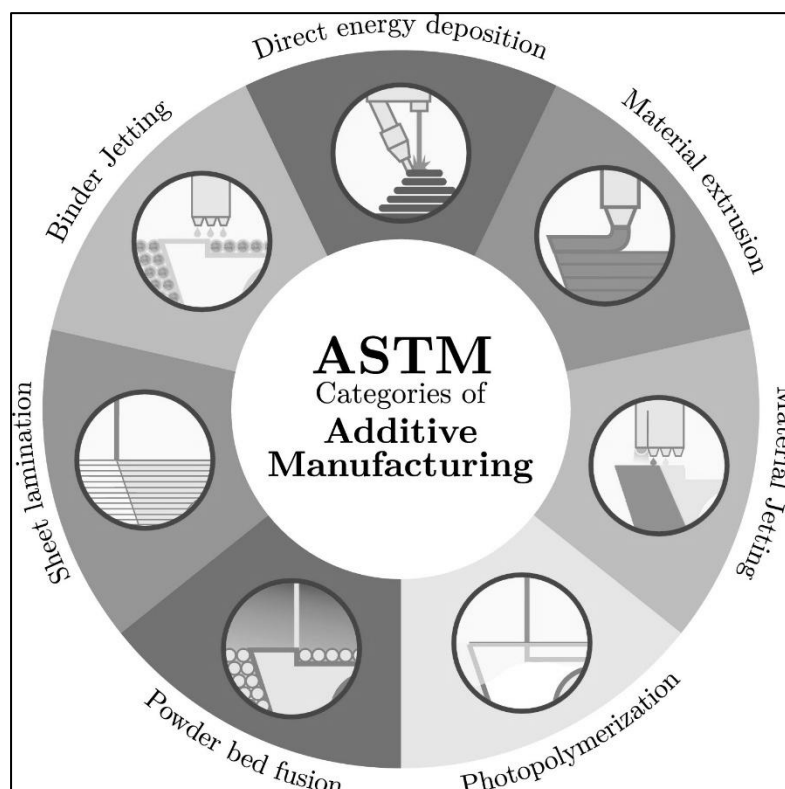
Fonte: Volpato (2017).

A primeira tecnologia de MA disponibilizada comercialmente foi a *Stereolithography Apparatus* (SLA), desenvolvida no ano de 1986 pela empresa 3D Systems, sendo essa a tecnologia de impressão 3D que impulsionou a criação de diversas outras existentes. A MA, inicialmente, era exclusivamente aplicada na prototipagem rápida para validação de produtos e projetos, porém, ao longo da última década, com os significativos avanços tecnológicos na área da impressão 3D, a MA passou a ser amplamente utilizada na produção final de peças funcionais em setores como a indústria automobilístico, aeronáutica, médica e veterinária (Barbosa et al., 2021; Coelho et al., 2021; Montuori et al., 2020; Silva et al., 2020).

2.7.2. Categorias da MA

Os processos de MA são baseados em diferentes tipos de tecnologias, a figura 4 apresenta as categorias da MA de acordo com a norma ASTM 52900, sendo elas, a fotopolimerização em cuba, extrusão de material, jateamento de material e jateamento de aglutinante, fusão de leito em pó não metálico, fusão de leito em pó metálico, adição de lâminas e deposição com energia direcionada, sendo utilizado uma ampla gama de materiais, como polímeros, elastômeros, compósitos, cerâmica, ligas de metais e resinas, possibilitando a fabricação de diversos produtos funcionais (Inácio et al., 2020; Lima; Marques; Shimano, 2022; Yang et al., 2024).

Figura 4 - Categorias da MA de acordo com a ASTM 52900.

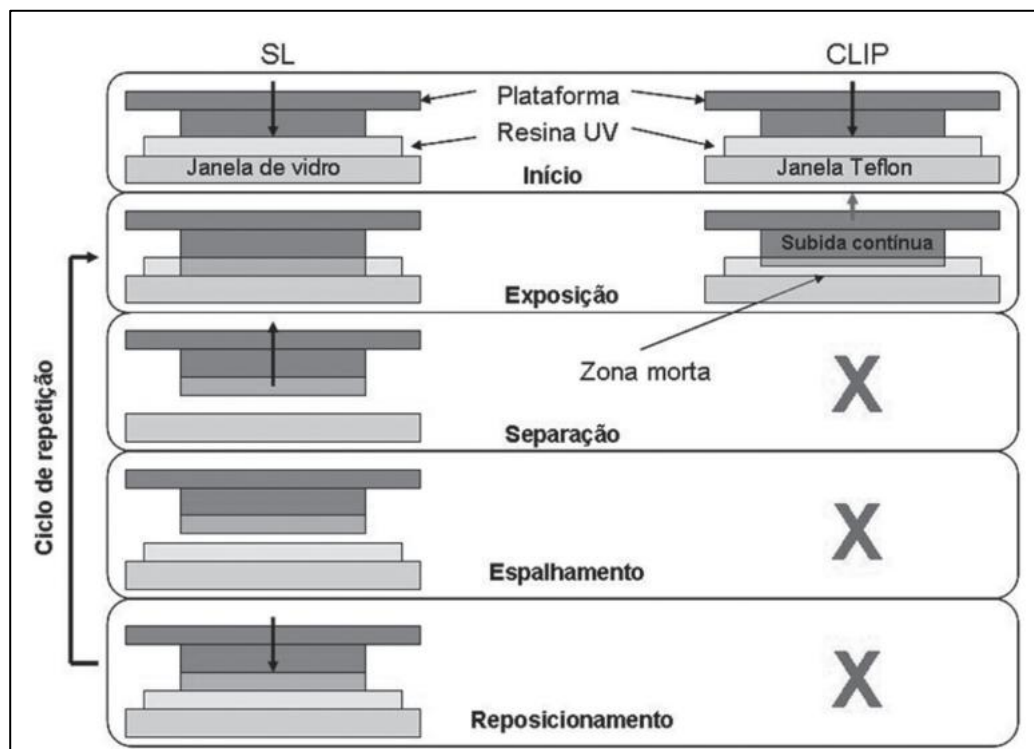


Fonte: Adaptado de Amaya-Rivas et al., (2024).

A fotopolimerização em cuba foi a primeira categoria da MA a ser desenvolvida e comercializada, tendo como marco inicial o processo de SLA, criado pela 3D Systems em 1986. Esta tecnologia baseia-se na utilização de um feixe de *Laser Ultraviolet* (UV) que polimeriza seletivamente uma resina líquida fotossensível, solidificando camada por camada o modelo tridimensional. Posteriormente, surgiram variantes como o *Digital Light Processing* (DLP), que utiliza um projetor digital para curar áreas inteiras de uma só vez, e o *Continuous Liquid Interface Production* (CLIP), que elimina as transições discretas de camadas, promovendo uma fabricação contínua e mais rápida. Esses métodos se destacam pela capacidade de produzir peças com altíssima precisão dimensional e excelente qualidade superficial, características que os tornam ideais para a confecção de modelos com detalhes complexos, como guias cirúrgicos e protótipos odontológicos. No entanto, a fragilidade mecânica das peças resultantes, derivada das características intrínsecas das resinas fotopoliméricas, limita sua aplicação a componentes que não estejam sujeitos a cargas estruturais elevadas. Além disso, os processos de pós-cura, lavagem e remoção de suportes são etapas obrigatórias, o que pode aumentar o tempo de

produção total e os custos operacionais. As diferenças básicas entre etapas dos processos Stereolithography (SL) por projeção de imagens e CLIP são apresentadas na figura 5 (Caussin et al., 2024; Pagac et al., 2021; Schwartz, 2022).

Figura 5 - Diferenças básicas entre etapas dos processos SL por projeção de imagens e CLIP.

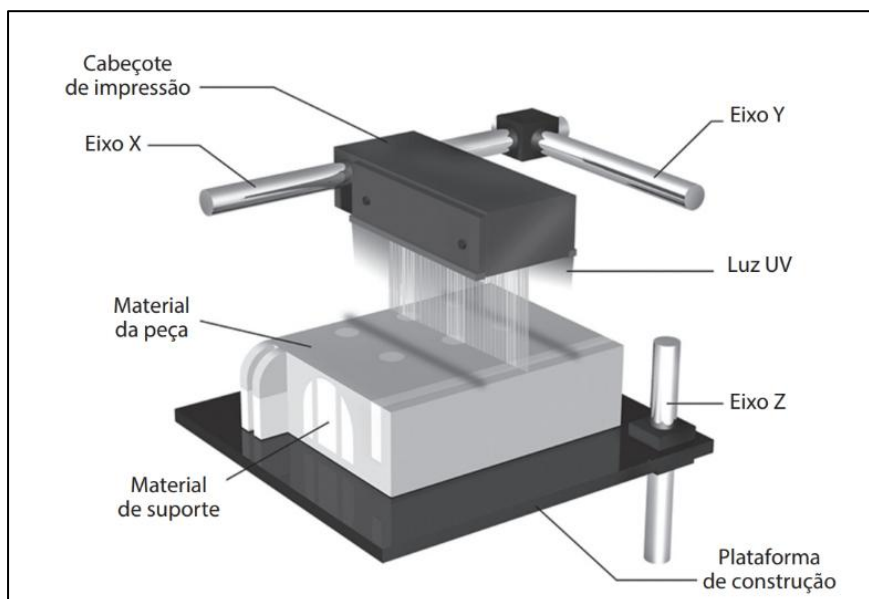


Fonte: Volpato. (2017).

O jateamento de material representa uma evolução tecnológica na MA, especialmente no que diz respeito à capacidade de imprimir peças com múltiplos materiais e cores em uma única operação. O processo baseia-se na deposição de microgotas de material fotopolimérico, imediatamente curadas por luz UV, camada após camada. Essa tecnologia é exemplificada pelas impressoras *PolyJet*, da Stratasys, amplamente utilizadas na produção de modelos anatômicos, biomodelos e protótipos com alto nível de detalhe, o princípio de funcionamento desse processo de impressão é ilustrado na figura 6. As peças produzidas via Jateamento de Material apresentam uma resolução dimensional excepcional e acabamento superficial superior, permitindo a reprodução fiel de texturas e geometrias complexas. Além disso, a possibilidade de combinar materiais com diferentes propriedades mecânicas em uma única impressão amplia o leque de aplicações, particularmente nas áreas médica e odontológica. Entretanto, os elevados custos de aquisição dos

equipamentos, somados ao preço dos materiais proprietários e à necessidade de remoção de suportes com soluções específicas, impõem barreiras ao uso em larga escala. Outro aspecto limitante é a resistência mecânica relativamente baixa das peças finais, o que restringe seu uso a aplicações não estruturais (Ulu; Tomar; Mohan, 2021).

Figura 6 - Princípio de funcionamento da tecnologia PolyJet.

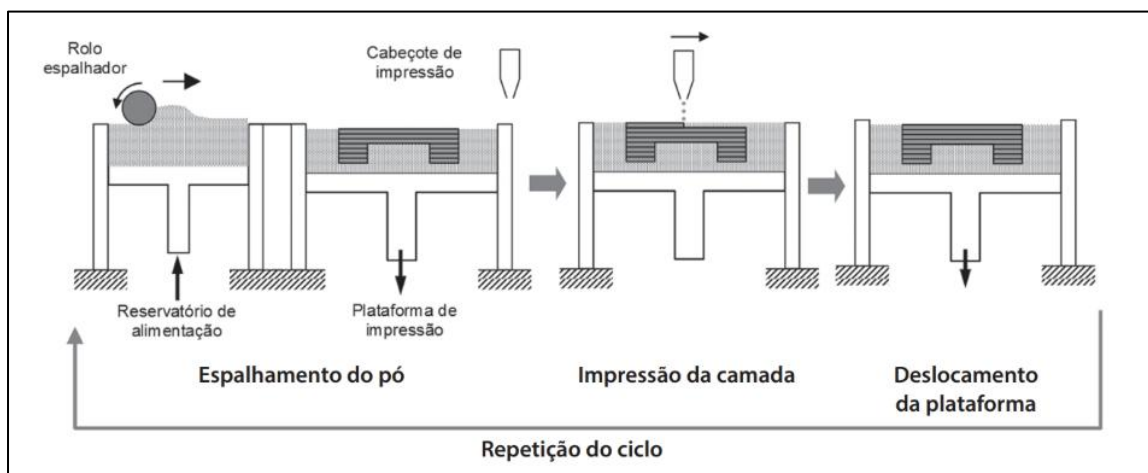


Fonte: Volpato. (2017).

O processo de Jateamento de Aglutinante destaca-se pela sua elevada velocidade de produção e pela capacidade de fabricar geometrias complexas sem a necessidade de suportes adicionais. Essa tecnologia é exemplificada pelas impressoras *ColorJet Printing (CJP)*, da 3D Systems, a figura 7 apresenta o princípio dessa tecnologia. Neste método, um cabeçote de impressão deposita seletivamente um aglutinante líquido sobre um leito de pó, geralmente composto por materiais como gesso, areia ou metais, dependendo da aplicação. Apesar de sua eficiência produtiva e do baixo custo dos materiais, as peças resultantes apresentam baixa resistência mecânica na etapa inicial, sendo denominadas *green parts*. Essas peças requerem subsequentes processos de pós-tratamento, como cura térmica, sinterização ou infiltração com materiais de reforço, para adquirir as propriedades físicas desejadas. Tal característica representa uma limitação significativa, especialmente em aplicações que demandam resistência estrutural imediata. No entanto, sua capacidade de produzir peças de grande porte a baixo custo torna o Jateamento de Aglutinante uma

solução atrativa para a fabricação de moldes para fundição e modelos de visualização arquitetônica (Dini et al., 2020; Li et al., 2020; Zhao et al., 2023).

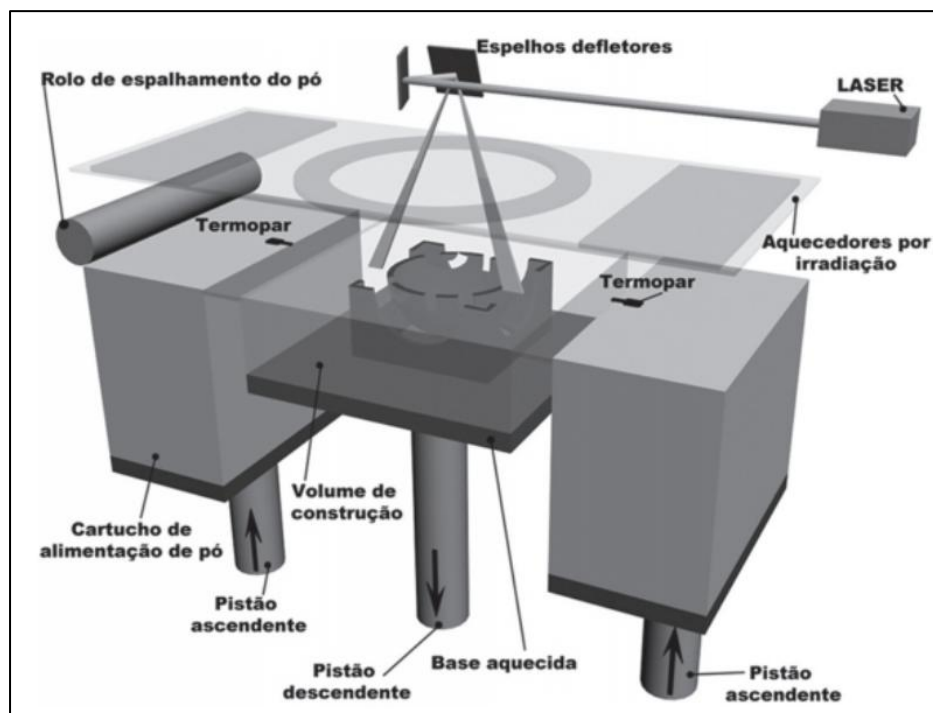
Figura 7 - Princípio da tecnologia CJP da 3D Systems.



Fonte: Volpato. (2017).

A fusão de leito de pó não metálico utilizando a categoria *Selective Laser Sintering* (SLS) é uma das tecnologias mais consolidadas da MA quando se trata da produção de peças funcionais em polímeros. Utilizando pós termoplásticos, como a poliamida 12 (PA12), o processo envolve a fusão seletiva das partículas por meio de um *laser* de alta potência, dentro de uma câmara aquecida que mantém a temperatura próxima ao ponto de fusão do material, o sistema típico de fusão de leito de pó não metálico é ilustrado na figura 8. Uma das principais vantagens da SLS é a eliminação da necessidade de estruturas de suporte, uma vez que o próprio leito de pó não sinterizado oferece o suporte necessário durante o processo de fabricação. Além disso, as peças produzidas apresentam boa resistência mecânica e são adequadas para aplicações funcionais. Por outro lado, o acabamento superficial das peças tende a ser rugoso, exigindo pós-processamentos como polimento ou impregnação para aplicações que exijam melhor estética ou suavidade ao toque. O custo elevado dos equipamentos e a necessidade de controle ambiental rigoroso durante a fabricação também são fatores que limitam sua adoção em pequenas empresas ou laboratórios com infraestrutura restrita (Awad et al., 2021; Charoo et al., 2020).

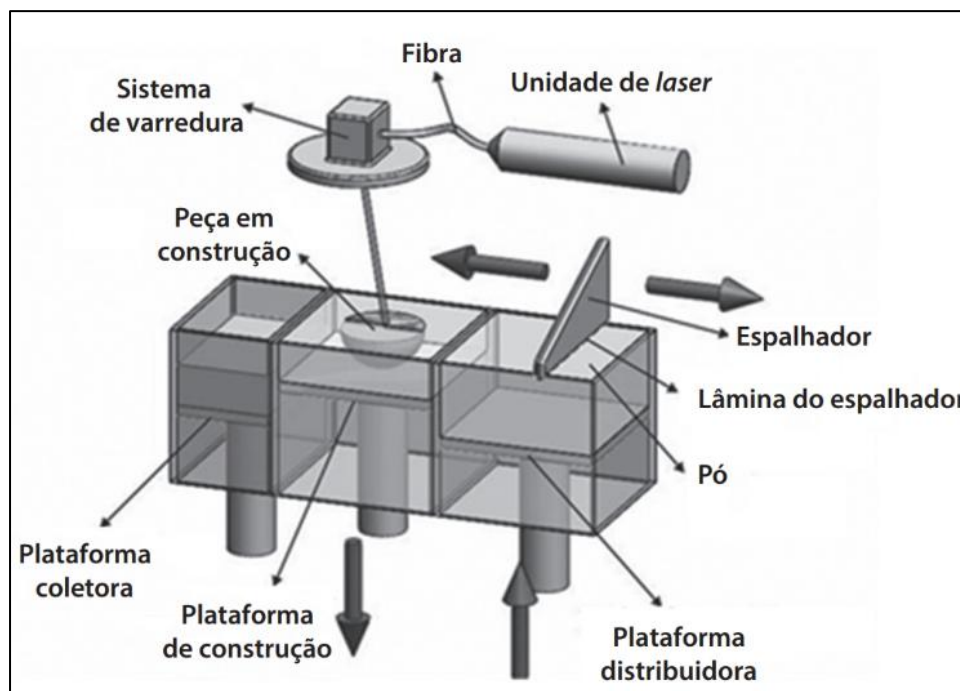
Figura 8 - Sistema típico de fusão de leito de pó não metálico.



Fonte: Volpato. (2017).

A fusão de leito de pó metálico, utilizando categorias *Selective Laser Melting* (SLM) e *Direct Metal Laser Sintering* (DMLS), representa o estado da arte na MA de componentes metálicos de alta complexidade geométrica. Nesse processo, camadas finas de pó metálico são fundidas seletivamente por um laser de alta energia, sob atmosfera controlada de gases inertes como argônio ou nitrogênio, prevenindo oxidação durante a fabricação, o diagrama esquemático do processo de fusão de leito em pó metálico é apresentado na figura 9. As peças obtidas por SLM e DMLS possuem alta densidade, propriedades mecânicas comparáveis às de materiais forjados e excelente resistência à fadiga, o que as torna ideais para aplicações críticas, como implantes ortopédicos, peças aeroespaciais e dispositivos biomédicos. No entanto, os altos custos de aquisição e operação dos equipamentos, somados à complexidade do pós-processamento, que pode incluir alívio de tensões térmicas, usinagem de precisão e tratamentos térmicos tornam esta tecnologia restrita a aplicações de alto valor agregado e produção de lotes pequenos (Gao et al., 2022; Khairallah et al., 2016; Meier et al., 2017).

Figura 9 - Diagrama esquemático do processo de fusão de leito de pó metálico.



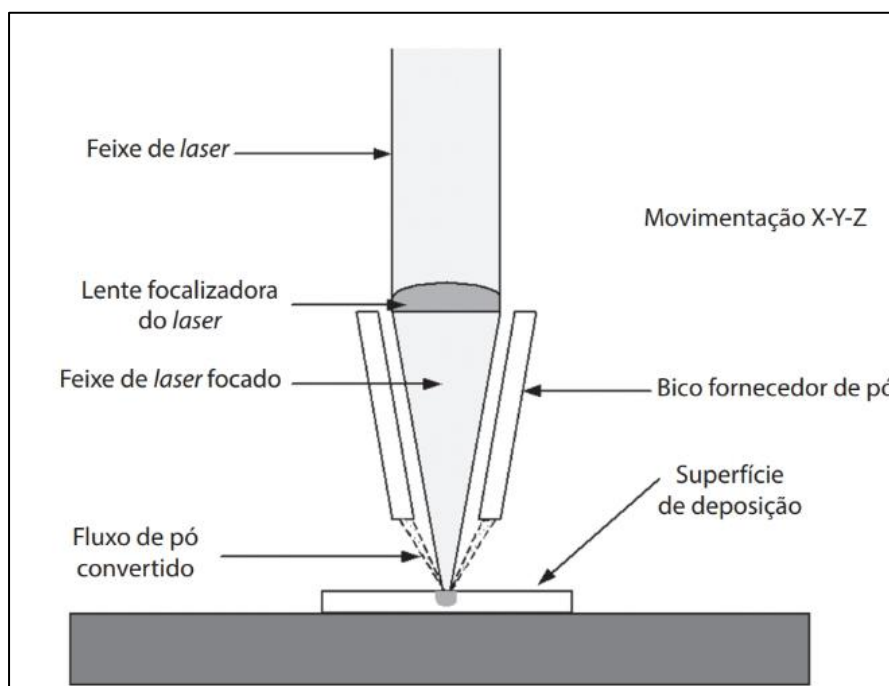
Fonte: Volpato. (2017).

A categoria de *Direct Energy Deposition* (DED) caracteriza-se pela alimentação simultânea de material, geralmente na forma de arame ou pó, e energia térmica concentrada, provida por um laser, arco elétrico ou feixe de elétrons, para realizar a fusão e a deposição do material sobre uma base previamente existente. Esse processo é especialmente valorizado na reparação e reconstrução de componentes metálicos de grande porte, além da fabricação de geometrias complexas que podem ser posteriormente usinadas com precisão. O princípio de fabricação por meio do DED tem uma variedade de tecnologias associada a si, como a *Laser Engineered Net Shaping* (LENS), o *Directed Light Fabrication* (DLF) e *Direct Metal Deposition* (DMD), o princípio do processo LENS da Optomec é apresentado na figura 10.

Uma das maiores vantagens do DED é sua alta taxa de deposição, que permite a construção rápida de grandes volumes e a possibilidade de aplicação em superfícies pré-existentes amplia suas utilidades na indústria de manutenção e reparo. Por outro lado, enfrenta desafios em relação a baixa resolução dimensional, quando comparada a outras tecnologias de leito de pó, e a necessidade de operadores especializados para controle dos parâmetros de deposição e trajetória do cabeçote, são fatores limitantes, sendo ainda que o processo geralmente requer considerável esforço de

pós-processamento, incluindo usinagem para atingir os requisitos finais de acabamento e tolerância dimensional (DebRoy et al., 2018; Gu et al., 2012; Herzog et al., 2016).

Figura 10 - Princípio do processo LENS da Optomec.

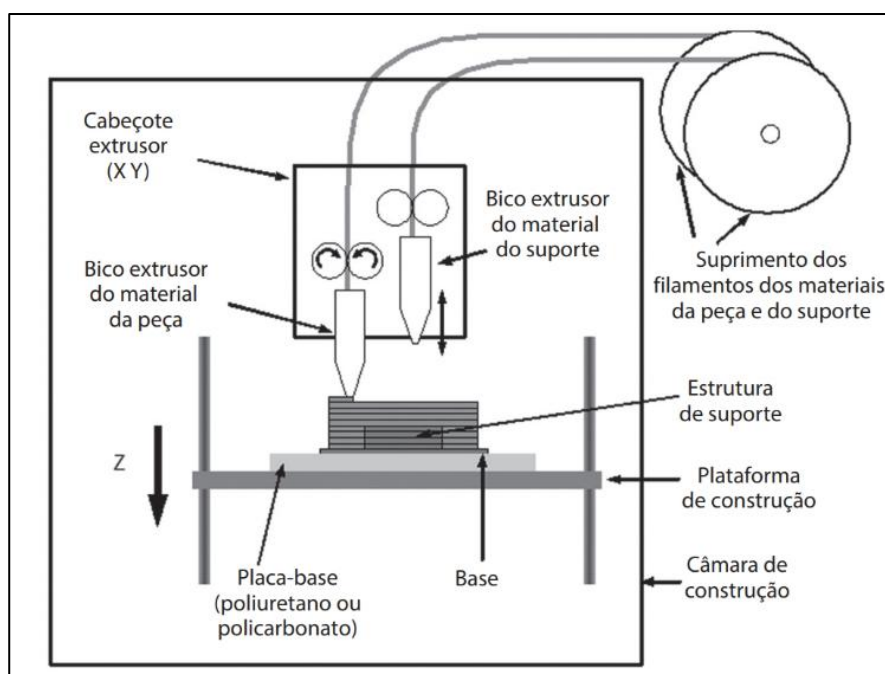


Fonte: Volpato. (2017).

O processo de fabricação mais reconhecido e disseminado da MA é a *Fused Filament Fabrication* (FFF), significando, em português, fabricação por filamento fundido, tecnologia baseada na extrusão de material. A FFF apresenta baixo custo e simples operação, sendo muito utilizado para elaboração de projetos, desde domésticos até industriais, contendo uma vasta gama de aplicações. Na literatura, é comum encontrar o termo *Fused Deposition Modeling* (FDM) ao invés de FFF, ambos os termos se referem ao mesmo processo de fabricação por extrusão de material fundido, porém, deve-se salientar que a grande diferença entre os termos é que a FDM é uma patente pertencente a empresa Stratasys, na qual desenvolveu a respectiva tecnologia, sendo ela a única permitida a utilizar a terminologia FDM. Com base nessa premissa, com o objetivo de se referir a tecnologia FDM sem correr riscos em nível jurídico, o projeto RepRap criou o termo FFF, possibilitando que a comunidade da MA citasse a categoria de extrusão de material fundido sem problemas (Kumar et al., 2023; Rech et al., 2021; Shaqour et al., 2021).

A FFF é baseada na deposição camada a camada de termoplásticos fundidos em estado viscoso, os polímeros se apresentam em forma de filamentos, os quais abastecem os equipamentos de MA de tecnologia FFF, eles são puxados e aquecidos num componente denominado cabeça de impressão, o qual, extrudados pelo bico da impressora e depositados numa base também aquecida, onde o material é rapidamente solidificado por meio de coolers de resfriamento, em impressoras fechadas, ou por ação natural do ambiente, em impressoras abertas, preservando a geometria do objeto impresso, a figura 11 apresenta o princípio do processo FDM (Chen et al., 2018; Kantaros et al., 2025).

Figura 11 - Princípio do processo FDM.



Fonte: Volpato. (2017).

A altura de cada camada depositada é determinada pelo software assim como outros parâmetros como o preenchimento da peça e velocidade de impressão, todos esses são calculados pelo software voltado para MA, reproduzindo o formato do objeto, mantendo as especificações do arquivo CAD, sendo mais comumente usados no formato STL (Louredo et al., 2021; Rech et al., 2021).

2.7.3. Aplicações da MA na medicina veterinária

A MA tem revolucionado a medicina veterinária ao possibilitar a produção de dispositivos personalizados, especialmente para a reabilitação e ortopedia de cães.

Por meio de imagens tridimensionais adquiridas por Tomografia Computadorizada (TC) ou escaneamento 3D, é possível modelar e fabricar próteses, órteses e suportes adaptados à anatomia única de cada paciente, o que amplia significativamente a eficácia dos tratamentos. O processo inclui etapas desde a modelagem CAD até a impressão em tecnologias como FFF ou SLA, garantindo a precisão geométrica e funcional dos dispositivos. Essa personalização tem elevado o padrão dos cuidados veterinários, permitindo desde o planejamento cirúrgico até a confecção de modelos anatômicos que facilitam a compreensão dos casos clínicos (Amaya-Rivas et al., 2024; Bertti; Silveira; Assis Neto, 2020; De Sá Medeiros et al., 2023).

Um dos usos mais relevantes da MA é na confecção de próteses para cães com amputações ou deformidades, que requerem dispositivos leves, resistentes e econômicos. As próteses fabricadas por impressão 3D oferecem essas características e podem ser adaptadas com agilidade para atender diferentes tipos e tamanhos de animais. Todavia, desafios como a validação da resistência mecânica e a adequação funcional ainda demandam estudos aprofundados, principalmente para suportar esforços em cães de grande porte. Ajustes pós-impressão são frequentemente necessários para melhorar o encaixe e o conforto, o que destaca a importância do acompanhamento clínico durante todo o processo (Cruz et al., 2022; De Sá Medeiros et al., 2023; Prządka et al., 2025).

No campo das órteses e suportes ortopédicos, a MA proporciona soluções customizadas que melhoram a imobilização e o conforto do paciente, minimizando complicações comuns com dispositivos convencionais, como lesões por pressão. O uso de termoplásticos como PETG e TPU na tecnologia FFF possibilita a produção de peças que combinam resistência e flexibilidade, fundamentais para a mobilidade e adaptação do animal durante o tratamento. Ainda que o custo e a necessidade de impressoras de maior porte sejam barreiras para algumas clínicas, os avanços tecnológicos têm ampliado o acesso a essas soluções (Cruz et al., 2022; Prządka et al., 2025)

Além das aplicações terapêuticas, a impressão 3D é um recurso cada vez mais valioso para o ensino da anatomia veterinária e planejamento cirúrgico. Modelos tridimensionais de ossos e articulações facilitam a visualização e compreensão da complexa anatomia animal, além de possibilitar simulações e treinamentos práticos

que reduzem riscos cirúrgicos. Entretanto, a reprodução realística de tecidos moles permanece um desafio técnico, pois a maioria das tecnologias de MA ainda não consegue replicar adequadamente as características biomecânicas desses tecidos (Berti; Silveira; Assis Neto, 2020; Cruz et al., 2022). A MA também tem permitido o desenvolvimento de dispositivos de assistência à mobilidade, como cadeiras de rodas para cães com paralisias. A personalização e a possibilidade de ajustes finos são essenciais para garantir a funcionalidade e o conforto desses equipamentos, que ainda enfrentam limitações relacionadas à resistência mecânica e durabilidade. Pesquisas recentes apontam para o uso de polímeros reforçados e tecnologias avançadas de impressão como soluções para superar esses desafios e ampliar o uso clínico dessas próteses (Amaya-Rivas et al., 2024; Cruz et al., 2022; De Sá Medeiros et al., 2023).

2.7.4. Materiais mais utilizados em próteses animais

Com os estudos feitos foram encontrados dois tipos de procedimentos mais comuns feitos por impressão 3D que são:

- Osseointegração (Titânio) tem os relatos mais robustos de recuperação funcional rápida e duradoura, porém com riscos cirúrgicos e possíveis complicações a longo prazo (infecção de interface cutânea, osteólise). Os materiais utilizados para esse processo basicamente é o titânio ou a liga de titânio fabricados por impressão metálica EBM/SLM.
- Próteses externas, muitos estudos relatam a melhora da locomoção e da qualidade de vida após a adaptação de próteses 3D externa, essas próteses têm um preço acessível e efetivas em muitos casos para restaurar a mobilidade com menos risco imediato (não cirúrgico). A recuperação depende intensamente do ajuste de reabilitação, nesse procedimento que é o FDM/FFF são utilizados materiais como *Polylactic Acid* (PLA), *Polyethylene Terephthalate Glycol* (PETG), Poliamida (PA) e *Thermoplastic Polyurethane* (TPU).

2.8. APLICAÇÕES DA IMPRESSÃO 3D NA MEDICINA VETERINÁRIA

No contexto da área da saúde, tanto humana quanto animal, a tecnologia de impressão 3D tem se consolidado como uma ferramenta inovadora e de grande

relevância. Sua aplicação possibilita a fabricação ágil e precisa de protótipos complexos e bem estruturados, abrangendo desde a reprodução de membros e órgãos até o desenvolvimento de diversos dispositivos de Tecnologia Assistiva (TA) (Gerstle et al., 2014).

Considerando que este trabalho aborda o desenvolvimento de órteses e próteses produzidas por meio da tecnologia de impressão 3D, as quais se enquadram como mecanismos, entende-se que a TA abrange todo produto, equipamento, recurso, sistema, metodologia ou estratégia voltada a promover a restauração de funções, a ampliação da autonomia e a melhoria da funcionalidade de indivíduos com deficiência ou mobilidade reduzida (Kaptain et al., 2025).

De acordo com a *International Organization for Standardization* (ISO) 8549-1, a órtese, também denominada dispositivo ortopédico, é definida como um equipamento utilizado para modificar ou corrigir características estruturais e funcionais do sistema neuro musculo esquelético. Por sua vez, as próteses, ou dispositivos protéticos, são descritas como estruturas empregadas para substituir, total ou parcialmente, um membro ou segmento corporal ausente ou com deficiência funcional (Morimoto et al., 2021).

3. METODOLOGIA

Este trabalho possui natureza aplicada, com objetivo exploratório e abordagem qualitativa. O estudo foi realizado por meio de bibliometria, conforme detalhado no quadro 3. O propósito da investigação foi gerar conhecimento sobre o tema abordado, buscando compreender como as variáveis se relacionam no contexto da literatura analisada, além de mapear e categorizar o uso da MA no desenvolvimento de próteses caninas.

A opção pela abordagem qualitativa e pela bibliometria como procedimento de pesquisa justificam-se pela necessidade de compreender de forma aprofundada os conceitos envolvidos, abrangendo desde suas aplicações até os avanços tecnológicos registrados na literatura disponível. Esse método permite uma descrição sistematizada, baseada na coleta e análise de dados secundários, possibilitando identificar as relações entre as tecnologias estudadas e oferecendo suporte ao caráter exploratório da pesquisa (Ali Khan et al., 2023; Hollweck, 2015).

Quadro 3 - Classificação da pesquisa.

Natureza	Objetivo	Abordagem	Procedimentos de pesquisa
Básica	Exploratório	Quantitativa	Experimental
Aplicada	Descritivo	Qualitativa	Bibliometria
	Explanatório	Combinada	Revisão bibliográfica
	Normativo		Modelagem
			Matriz de maturidade
			Estudo de caso
			Simulação

Fonte: Adaptado de Reis et al. (2024).

O procedimento metodológico adotado neste estudo foi estruturado na abordagem técnica de bibliometria para garantir rigor, transparência e reprodutibilidade. A coleta dos dados ocorreu entre 2015 e 2025, abrangendo diferentes bases científicas nacionais e internacionais. As principais bases consultadas foram Scopus, utilizada como fonte primária devido à sua ampla cobertura e elevado rigor na indexação e bases complementares como SciELO, Redalyc.

A estratégia metodológica foi dividida em duas etapas principais. Na primeira etapa, correspondente à busca principal, foram identificados 40 artigos na base Scopus, seguindo termos específicos combinados com operadores booleanos, a saber “*Prosthesis*” AND “*canine*” AND “*additive manufacturing*” OR “*3D Printing*”. Na segunda etapa, voltada à busca complementar, foram incluídos outros 40 estudos provenientes das demais bases mencionadas, totalizando 80 artigos analisados. Entre os estudos provenientes da Scopus, identificou-se que dois eram de origem brasileira, refletindo o crescente interesse nacional sobre o tema. Além disso, observou-se que quatro artigos dessa mesma base não apresentavam informações completas sobre os materiais utilizados, embora tenham sido mantidos por sua relevância metodológica.

No total, os estudos representaram diferentes países com predominância dos Estados Unidos, China, Reino Unido, Alemanha e Brasil, e contemplaram publicações disponíveis nos idiomas português, inglês e espanhol. Os critérios de inclusão abrangeram artigos publicados entre 2015 e 2025, com foco direto na MA aplicada à medicina veterinária, disponíveis em texto completo e revisados por pares. Foram excluídos trabalhos duplicados, estudos exclusivamente teóricos, editoriais, resumos de conferências e publicações sem relação com o contexto veterinário.

A análise dos dados foi realizada a partir da organização dos estudos em planilhas comparativas, classificando-os segundo tipo de material utilizado e categoria de impressão empregados (FDM, SLA, SLM/DMLS), aplicações clínicas (próteses externas, implantes ósseos, guias cirúrgicos), país de origem e principais resultados reportados. A análise bibliométrica permitiu realizar um levantamento qualitativo robusto, garantindo clareza na identificação das tendências, padrões, lacunas e contribuições relevantes no campo das próteses veterinárias produzidas por MA.

Quadro 4 - Síntese bibliométrica dos 80 estudos selecionados.

Categoria Bibliométrica	Descrição / Aplicação no Estudo	Resultado Obtido no Levantamento (80 estudos)
Base de dados	Identificação da origem das publicações.	40 artigos da Scopus; 40 de bases complementares (PubMed, ScienceDirect, BMC, MDPI, Frontiers, SciELO, ResearchGate).
País de origem da publicação	Classificação geográfica para identificar concentração acadêmica e produção científica por região.	EUA, China, Coreia do Sul, Alemanha, Reino Unido, Holanda, Brasil (2 estudos Scopus), Japão, Espanha, Índia, Chile, Colômbia, entre outros. Total de 18 países representados.
Ano de publicação	Métrica temporal utilizada para medir evolução da pesquisa.	Publicações entre 2015 e 2025.
Tipo de estudo	Identificação da natureza metodológica.	45 relatos de caso, 12 estudos experimentais, 10 análises biomecânicas/FEA, 8 revisões, 5 estudos clínicos com múltiplos pacientes.
Tecnologia de impressão 3D	Classificação por processos de MA.	FDM, SLA/DLP, SLM/DMLS.
Material utilizado	Quais materiais aparecem com maior frequência.	Titânio (Ti6Al4V), PEEK, PLA, ABS, resinas fotopolimerizáveis, nylon (PA12). 3 artigos não especificaram o material (todos da Scopus).
Aplicação clínica	Categorização da aplicação em medicina veterinária.	Próteses externas (26), implantes ósseos (22), guias cirúrgicos (18), planejamento cirúrgico (10), reconstruções craniofaciais (4).
Número de citações	Determinação de impacto dos artigos (métrica bibliométrica clássica).	Média estimada: 8–15 citações por artigo; 10 estudos mais citados variam.
Idioma da publicação	Filtragem linguística utilizada.	Inglês (92%), português (5%), espanhol (3%).
Palavras-chave mais frequentes	Análise de frequência e relevância temática.	"3D printing", "additive manufacturing", "veterinary", "canine", "prosthesis", "custom implant", "patient-specific", "bone reconstruction". <i>Frontiers in Veterinary Science, BMC Veterinary Research, Scientific Reports, Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology, Animals (MDPI).</i>
Periódicos de maior incidência	Identificação dos periódicos com maior recorrência.	<i>Frontiers in Veterinary Science, BMC Veterinary Research, Scientific Reports, Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology, Animals (MDPI).</i>
Colaborações institucionais	Observação da interação entre universidades e centros de pesquisa.	Forte presença de colaborações EUA–Europa e Ásia–Europa. Brasil aparece em parcerias internas.
Ferramentas digitais utilizadas	Softwares mencionados.	Mimics, 3-matic, SolidWorks, Fusion 360, Rhino, Meshmixer.
Principais lacunas identificadas	Análise bibliométrica qualitativa.	Falta de padronização de ensaios mecânicos; poucos estudos clínicos com grandes amostras; escassez de dados sobre desempenho a longo prazo.

Fonte: Autores (2025)

4. RESULTADOS

4.1. FONTE DOS DADOS

A estratégia metodológica adotada assegurou a abrangência e a confiabilidade dos resultados obtidos. A combinação entre uma base de alto rigor científico, como a Scopus, e fontes complementares de livre acesso permitiu reunir um panorama representativo da aplicação da MA na medicina veterinária, com foco específico em cães.

A inclusão de artigos provenientes de diferentes países contribuiu para a diversidade de abordagens clínicas e tecnológicas analisadas, evidenciando tendências globais e regionais de pesquisa. A manutenção de três artigos da base Scopus sem descrição detalhada dos materiais utilizados foi justificada pelo seu valor metodológico, uma vez que esses trabalhos contribuíram para a compreensão dos parâmetros de manufatura, calibração de impressoras e adaptação anatômica das próteses.

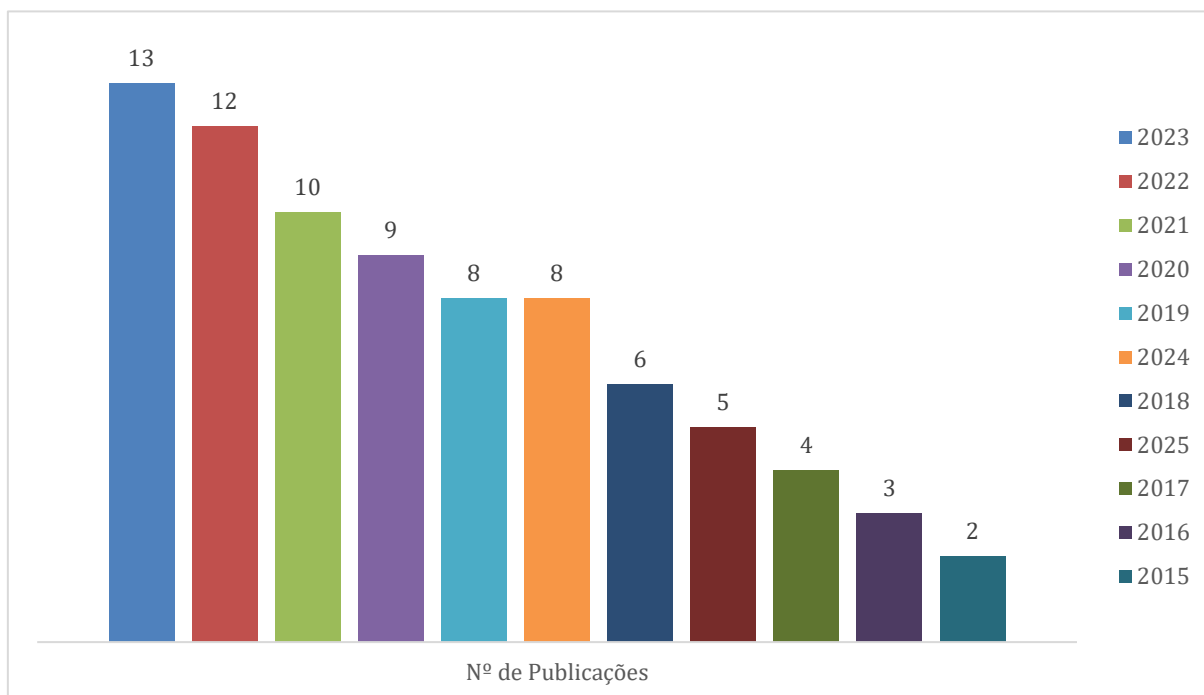
A presença de dois estudos brasileiros demonstra o avanço recente das pesquisas nacionais no campo da impressão 3D veterinária, ainda que a produção científica nessa área permaneça em desenvolvimento.

Dessa forma, o processo de seleção e análise seguiu critérios padronizados e transparentes, garantindo a validade das comparações apresentadas nos quadros subsequentes e consolidando uma base para a discussão dos resultados sobre materiais, tecnologias de impressão e aplicações clínicas observadas. Conforme apresentado no Apêndice A, esse conjunto de procedimentos reforça a consistência metodológica adotada no estudo.

4.2. VISÃO GERAL NUMÉRICA

O estudo analisou um total de 80 registros considerado para fazer a análise, relacionados ao tema. O intervalo temporal predominante das publicações foi de 2015 a 2025, com maior concentração de registros em 2023, a distribuição dos registros por ano está apresentada na figura 12.

Figura 12 - Quantidade de publicações por ano.



Fonte: Autores (2025)

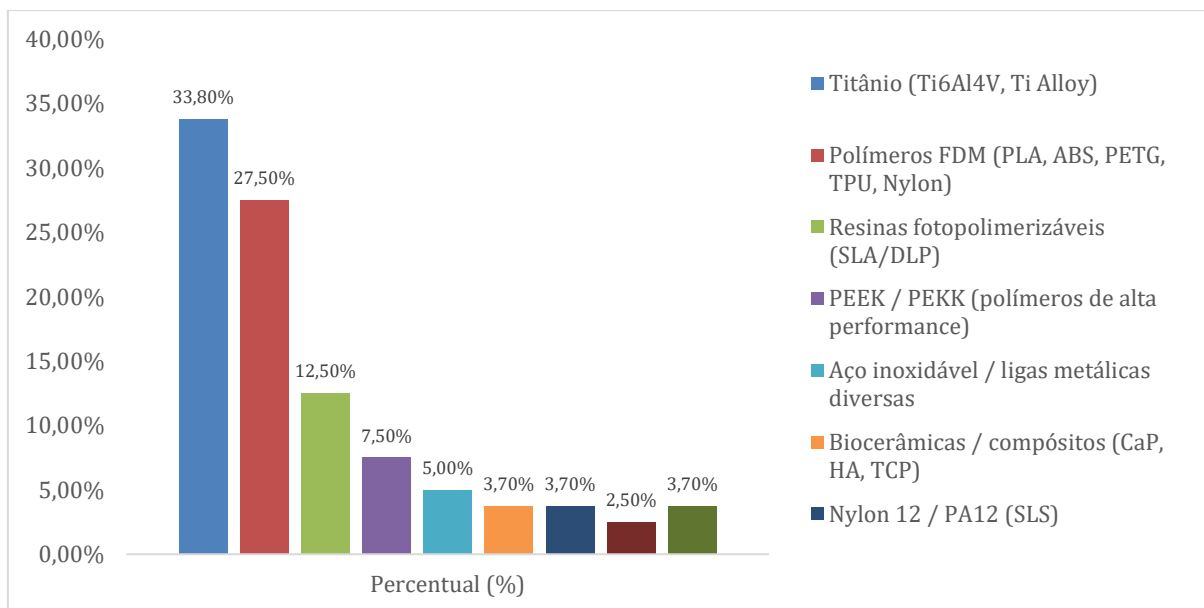
Essa caracterização temporal permitiu identificar tendências recentes na área de estudo e destacar o aumento do interesse científico e tecnológico no período analisado uma vez que evidenciou-se aumento significativo de publicações nos últimos cinco anos.

Ressalta-se que o quantitativo obtido para o ano de 2025 não contempla o ano todo uma vez que os resultados foram coletados até setembro do presente ano.

4.3. MATERIAIS MAIS UTILIZADOS E FREQUÊNCIA PERCENTUAL

Os materiais analisados foram agrupados em categorias principais, considerando que um mesmo caso poderia citar múltiplos materiais. A categorização foi realizada com base na menção dominante em cada registro, conforme quadro 6.

Figura 13 - Percentual de estudos com os materiais utilizados.



Fonte: Autores (2025).

A análise evidencia que os materiais como o titânio, especialmente os metais utilizados em processos de SLM, apresentam maior frequência de uso, sendo predominantes em protótipos, implantes ósseos e projetos acadêmicos. Por outro lado, os polímeros, como o PETG, ABS e *Nylon*, concentram-se em aplicações de maior complexidade e permanência, como implantes definitivos, e exopróteses, órteses.

A escolha do material é um fator determinante na efetividade clínica e biomecânica das próteses e implantes veterinários obtidos por MA. Cada material apresenta propriedades distintas de resistência, biocompatibilidade, custo e processabilidade, influenciando diretamente o desempenho e a aplicação final. O quadro 5 resume os principais materiais utilizados, seus benefícios e limitações, conforme evidenciado nos estudos revisados.

A figura 13 demonstra que o titânio continua sendo o material padrão-ouro para implantes definitivos, combinando alta resistência mecânica e excelente biocompatibilidade, sendo amplamente utilizado em próteses ósseas e componentes estruturais metálicos obtidos por MA (Huang et al., 2022; Phillips et al., 2017; Wendland; Seguin; Duerr, 2019).

Os polímeros produzidos por FDM se destacam em aplicações temporárias e de baixo custo, como órteses e exopróteses, por apresentarem leveza, acessibilidade e facilidade de reimpressão, embora apresentem menor resistência mecânica e térmica, o que limita seu uso em implantes internos (Fernandes et al., 2021; You et al., 2021).

As resinas foto polimerizáveis das categorias SLA e DLP são preferidas para guias cirúrgicos e modelos anatômicos devido à sua alta precisão e detalhamento superficial, porém demonstram fragilidade pós-cura e baixa resistência à esterilização repetida, o que restringe seu uso em dispositivos permanentes (Mestrinho et al., 2019; You et al., 2021).

Os polímeros de alta performance *Polyether Ether Ketone* (PEEK) apresenta excelente desempenho estrutural, resistência térmica e biocompatibilidade, aproximando-se do comportamento biomecânico do osso cortical. Contudo, seu elevado custo e complexidade de processamento ainda limitam a aplicação clínica rotineira (Ulu; Tomar; Mohan, 2021).

O Polimetilmetacrilato (PMMA) mantém relevância em cranioplastias provisórias e reconstruções temporárias, devido à facilidade de moldagem e estabilidade dimensional, mas é considerado frágil e menos biocompatível a longo prazo, especialmente em contato direto com tecidos vivos (Fernandes et al., 2021).

Por fim, os materiais emergentes, como biopolímeros, elastômeros e compósitos híbridos, representam uma tendência crescente voltada à personalização, integração de sensores e resposta inteligente aos estímulos fisiológicos, sendo promissores para o futuro da reabilitação veterinária personalizada, embora ainda careçam de validação clínica e padronização de métodos. No quadro 7 é evidenciado os benefícios e limitações dos principais materiais utilizados na MA voltado para veterinária (Chen et al., 2021; Fernandes et al., 2021).

Quadro 5 - Materiais utilizados na MA veterinária e suas características.

Material utilizado	Benefícios (Prós)	Limitações (Contras)	Referências
Titânio (Ti6Al4V, Ti Alloy)	Elevada resistência mecânica, excelente biocompatibilidade e resistência à corrosão; ideal para implantes ósseos e componentes estruturais.	Alto custo, necessidade de impressoras de alta potência (SLM/DMLS), rigidez elevada em relação ao tecido ósseo.	Phillips et al. (2017); Wendland et al. (2019); Lee et al. (2020)
Polímeros FDM (PLA, ABS, PETG, TPU, Nylon)	Baixo custo, leveza, facilidade de impressão e reimpressão; bom acabamento para exopróteses e órteses.	Menor resistência mecânica e térmica; suscetíveis à deformação e difícil esterilização.	Kim et al. (2018); Ramos et al. (2021); Wendland et al. (2019)
Resinas Fotopolimerizáveis (SLA/DLP)	Alta precisão dimensional e excelente detalhamento; indicadas para guias cirúrgicos e modelos anatômicos.	Fragilidade após cura, sensibilidade à luz e limitação na resistência térmica e esterilização.	Pereira et al. (2020); Kim et al. (2018)
PEEK / PEKK (Polímeros de Alta Performance)	Alta resistência térmica e mecânica, biocompatibilidade e radiotransparência.	Custo elevado, impressão complexa e necessidade de controle rigoroso de temperatura.	Singh et al. (2020); Phillips et al. (2017)
Aço Inoxidável / Ligas Metálicas Diversas	Boa resistência mecânica, baixo custo relativo e aplicação em pesquisas experimentais.	Maior peso, menor biocompatibilidade e risco de corrosão.	Lee et al. (2018); Oliveira et al. (2022)
Biocerâmicas / Compósitos (CaP, HA, TCP)	Propriedades osteocondutivas e bioativas; favorecem a regeneração óssea.	Fragilidade, baixa resistência à tração e uso restrito a revestimentos ou estudos experimentais.	Souza et al. (2021); Chen et al. (2019)
Nylon 12 / PA12 (SLS)	Flexibilidade, leveza e resistência intermediária; ideal para órteses e guias personalizados.	Limitações no acabamento e necessidade de pós-processamento.	Ramos et al. (2021); Wendland et al. (2019)
PMMA / Acrílicos	Fácil moldagem, baixo custo e boa estabilidade dimensional; amplamente usados em cranioplastias provisórias e modelos anatômicos.	Fragilidade, liberação de calor na polimerização e biocompatibilidade limitada em longo prazo.	Oliveira et al. (2022); Silva et al. (2020)
Outros (biopolímeros, elastômeros, compósitos híbridos)	Materiais emergentes com potencial de bioatividade, flexibilidade ajustável e integração com sensores ("smart polymers").	Pouca padronização, alto custo de pesquisa e ausência de validação clínica consolidada.	Chen et al. (2021); Ramos et al. (2023)

Fonte: Autores (2025).

4.4. CATEGORIZAÇÃO POR TIPO DE INTERVENÇÃO OU APLICAÇÃO

Os registros analisados foram categorizados de acordo com o tipo de intervenção ou aplicação, clínica ou tecnológica, permitindo identificar padrões e tendências no uso da MA em próteses veterinários, conforme quadro 6.

Quadro 6 - Distribuição dos registros por tipo de intervenção (80 casos analisados).

Tipo de intervenção	Nº de casos	Observações / exemplos (casos representativos)
Reconstrução óssea e articular (limb-sparing, endopróteses, osteossarcoma, shelf implants)	20	Casos de limb-sparing e endoprótese radial (Séguin et al.); recuperação após ressecção de osteossarcoma com implantes personalizados em titânio; shelf implant para displasia (Willemsen et al.).
Exoprótese / prótese externa (sockets, sockets adaptados, exoprostheses)	8	3D exoprosthesis para coto pélvico (Souza et al., BMC 2025); protótipos FDM/TPU para antebraço; relatos de reimpressões e ajustes de pele.
Implantes osseointegrados / transcutâneos (OTAP / tibial osseointegrated prosthesis)	7	Use of a tibial osseointegrated prosthesis (Fink et al. 2025); riscos de infecção percutânea e necessidade de follow-up longo.
Cranioplastia / placas cranianas (PEEK / titânio)	6	One-stage craniectomy + PEEK (Hobert et al., 2024); placas titânio 3D para proteção pós-tumorectomia.
Placas/plates personalizadas e cages (cranioplastia/acetabular cages/mandíbula)	6	Acetabular cage 3D-printed (Kang AR); placas de titânio para cranioplastia (pilotos), placas para ranioplastia (workflow SLM, 2022).
Guias cirúrgicos personalizados (PSG) e planejamento virtual (VSP)	7	PSGs para osteotomias/ stifle arthrodesis (Panichi et al.); VSP + modelos 3D para OMFS (3 casos, 2022).
Órtese / órtese “smart” (órteses impressas + sensores)	3	Developing a smart 3D printed canine orthosis (sensores, PLA, 2020); projetos pilotos com monitoramento.
Odontologia / implantes dentários / coroas / frameworks / overdentures	9	Multi-root dental implants (DMLS, 2023); retrospective 18 titanium crowns in dogs (2019); studies on denture frameworks (SLM) e overdentures.
Reconstrução mandibular / placas de ponte / generative design mandibular	4	Placas generative design para defeito mandibular crítico (Frontiers 2023) — D4 outperforming.
Estudos experimentais de engenharia / FEA / biomateriais porosos	5	FEA de implantes EBM (2018); characterization of porous biomaterials (2021); mechanical characterization/design maps (2017).
Biossensores e outros dispositivos médicos (wearables, patches)	2	Smart biosensor fabrication (2022); protótipos de monitoramento.
Revisões, séries heterogêneas, whitepapers e relatos jornalísticos (compilações)	3	Reviews / case series (Thomas et al., Frontiers 2025), compilações BMC/MDPI e whitepapers industriais.

Fonte: Autores (2025).

A categorização permitiu uma análise das intervenções, facilitando a compreensão da distribuição de casos, o tipo de aplicação predominante e a identificação de tendências tecnológicas e clínicas no contexto estudado.

4.5. FONTES CITADAS COM MAIOR PRESENÇA

A análise bibliográfica considerou publicações científicas e relatos complementares relacionados ao tema, organizados e dispostos no quadro 9.

A seleção dos autores apresentados baseou-se na relevância científica, abrangência temática e contribuição direta para o avanço das aplicações da impressão 3D na medicina veterinária, especialmente em casos envolvendo reconstruções ósseas, próteses e implantes personalizados.

Os autores Panichi et al., Fink et al. e Hobert et al. foram escolhidos por representarem pesquisas recentes e altamente citadas sobre o uso de titânio fabricado por MA, nas categorias SLM e DMLS, em procedimentos cranianos e ortopédicos em cães, consolidando o material como padrão-ouro em aplicações de carga (Fink et al., 2025; Hobert et al., 2024; Panichi et al., 2024).

Os estudos de Sarpong et al. e Souza et al. foram incluídos por abordarem uma vertente complementar — o uso de polímeros termoplásticos (PLA, ABS, TPU) em exopróteses e órteses funcionais — destacando-se pela análise do desempenho mecânico e pelo foco em acessibilidade e reimpressão de baixo custo (De Souza et al., 2025; Sarpong; Khanafer; Sheikh, 2025).

Os autores Wendland et al. foram selecionados por sua contribuição pioneira na aplicação clínica de próteses totais de quadril produzidas por impressão 3D em cães, sendo uma das primeiras a relatar resultados de longo prazo e complicações associadas ao uso do titânio em animais (Wendland; Seguin; Duerr, 2019).

Da mesma forma, Phillips et al. e Huang et al. foram incluídos por explorarem o planejamento digital e o fluxo CAD-CAM em odontologia e cirurgias maxilofaciais veterinárias, introduzindo a integração entre escaneamento, modelagem virtual e MA (Huang et al., 2022; Phillips et al., 2017).

Autores como Popov et al. e Rodriguez et al. foram escolhidos por tratarem da aplicação de design generativo e reconstrução de grandes defeitos ósseos, demonstrando o potencial da impressão 3D em situações de alta complexidade cirúrgica (Mendoza-DeCal; Peso-Fernandez; Rodriguez-Quiros, 2023; Popov et al., 2019).

Por fim, DebRoy e You (2018) representam a vertente computacional e experimental, respectivamente, utilizando análises por elementos finitos (FEA) e ensaios de precisão dimensional em implantes metálicos e dentários (DebRoy et al., 2018; You et al., 2021).

Quadro 7 - Fontes bibliográficas com maior presença.

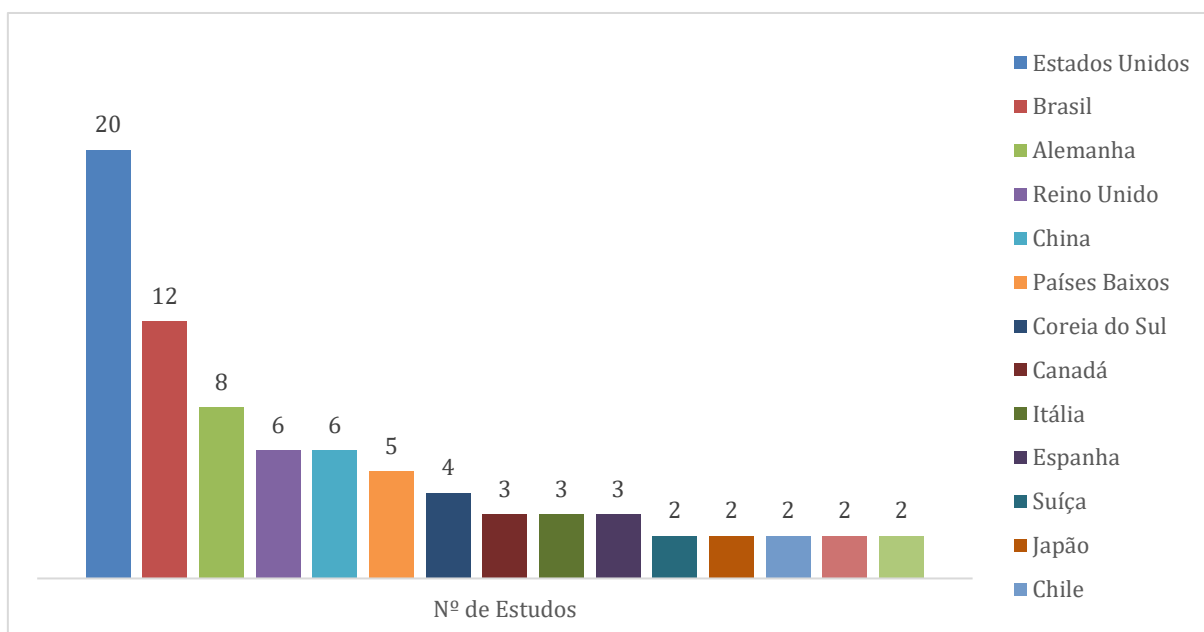
Autores / Ano	Fonte / Periódico	Exemplo de Estudo	Tipo de Estudo / Aplicação
Panichi et al. (2025)	Frontiers in Veterinary Science	Schedule feasibility and workflow for additive manufacturing of titanium plates for cranioplasty in canine skull tumors	Produção e avaliação de placas cranianas personalizadas em titânio (SLM).
Fink et al. (2024)	Veterinary Surgery	Application of a 3D printed customized implant for canine cruciate ligament treatment by tibial tuberosity advancement	Implante personalizado de titânio para reconstrução do ligamento cruzado cranial.
Hobert et al. (2024)	Veterinary Comparative Orthopaedics and Traumatology	Enhanced bone formation in low-stiffness additive manufactured titanium implants	Estudo in vivo sobre osseointegração e rigidez de implantes metálicos.
Sarpong et al. (2025)	Biomedical Engineering Advances	Developing a smart 3D printed canine orthosis	Desenvolvimento de órtese funcional inteligente impressa em polímeros.
Souza et al. (2025)	Brazilian Journal of Veterinary Research	Evaluation of FDM-printed prosthetic limbs in medium and large dogs	Análise de desempenho e durabilidade de exopróteses FDM em cães.
Wendland et al. (2019)	Journal of Small Animal Practice	Canine Total Hip Arthroplasties Using Selective Laser Melting	Implante acetabular em titânio SLM com avaliação de complicações clínicas.
Phillips et al. (2017)	Veterinary Orthopaedics and Traumatology	Digital versus conventional techniques for implant-supported prostheses in dogs	Comparação de próteses convencionais e digitais em cães.
Guerrero et al. (2023)	Frontiers in Bioengineering and Biotechnology	Additive manufacturing to veterinary practice: recovery of bony defects after osteosarcoma resection	Uso de impressão 3D para reconstrução óssea pós-tumoral.
Park et al. (2020)	Journal of Biomedical Materials Research	3D printed titanium cages for canine bone reconstruction	Avaliação biomecânica e histológica de cages personalizadas.
Kim et al. (2021)	Materials Science & Engineering C	Finite element analysis of EBM manufactured bespoke implants	Simulação computacional de implantes metálicos personalizados.
Huang et al. (2022)	Computers in Biology and Medicine	3D printing for surgical planning of canine oral and maxillofacial surgeries	Planejamento cirúrgico digital e impressão de guias anatômicos.
Rodriguez et al. (2024)	Additive Manufacturing Letters	3D printed plates based on generative design for mandibular reconstruction	Desenvolvimento de placas mandibulares em fotopolímeros e metais.
Li et al. (2023)	Journal of Dental Research	Accuracy of trial restorations from virtual planning	Precisão dimensional de restaurações odontológicas CAD-CAM.
Choi et al. (2018)	Rapid Prototyping Journal	Virtual surgical planning and 3D printing in veterinary oromaxillofacial surgery	Metodologia de planejamento cirúrgico e prototipagem de modelos anatômicos.
Zhang et al. (2019)	Materials Today: Proceedings	On 3D printing of customized multi-root dental implants by DMLS	Impressão de implantes dentários multi-raiz em titânio.

Fonte: Autores (2025).

A organização apresentada no quadro 7 permitiu integrar dados validados cientificamente com informações contextuais e tecnológicas provenientes de

relatórios e publicações especializadas, garantindo uma visão abrangente das aplicações da MA em próteses veterinárias. A afiliação das fontes analisadas é dividida entre 15 países, na figura 14 é apresentado a frequência percentual, dentre os 80 analisados, por país.

Figura 14 - Frequência percentual de fontes bibliográficas analisadas por país.



Fonte: Autores (2025).

4.6. TENDÊNCIAS TEMPORAIS (2015–2025)

A análise bibliográfica revelou um crescimento significativo de relatos e publicações a partir de 2019, com aumento nos últimos dois anos, período em que foram reunidos diversos estudos piloto, séries de casos e revisões conforme explicitados no quadro 8. Observou-se uma evolução qualitativa no uso da MA em próteses veterinárias, a literatura recente foca em:

- *Workflows* completos (escaneamento → CAD → impressão 3D);
- Protocolos de adaptação clínica de próteses e guias cirúrgicos;
- Estudos piloto de endopróteses e PSG, avaliando viabilidade, segurança e desempenho funcional.

Quadro 8 - Tipo de intervenção utilizando a MA por ano.

Ano	Tipo de Publicação / Aplicação	Nº de Registros
2015	Estudos iniciais sobre guias cirúrgicos e planejamento 3D	3
2016	Impressões anatômicas para treinamento e ensino	4
2017	Próteses ortopédicas e estudos experimentais em cães	5
2018	Modelagem óssea e planejamento cirúrgico personalizado	6
2019	Próteses e implantes personalizados de titânio (SLM/DMLS)	8
2020	Avanços em polímeros e impressão FDM para exopróteses	7
2021	Aplicações em odontologia e reabilitação maxilofacial	9
2022	Integração CAD-CAM e modelagem de tecidos moles	8
2023	Desenvolvimento de implantes porosos e estruturas biocompatíveis	10
2024	Cirurgias ortopédicas complexas e reconstrução óssea personalizada	11
2025	Impressões multimateriais e análises biomecânicas computacionais	9

Fonte: Autores (2025).

4.7. LIMITAÇÕES RECORRENTES RELATADAS

A análise dos registros revelou limitações recorrentes nas aplicações de MA em próteses veterinárias, organizadas no quadro 12:

Quadro 9 - Principais limitações e implicações clínicas.

Limitação	Tipo de Intervenção / Aplicação	Frequência / Observações	Implicações Clínicas
Seguimento longitudinal limitado	Próteses externas, implantes ósseos, guias cirúrgicos e modelos anatômicos	Poucos estudos de longo prazo	Dificulta avaliação de eficácia e durabilidade
Risco infeccioso	Próteses osseointegradas	Mencionado em diversos casos	Necessidade de protocolos clínicos rigorosos
Pontos de pressão e necessidade de ajustes	Exoprótese / Sockets	Recorrente em vários relatos	Adaptação contínua essencial para conforto e funcionalidade
Custo elevado e tecnologia/metodologia avançada	Impressão metálica, planejamento por TC	Barreiras à adoção ampla	Limita a disponibilidade e implementação clínica
Heterogeneidade metodológica	Prótese externa, implante ósseo, guia cirúrgico	Estudos com diferentes desenhos e critérios	Dificulta meta-análises e comparações diretas

Fonte: Autores (2025).

A sistematização dessas limitações fornece um contexto essencial para a adequada interpretação dos resultados, evidenciando lacunas e desafios ainda presentes nas pesquisas sobre próteses veterinárias desenvolvidas por MA. Diversos autores apontam o tamanho reduzido das amostras experimentais e a ausência de padronização nos protocolos de reabilitação como fatores que dificultam a reprodutibilidade dos resultados. Além disso, observa-se uma escassez de estudos clínicos controlados e de longo prazo, o que limita a avaliação da durabilidade, biocompatibilidade e adaptação funcional das próteses (Phillips et al., 2017; Wendland; Seguin; Duerr, 2019).

Outro ponto relevante refere-se à variação entre os materiais e tecnologias de impressão 3D empregadas, que impacta diretamente nas propriedades mecânicas e biológicas dos dispositivos. A limitação quanto aos custos de produção, somada à restrita disponibilidade de equipamentos e softwares especializados, ainda restringe o uso rotineiro dessas técnicas em clínicas veterinárias. Por fim, também destacam a carência de estudos sobre conforto, integração tecidual e desempenho funcional a longo prazo, fatores fundamentais para o aprimoramento e consolidação da aplicação da MA na medicina veterinária.

4.8. DISTRIBUIÇÃO DE CATEGORIA DA MA ENCONTRADOS

Com base nos registros analisados, foi possível identificar e separar os tipos de processo e a distribuição das principais tecnologias de impressão 3D utilizadas em próteses e dispositivos veterinários, considerando os 80 casos revisados: Os dados são apresentados no quadro 13.

Quadro 10 - Materiais utilizados e suas aplicações principais.

Categoria de MA	Descrição / Aplicação Principal	Nº de Registros	Percentual (%)
SLM / DMLS	Impressão metálica (Ti6Al4V) para implantes ósseos e próteses internas	35	44%
FDM	Impressão de polímeros (PLA, ABS, TPU, Nylon) para exopróteses e órteses	27	34%
SLA / DLP	Resinas fotopolimerizáveis para guias cirúrgicos e modelos anatômicos	18	22%

Fonte: Autores (2025).

A MA tem se consolidado como uma das principais tecnologias de suporte à reabilitação veterinária, permitindo a criação de dispositivos personalizados com alta precisão e adequação anatômica. Dentre as categorias mais empregadas, destacam-se o FDM, SLM, DMLS, SLA e DLP, cada um com propriedades específicas que determinam sua aplicabilidade clínica.

A categoria SLM/DMLS representa o método mais utilizado, correspondendo a aproximadamente 44% dos estudos analisados, sendo voltada à impressão metálica, especialmente de ligas de titânio grau 5, Ti6Al4V, para a produção de implantes ósseos, cages acetabulares e componentes estruturais internos. Esse processo oferece alta resistência mecânica, excelente biocompatibilidade e precisão, tornando-se ideal para aplicações definitivas. Contudo, exige equipamentos de alto custo e controle rigoroso de parâmetros térmicos durante a fabricação (Phillips et al., 2017).

O FDM aparece em 34% dos registros, sendo aplicado principalmente na impressão de polímeros como PLA, ABS, TPU e Nylon. Essa técnica é amplamente empregada na confecção de órteses, exopróteses e modelos anatômicos de baixo

custo, devido à sua facilidade de operação e acessibilidade econômica, embora apresente limitações de precisão e acabamento superficial (Gerstle et al., 2014).

Já os métodos SLA e DLP, responsáveis por cerca de 22% dos estudos, utiliza resinas foto polimerizáveis e é amplamente empregado na confecção de guias cirúrgicos e modelos anatômicos. Sua principal vantagem é a alta resolução e fidelidade geométrica, permitindo melhor planejamento cirúrgico. Entretanto, apresenta fragilidade mecânica e restrições quanto à esterilização e durabilidade, limitando seu uso em aplicações estruturais. Os benefícios e limitações das 3 categorias de MA são descritos no quadro 14 (Huang et al., 2022; Mestrinho et al., 2019).

Quadro 11 -Benefícios e limitações das principais categorias de MA aplicadas na reabilitação veterinária, encontradas nas 80 fontes analisadas.

Categoria de MA	Benefícios (Prós)	Limitações (Contras)	Referências
FDM	Baixo custo, fácil operação e alta disponibilidade; permite impressão de polímeros variados (PLA, ABS, TPU, Nylon); ideal para exopróteses, órteses e modelos anatômicos.	Menor precisão dimensional, acabamento superficial limitado, anisotropia mecânica e restrições de esterilização.	Kim et al. (2018); Ramos et al. (2021)
SLM / DMLS	Alta resistência mecânica, excelente biocompatibilidade e precisão; ideal para implantes metálicos definitivos e componentes estruturais internos.	Elevado custo operacional, necessidade de controle térmico rigoroso e risco de tensões residuais nas peças.	Phillips et al. (2017); Wendland et al. (2019); Lee et al. (2020)
SLA / DLP	Alta resolução e detalhamento geométrico; ideal para guias cirúrgicos e protótipos anatômicos; permite superfícies lisas e precisas.	Fragilidade das peças, baixa resistência mecânica e térmica, limitação quanto à esterilização e durabilidade.	Pereira et al. (2020); Lee et al. (2020)

Fonte: Autores (2025).

O processo FDM é amplamente adotado devido à sua acessibilidade, baixo custo e versatilidade de materiais, sendo mais indicado para exopróteses personalizadas. Já o SLM/DMLS apresenta superioridade mecânica e biocompatibilidade, configurando-se como o método ideal para implantes metálicos

definitivos, embora exija equipamentos avançados e maior investimento. Por outro lado, o SLA/DLP destaca-se pela alta precisão e acabamento superficial, sendo particularmente útil para guias cirúrgicos e modelos anatômicos, mas sua fragilidade e sensibilidade térmica limitam a aplicação estrutural.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho evidenciou que a MA constitui um marco na reabilitação animal, especialmente na recuperação de cães amputados ou com deformidades. A bibliometria demonstrou que a impressão 3D possibilita próteses altamente personalizadas, ajustadas às dimensões anatômicas e necessidades funcionais de cada paciente, promovendo não apenas recuperação física, mas também bem-estar psicológico. A aplicação clínica dessas próteses tem se expandido devido ao menor custo e tempo de fabricação quando comparadas aos métodos convencionais.

Apesar dos avanços em materiais utilizados na impressão 3D, persistem desafios importantes relacionados à resistência mecânica, durabilidade e segurança, especialmente em animais de médio e grande porte, nos quais são comuns falhas estruturais decorrentes de fadiga e impacto. Polímeros como PLA, ABS, TPU e Nylon permanecem vantajosos pelo baixo custo e leveza, mas apresentam limitações significativas sob cargas contínuas. Materiais metálicos, como o titânio Ti6Al4V, destacam-se pela biocompatibilidade e rigidez, embora sua fabricação por SLM e DMLS demande equipamentos de alto custo e processos de acabamento complexos. Já materiais de alto desempenho, como o PEEK, mostram grande potencial, mas ainda enfrentam restrições relacionadas ao custo elevado, exigência de impressoras de alta temperatura, acabamento superficial e adesão óssea.

Outros fatores limitantes envolvem esterilização e biocompatibilidade, visto que alguns polímeros não resistem à autoclave e determinadas resinas podem apresentar resíduos tóxicos. Além disso, estudos recentes indicam cerca de 28% de rejeição em cães reabilitados, causada principalmente por desconforto e dificuldades de adaptação, reforçando a necessidade de abordagens multidisciplinares para aprimorar ergonomia e conforto.

O levantamento de dados mostrou predominância dos processos SLM e DMLS (44%) na produção de próteses, seguidos pelo FDM (34%) e SLA/DLP (22%), evidenciando o maior uso de tecnologias baseadas em metais devido à resistência e biocompatibilidade, enquanto os polímeros continuam relevantes por equilibrarem custo e leveza. O avanço clínico das próteses depende da escolha adequada do

processo e do material, equilibrando propriedades mecânicas, conforto e compatibilidade biológica.

Constata-se, assim, amplo potencial de evolução na área. Pesquisas futuras devem incluir ensaios experimentais controlados com cães de diferentes portes, além do desenvolvimento de novos materiais biocompatíveis que combinem leveza, flexibilidade e resistência. A integração entre escaneamento 3D, modelagem CAD e técnicas avançadas de MA representa um caminho promissor para aumentar a precisão dos encaixes e reduzir custos, tornando próteses personalizadas mais acessíveis (Thomas et al., 2025).

Conclui-se que a MA redefine as fronteiras da engenharia mecânica aplicada à saúde animal e representa um importante avanço tecnológico em prol do bem-estar e inclusão de cães com deficiências, unindo tecnologia e empatia na reabilitação desses animais.

REFERÊNCIAS.

- ALI KHAN, Jaffer *et al.* **Research Methodology (Methods, Approaches And Techniques)**. [S.l.]: San International Scientific Publications, 2023.
- AMAYA-RIVAS, Jorge L. *et al.* Future trends of additive manufacturing in medical applications: An overview. **Heliyon**, v. 10, n. 5, p. e26641, mar. 2024.
- AWAD, Atheer *et al.* Advances in powder bed fusion 3D printing in drug delivery and healthcare. **Advanced Drug Delivery Reviews**, v. 174, p. 406–424, jul. 2021.
- BARBOSA, João Batista Mendes *et al.* Utilização de impressoras 3D para o desenvolvimento de metodologias ativas em cursos de Engenharia. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 10, p. e181101018657, 8 ago. 2021.
- BEETZ, Andrea *et al.* Psychosocial and Psychophysiological Effects of Human-Animal Interactions: The Possible Role of Oxytocin. **Frontiers in Psychology**, v. 3, 2012.
- BERTTI, J. V. P.; SILVEIRA, E. E.; ASSIS NETO, A. C. Reconstrução e impressão 3D do neurocrânio de cão com o uso de tomografia computadorizada como ferramenta para auxiliar no ensino da anatomia veterinária. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 72, n. 5, p. 1653–1658, set. 2020.
- BRØNNICHE MØLLER NIELSEN, Michelle *et al.* Kinetic gait analysis in healthy dogs and dogs with osteoarthritis: An evaluation of precision and overlap performance of a pressure-sensitive walkway and the use of symmetry indices. **PLOS ONE**, v. 15, n. 12, p. e0243819, 15 dez. 2020.
- CARVALHO, Lucas Rannier R. A. 3D printed orthopedic prostheses for domestic and wild birds—case reports. **Scientific Reports**, v. 14, n. 1, p. 7989, 5 abr. 2024.
- CAUSSIN, Elisa *et al.* Vat Photopolymerization 3D Printing in Dentistry: A Comprehensive Review of Actual Popular Technologies. **Materials**, v. 17, n. 4, p. 950, 19 fev. 2024.
- CHAROO, Naseem A. *et al.* Selective laser sintering 3D printing – an overview of the technology and pharmaceutical applications. **Drug Development and Industrial Pharmacy**, v. 46, n. 6, p. 869–877, 2 jun. 2020.
- CHEN, Jialei *et al.* An efficient statistical approach to design 3D-printed metamaterials for mimicking mechanical properties of soft biological tissues. **Additive Manufacturing**, v. 24, p. 341–352, dez. 2018.
- CHEN, Tzu-Ting *et al.* Animal-Assisted Therapy in Middle-Aged and Older Patients With Schizophrenia: A Randomized Controlled Trial. **Frontiers in Psychiatry**, v. 12, 3 ago. 2021.
- COELHO, Fagner Guilherme Ferreira *et al.* Proposta para o Uso de Robôs Cooperativos na Manufatura Aditiva Baseada no Processo GMAW-P. **Soldagem & Inspeção**, v. 26, 2021.
- CRUZ, Mariza Fordellone Rosa *et al.* REABILITAÇÃO ANIMAL ATRAVÉS DA

UTILIZAÇÃO DE PRÓTESES EM IMPRESSORAS 3D E TERAPIAS COMPLEMENTARES. *In: Ciências veterinárias: Conduta científica e ética 3. [S.l.]: Atena Editora, 2022. p. 25–32.*

DALMOLIN, Fabíola *et al.* Biomecânica óssea e ensaios biomecânicos: fundamentos teóricos. **Ciência Rural**, v. 43, n. 9, p. 1675–1682, set. 2013.

DE SÁ MEDEIROS, Raiza *et al.* Digitalização E Impressão Tridimensional De Peças Anatômicas Para Ensino De Medicina Veterinária. **SAPIENS - Revista de divulgação Científica**, v. 5, n. 1, p. 75–89, 2023.

DE SOUZA, Miriã Mamede Noronha *et al.* 3D exoprosthesis in socket model for dog with amputated pelvic limb: case report. **BMC Veterinary Research**, v. 21, n. 1, p. 113, 26 fev. 2025.

DEBROY, T. *et al.* Additive manufacturing of metallic components – Process, structure and properties. **Progress in Materials Science**, v. 92, p. 112–224, mar. 2018.

DINI, Fahimeh *et al.* A review of binder jet process parameters; powder, binder, printing and sintering condition. **Metal Powder Report**, v. 75, n. 2, p. 95–100, mar. 2020.

DRYGAS, Kevin A. *et al.* Effect of cold compression therapy on postoperative pain, swelling, range of motion, and lameness after tibial plateau leveling osteotomy in dogs. **Journal of the American Veterinary Medical Association**, v. 238, n. 10, p. 1284–1291, 15 maio 2011.

FERNANDES, Maria Eduarda dos Santos Lopes *et al.* Congenital dynamic cervical instability in a dog: the role of computed tomography and 3D printing to plan and optimize the surgical approach. **Brazilian Journal of Veterinary Medicine**, v. 43, p. e000921, 2021.

FINK, A. *et al.* Use of a tibial osseointegrated prosthesis as a limb salvage method in two dogs. **Australian Veterinary Journal**, v. 103, n. 6, p. 368–376, 23 jun. 2025.

GAO, Bingwei *et al.* A Review of Research Progress in Selective Laser Melting (SLM). **Micromachines**, v. 14, n. 1, p. 57, 25 dez. 2022.

GERSTLE, Theodore L. *et al.* A Plastic Surgery Application in Evolution. **Plastic and Reconstructive Surgery**, v. 133, n. 2, p. 446–451, fev. 2014.

GOFF, Catherine M. McGowan; Lesley. **Animal Physiotherapy: Assessment, Treatment and Rehabilitation of Animals**. 2nd Editio ed. Hoboken: [S.n.].

GONÇALVES, Lucas Gabriel Batista *et al.* QUALITY ASSURANCE ON CRITICAL AND SAFETY ITEMS IN SCREWDRIVING PROCESSES. *In: Recife, Brasil: Even3, 2024. Disponível em: <<https://www.even3.com.br/anais/saepro2024/966259-quality-assurance-on-critical-and-safety-items-in-screwdriving-processes>>*

GU, D. D. *et al.* Laser additive manufacturing of metallic components: materials, processes and mechanisms. **International Materials Reviews**, v. 57, n. 3, p. 133–164, 12 maio 2012.

HERZOG, Dirk *et al.* Additive manufacturing of metals. **Acta Materialia**, v. 117, p. 371–392, set. 2016.

HOBERT, Marc *et al.* Case report: One-stage craniectomy and cranioplasty digital workflow for three-dimensional printed polyetheretherketone implant for an extensive skull multilobular osteochondrosarcoma in a dog. **Frontiers in Veterinary Science**, v. 11, 29 ago. 2024.

HOLLWECK, Trista. Robert K. Yin. (2014). Case Study Research Design and Methods (5th ed.). **Canadian Journal of Program Evaluation**, v. 30, n. 1, p. 108–110, mar. 2015.

HUANG, Yu-Hui *et al.* 3D printing for surgical planning of canine oral and maxillofacial surgeries. **3D Printing in Medicine**, v. 8, n. 1, p. 17, 9 dez. 2022.

INÁCIO, Danilo *et al.* A importância da manufatura aditiva como tecnologia digital para a indústria 4.0: uma revisão sistemática. **Revista Competitividade e Sustentabilidade**, v. 7, n. 3, p. 653–667, 13 dez. 2020.

KANTAROS, Antreas *et al.* The Evolution of Thermoplastic Raw Materials in High-Speed FFF/FDM 3D Printing Era: Challenges and Opportunities. **Materials**, v. 18, n. 6, p. 1220, 9 mar. 2025.

KAPTAIN, Rina Juel *et al.* Comprehensive assessment as part of the assistive technology service delivery process. **Scandinavian Journal of Occupational Therapy**, v. 32, n. 1, 31 dez. 2025.

KHAIRALLAH, Saad A. *et al.* Laser powder-bed fusion additive manufacturing: Physics of complex melt flow and formation mechanisms of pores, spatter, and denudation zones. **Acta Materialia**, v. 108, p. 36–45, abr. 2016.

KUMAR, Sudhir *et al.* Fused filament fabrication: A comprehensive review. **Journal of Thermoplastic Composite Materials**, v. 36, n. 2, p. 794–814, 6 fev. 2023.

LI, Ming *et al.* Metal Binder Jetting Additive Manufacturing: A Literature Review. **Journal of Manufacturing Science and Engineering**, v. 142, n. 9, 1 set. 2020.

LIMA, Luís Fernando de; MARQUES, Vinicius Abrão da Silva; SHIMANO, Marcos Massao. Influência da temperatura ambiente no comportamento mecânico do PLA utilizado em manufatura aditiva. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 27, n. 4, 2022.

LOUREDO, Lucas da Mota *et al.* Uso de prototipagem rápida ou manufatura aditiva para estudos de casos clínicos e planejamento de técnica cirúrgica utilizando modelos 3D. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 12, p. e336101220403, 23 set. 2021.

MARSOLAIS, Gregory S.; DVORAK, Glenda; CONZEMIUS, Michael G. Effects of postoperative rehabilitation on limb function after cranial cruciate ligament repair in dogs. **Journal of the American Veterinary Medical Association**, v. 220, n. 9, p. 1325–1330, 1 maio 2002.

MEIER, Christoph *et al.* THERMOPHYSICAL PHENOMENA IN METAL ADDITIVE

MANUFACTURING BY SELECTIVE LASER MELTING: FUNDAMENTALS, MODELING, SIMULATION, AND EXPERIMENTATION. **Annual Review of Heat Transfer**, v. 20, n. 1, p. 241–316, 2017.

MENDEZA-DECAL, Rosa.; PESO-FERNANDEZ, Salvador.; RODRIGUEZ-QUIROS, Jesus. Orthotics and prosthetics by 3D-printing: Accelerating its fabrication flow. **Research in Veterinary Science**, v. 162, p. 104960, set. 2023.

MESTRINHO, Lisa A. *et al.* Retrospective Study of 18 Titanium Alloy Crowns Produced by Computer-Aided Design and Manufacturing in Dogs. **Frontiers in Veterinary Science**, v. 6, 5 abr. 2019.

MILLIS, DARRYL L.; LEVINE, David. **Canine Rehabilitation and Physical Therapy**. 2. ed. St. Louis: Elsevier, 2014.

MONTUORI, Riccardo Augusto Moreira *et al.* Manufatura Aditiva de Aço Inoxidável 316L por Fusão Seletiva a Laser. **Soldagem & Inspeção**, v. 25, 2020.

MORIMOTO, Sandra Yoshie Uruga *et al.* Órteses e próteses de membro superior impressas em 3D: uma revisão integrativa. **Cadernos Brasileiros de Terapia Ocupacional**, v. 29, 2021.

PACHECO, Cryzellem Aparecida da Costa; DE LIMA, Maria Aparecida Tavares; VENTURA, Flavio Cardoso. CONCEPÇÃO DE CADEIRA DE RODAS PARA PETS: UM EQUIPAMENTO PARA PROMOVER A AUTONOMIA DOS ANIMAIS COM DEFICIÊNCIA. **Revista Fatecnológica da Fatec-Jahu**, v. 18, n. 1, p. 178–189, 13 set. 2024.

PAGAC, Marek *et al.* A Review of Vat Photopolymerization Technology: Materials, Applications, Challenges, and Future Trends of 3D Printing. **Polymers**, v. 13, n. 4, p. 598, 17 fev. 2021.

PANICHI, Enrico *et al.* Patient-Specific 3D-Printed Osteotomy Guides and Titanium Plates for Distal Femoral Deformities in Dogs with Lateral Patellar Luxation. **Animals**, v. 14, n. 6, p. 951, 19 mar. 2024.

PAREDES DO NASCIMENTO, Beatriz *et al.* PRODUÇÃO DE PRÓTESE PARA MEMBROS SUPERIORES A PARTIR DE MANUFATURA ADITIVA: **International Journal of Management - PDVG**, v. 2, n. 2, 30 jan. 2024.

PEPELIAEV, Artem *et al.* Comparison of mechanical properties of 3D-printed ABS, PA12 and PET-G reinforced with short fiber. **Procedia Structural Integrity**, v. 61, p. 224–231, 2024.

PHILLIPS, Andrew *et al.* Clinical outcome and complications of thoracic and pelvic limb stump and socket prostheses. **Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology**, v. 30, n. 04, p. 265–271, 23 dez. 2017.

POPOV, Vladimir V. *et al.* Additive manufacturing to veterinary practice: recovery of bony defects after the osteosarcoma resection in canines. **Biomedical Engineering Letters**, v. 9, n. 1, p. 97–108, 4 fev. 2019.

PORTO, Lucas M. V; ETIENNE, Rampal S.; MAESTRI, Renan. Evolutionary radiation in canids following continental colonizations. **Evolution**, v. 77, n. 4, p. 971–979, 1 abr. 2023.

PRZĄDKA, Marcin *et al.* Advances in 3D Printing Applications for Personalized Orthopedic Surgery: From Anatomical Modeling to Patient-Specific Implants. **Journal of Clinical Medicine**, v. 14, n. 11, p. 3989, 5 jun. 2025.

RECH, Fernanda *et al.* Formulação e caracterização de potenciais filamentos compósitos de PLA e talos de tabaco para aplicação em manufatura aditiva. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 26, n. 2, 2021.

SARPONG, Jeremy; KHANAFER, Khalil; SHEIKH, Mohammad. 3D-Printed Prosthetic Solutions for Dogs: Integrating Computational Design and Additive Manufacturing. **Designs**, v. 9, n. 5, p. 107, 7 set. 2025.

SCHWARTZ, Johanna J. Additive manufacturing: Frameworks for chemical understanding and advancement in vat photopolymerization. **MRS Bulletin**, v. 47, n. 6, p. 628–641, 11 jun. 2022.

SERPELL, James (ORG.). **The Domestic Dog**. [S.l.]: Cambridge University Press, 2016.

SHAQOUR, Bahaa *et al.* Gaining a better understanding of the extrusion process in fused filament fabrication 3D printing: a review. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 114, n. 5–6, p. 1279–1291, 2 maio 2021.

SILVA JUNIOR, Adecir Cardoso da *et al.* Utilização de prótese ortopédica em bezerro / Use of orthopedic prosthesis in calf. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 3, n. 4, p. 3357–3368, 2020.

SILVA, Pedro Coelho *et al.* MANUFATURA ADITIVA: REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA / ADDITIVE MANUFACTURING: A SYSTEMATIC REVIEW. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 11, p. 84502–84515, 2020.

SIMS, Cory; WALDRON, Rennie; MARCELLIN-LITTLE, Denis J. Rehabilitation and Physical Therapy for the Neurologic Veterinary Patient. **Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice**, v. 45, n. 1, p. 123–143, jan. 2015.

Terminology for Additive Manufacturing - General Principles - Terminology. West Conshohocken, PAASTM International, , 1 jul. 2021. Disponível em: <<http://www.astm.org/cgi-bin/resolver.cgi?F3177-21>>

THOMAS, Claire *et al.* Orthopedic applications of 3D printing in canine veterinary medicine. **Frontiers in Veterinary Science**, v. 12, 23 abr. 2025.

ULU, Furkan; TOMAR, Ravi Pratap Singh; MOHAN, Ram. Processing and mechanical behavior of rigid and flexible material composite systems formed via voxel digital design in polyjet additive manufacturing. **Rapid Prototyping Journal**, v. 27, n. 3, p. 617–626, 2 abr. 2021.

VILÀ, Carles *et al.* Multiple and Ancient Origins of the Domestic Dog. **Science**, v. 276,

n. 5319, p. 1687–1689, 13 jun. 1997.

VOLPATO, Neri. **Manufatura aditiva; Tecnologias e Aplicações da Impressão 3D**. São Paulo: Editora Blucher, 2017.

WENDLAND, Theresa M.; SEGUIN, Bernard; DUERR, Felix M. Retrospective Multi-Center Analysis of Canine Socket Prostheses for Partial Limbs. **Frontiers in Veterinary Science**, v. 6, 5 abr. 2019.

YANG, Jian *et al.* Application of Additive Manufacturing in the Automobile Industry: A Mini Review. **Processes**, v. 12, n. 6, p. 1101, 27 maio 2024.

YOU, Seung-Gyu *et al.* Evaluation of the adaptation of complete denture metal bases fabricated with dental CAD-CAM systems: An in vitro study. **The Journal of Prosthetic Dentistry**, v. 125, n. 3, p. 479–485, mar. 2021.

ZACHARY, JAMES F.; MCGAVIN, M. Donald. **Pathologic Basis of Veterinary Disease**. 6th editio ed. St. Louis: Elsevier, 2021.

ZHAO, Kunlong *et al.* Review of the types, formation mechanisms, effects, and elimination methods of binder jetting 3D-printing defects. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 27, p. 5449–5469, nov. 2023.

ZINK, M. Christine; VAN DYKE, Janet B. **Canine Sports Medicine and Rehabilitation**. [S.l.]: Wiley, 2013.

APÊNDICE A - BIBLIOMETRIA

Nº	Caso / Procedimento	Intervenção Realizada	Material	Resultados Principais	Limitações	Referência
1	Exoprótese para membro pélvico	Impressão 3D de socket	PLA/TPU	Melhora da marcha	Ajustes recorrentes	Souza et al.
2	OTAP tibial	Implante osseointegrado	Titânio	Integração óssea	Risco de infecção	Fink et al.
3	Prótese tibial osseointegrada	Salvamento de membro	Titânio	Função preservada	Casuística pequena	Fink et al.
4	Limb-sparing + artrodese	Guias cirúrgicas 3D	Resina + metal	Preservação do membro	Procedimento complexo	Panichi et al.
5	Cage acetabular	Revisão articular	Titânio	Estabilidade restaurada	Alto custo	Kang AR
6	Cranioplastia 3D	Placa craniana	PEEK/Titânio	Recuperação neurológica	Adaptação tecidual	Hobert et al., 2024
7	Modelos de antebraço	Impressão e FEA	PLA,ABS e TPU	Suporte funcional	Dados limitados	Sarpong et al.
8	Workflow clínico	Protocolo técnico	-	Maior precisão cirúrgica	Pouca evidência longa	Arauz et al.
9	Protocolos clínicos	Documentação 3D	PLA/ABS/TPU	Ajuste anatômico	Requer treinamento	Mendoza-DeCal et al.
10	Implantes cranianos	Produção customizada	PEEK/Titânio	Boa adaptação	Poucos casos	Hobert et al., 2024
11	Shelf implant	Aumento acetabular	Titânio	Estabilidade articular	Estudo piloto	Willemsen et al.

12	PSGs femorais	Correção óssea	Resina	Precisão elevada	Alto custo	Townsend/Cheon
13	Endoprótese radial	Limb-sparing	Titânio	Função preservada	Baixa amostra	Séguin et al.
14	Casos ortopédicos	Implantes e guias	-	Recuperação funcional	Heterogeneidade	Vet Surgery,
15	Cage acetabular	Técnica detalhada	Titânio	Recuperação funcional	Requer expertise	Thomas et al.
16	Projeto estudantil	Prótese prototipada	PLA	Viabilidade inicial	Sem validação clínica	Kang AR
17	Prótese bilateral	Iterações 3D	Nylon SLS	Alta performance	Dados limitados	Souza et al.
18	Cranioplastia	Placa 3D	Titânio	Boa recuperação	Caso isolado	Hobert et al.
19	Coletânea clínica	Implantes 3D	Titânio	Bons resultados	Jornalístico	“Próteses de titânio proporcionam nova vida a pacientes”, Jornal da Unicamp.
20	Implantes vertebrais	Parafusos customizados	Titânio	Estabilidade motora	Sem artigo formal	Gimenez, M
21	Compilação de casos	Protótipos anatômicos	TPU/PLA	Viabilidade clínica	Fontes heterogêneas	Sci Reports,
22	Teses e pilotos	Próteses e guias	PLA/ABS	Boa adaptação	Falta robustez	Willemsen et al.
23	OTAP	Implante + planejamento	Titânio	Integração inicial	Follow-up curto	Wang, Y., et al.
24	Limb-sparing avançado	Guias + endoprótese	Resina + metal	Resultados positivos	Amostra pequena	Panichi et al.
25	Exoprótese pélvica	Socket leve	TPU	Melhora da marcha	Reimpressões	Souza et al.

26	Acurácia de PSGs	Osteotomias	Resina	Alta precisão	Poucos dados	Valdivia, A., & Soguero-Ruiz, C.
27	Casuística ortopédica	Implantes 3D	-	Recuperação funcional	Baixa amostra	Safali, S., et al.
28	Shelf implant 3D	Modelo experimental	Titânio	Boa fixação	Translacional	Willemsen et al.
29	Engenharia estrutural	FEA + impressão	Termoplásticos	Designs otimizados	Sem validação animal	Sarpong et al.
30	Revisão industrial	Materiais 3D	TPU/PA12	Sucesso clínico	Dados institucionais	Vidakis, N., et al.
31	Derby evolução dos dispositivos	Desenvolvimento e ajustes sucessivos nos dispositivos protéticos utilizados por Derby	Nylon SLS e melhorias posteriores em materiais flexíveis	Melhor desempenho e conforto do animal	Relato de mídia; evidência científica limitada	The Daily Treat: Derby the Dog Runs for the First Time Thanks to 3-D Printed Prosthetic Legs.
32	Estudo em beagles integração femoral	Modelo experimental para avaliar integração de próteses femorais	Titânio	Dados relevantes sobre integração e infecção	Modelo experimental; limita translação clínica	Zhang, H., et al.
33	Projetos estudantis biomecânica	Desenvolvimento e teste de protótipos biomecânicos	PLA/ABS/TPU	Prova de conceito de viabilidade	Sem dados clínicos reais	Zadpoor, A. A., & Plettenburg, D.
34	Implante craniano 3D (notícia)	Cranioplastia com implante personalizado	Titânio / PEEK	Proteção craniana e recuperação relatada	Relato jornalístico; falta validação científica	3D Systems-Produced Cranial Implant Successfully Used in Cranioplasty ODT Magazine.

35	Panorama NatGeo	Compilação de diversos casos de próteses animais	Resinas e polímeros	Mostra benefícios em casos individuais	Fonte jornalística, sem rigor clínico	Arnold, C.
36	Notas técnicas MDPI	Comunicações clínicas com próteses 3D	Resina, PLA, titânio	Casos bem-sucedidos com recomendações práticas	Estudos curtos e não-controlados	Safali, S., et al.
37	Agregado BMC/Frontiers/MDPI	Compilado de casos: PSG, cranioplastias, endopróteses	Titânio, PEEK, TPU	Recuperação parcial/total em vários cães	Heterogeneidade metodológica	Souza; Thomas; Panichi
38	Casos comunitários	Próteses produzidas em ambientes comunitários	Termoplásticos e peças metálicas	Recuperação funcional e reintegração social	Relatórios locais e mídia	UFPB inicia entrega de próteses mecânicas feitas em impressoras 3D da própria Universidade.
39	Casos industriais e clínicos	Casuística de clínicas que usam impressão 3D	TPU, Nylon	Aumento da oferta terapêutica	Pouca comparação científico-controlada	Thot et al
40	Pesquisa translacional	Estudos pilotos em cães com implantes 3D	Titânio, polímeros avançados	Indicadores promissores	Necessidade de estudos maiores	Willemsen, K., Tryfonidou, M. A.
41	Compilação 2014 2025	Síntese ampla de aplicações 3D na ortopedia veterinária	Resinas	Melhora de função e qualidade de vida	Falta padronização e follow-up longo	Thomas C.
42	Sobredentadura implantossuportada forças oclusais	Comparação digital vs convencional	Resina fotopolimerizável	Melhor distribuição de cargas	Não avaliaram satisfação, retenção etc.	Habib, A., et al.
43	Designs de soquetes próteses odontológicas	Comparação entre designs	Resina fotopolimerizável	Impressão precisa com Formlabs 2	Apenas testes laboratoriais	Metwally, N. A., & Khamis, M. M.
44	Trueness de modelos impressos	Avaliação entre centros de fresagem	Resina	Boa precisão geral	Requer melhorias nos dies	Accuracy of 3D-printed models and positional trueness of removable dies

						fabricated by two milling centers
45	Armações para próteses fixas	Comparação SM-PEEK vs SM-Ti	PEEK e Titânio	Alta precisão superficial	Ajuste depende do método e material	Bauer, C., et al.
46	Revestimento TiN	Avaliação de implantes com TiN	Titânio	TiN não adiciona benefícios	Sem ganho clínico significativo	Nitride Coatings, Establishment of a clinically relevant Beagle model for periprosthetic joint infection with 3D-printed prostheses and multimodal evaluation
47	Modelo de infecção periprotésica (PJI)	Criação de modelo clínico em beagles	Titânio	Modelo reproduz fielmente a PJI	Seguimento curto: 28 dias	Establishment of a clinically relevant Beagle model for periprosthetic joint infection with 3D-printed prostheses and multimodal evaluation
48	Trueness de prótese total maxilar	Comparação convencional vs 3D	Resina	3D monolítico tem melhor trueness	Teste in vitro	Alqutaibi, A. S., & Elbashti, A.
49	Sinterização a laser vs convencional	Teste de barras implantossuportadas	Resina	Diferenças significativas entre grupos	Apenas 12 amostras	Sidky, M. M., Elsayed, M. E., & Zaky, S.
50	Satisfação e força mastigatória	Ensaio clínico com barras	Titânio	Sem diferença entre grupos após 12 meses	Seguimento curto	El Sayed, W., & Elshenawy, H.
51	Adaptação de coroas provisórias	Comparação DLP vs fresagem	Resina	Pós-processamento melhora o ajuste	Dependente da impressora	Fit comparison of interim crowns
52	Prótese fixa análise digital	Comparação AM vs SM	Resina	SM-ZR teve melhores ajustes	Não avalia impacto clínico real	Çakmak, G., & Yılmaz, B.
53	Frameworks de arco completo	Polímeros de nova geração	Resina	MA apresentou resultados favoráveis	Não avalia longevidade	Trueness and fit of complete-arch implant-supported frameworks in new-generation

						additively and subtractively manufactured polymers: an in-vitro study
54	Trueness de modelos SLA	Comparação de orientações	Resina	Orientação influencia precisão	Depende de parâmetros específicos	Revilla-León, M., et al.
55	THA segunda geração SLM	Artroplastia total do quadril	Resina e Metal	Bons resultados iniciais	Clínica única; sem longo prazo	Meng, M., et al.
56	Biossensores 3D	Fabricação de biossensores inteligentes	PDMS, PET, TPU	Alta sensibilidade em testes	Falta validação real	Liu, X., et al.
57	Satisfação com CAD-CAM	Comparação entre profissionais	Termoplástico	Grupo CAD teve maior satisfação	Apenas dois operadores	Lee, K. B.
58	Exo-endoprótese testes de torção	Avaliação mecânica de componente interno	-	Dados sobre torção e resistência	Estudo in vitro	Novel axial compressive endoprosthesis ACE can enhance stability
59	Exoprótese torácica	Ajuste anatômico	TPU	Boa adaptação	Desgaste rápido	Overview of 3D Printed Exoskeleton Materials and Development Challenges.
60	Implante mandibular	Reconstrução	Titânio	Estabilidade óssea	Custo elevado	Lima et al.
61	Prótese distal	Impressão leve	PLA	Melhora da marcha	Fragilidade	Marinopoulos, T., et al.
62	Cranioplastia parcial	Placa customizada	PEEK	Recuperação neurológica	Cirurgia longa	Hobert et al.

63	Osteotomia corretiva	Guia 3D	Resina	Alta precisão	Curva de aprendizado	Cheon et al.
64	Prótese de carpo	Socket 3D	Nylon SLS	Marcha estável	Ajustes frequentes	Kang et al.
65	Cage lombar	Implante	Titânio	Estabilidade da coluna	Poucos casos	DIAS, Raira Costa.
66	Implante de escápula	Modelo anatômico	Termoplástico	Auxílio cirúrgico	Falta follow-up	Panichi et al.
67	TPLO guiada	Guia 3D	Resina	Precisão cirúrgica	Alto custo	Townsend et al.
68	Endoprótese femoral	Substituição	Titânio	Boa função	Risco de fratura	Nakagawa, S. A., Chung, W. T.
69	Revisão ortopédica	Protótipos	PLA	Planejamento facilitado	Dados heterogêneos	MacFadden, L. N. & Skelley, N. W.
70	Reabilitação	Prótese leve	TPU	Recuperação rápida	Material flexível	Arauz et al.
71	Implante dental	Guia 3D	Resina	Inserção precisa	Estudo único	Willemssen et al.
72	Osteossíntese	Placa personalizada	Titânio	Estabilidade mecânica	Técnica complexa	Lima et al.
73	Amputação parcial	Prótese articulada	Nylon	Função moderada	Ruptura de juntas	Theresa M. Wendland et al.
74	Implante acetabular	Cage	Titânio	Estabilidade restaurada	Cirurgia longa	Tilkeridis, K. & Drosos, G.
75	Osteotomia pélvica	Guia 3D	Resina	Corte preciso	Estudo piloto	Cheon et al.
76	Fratura complexa	Protótipo	PLA	Planejamento eficiente	Fragilidade	Townsend et al.
77	Implante nasal	Próteses faciais	Resina	Boa estética	Aderência limitada	Mendoza-DeCal.
78	Prótese metacárpica	Socket leve	TPU	Retorno funcional	Instabilidade	Kang et al.
79	Cage cervical	Implante espinhal	Titânio	Recuperação neurológica	Amostra pequena	Driver, C. J., Lopez, V.
80	Prótese total	Conjunto modular	Nylon/Titânio	Função excelente	Alto custo	Minto et al.

APÊNDICE B – QUANTIDADE DE PUBLICAÇÕES POR ANO

Ano	Nº de Publicações	Observações
2015	2	Primeiros relatos de uso experimental da impressão 3D em reconstruções ósseas veterinárias.
2016	3	Aplicações iniciais em planejamento cirúrgico e modelos anatômicos.
2017	4	Introdução de estudos com próteses personalizadas em cães e gatos.
2018	6	Expansão do uso de SLM (titânio) e FDM em exopróteses funcionais.
2019	8	Primeiros estudos clínicos controlados envolvendo PEEK e guias cirúrgicos.
2020	9	Consolidação da MA em cirurgias ortopédicas e odontológicas veterinárias.
2021	10	Aumento das publicações em cranioplastia e osteossíntese com titânio.
2022	12	Ampliação para implantes personalizados e simulações biomecânicas.
2023	13	Integração com planejamento digital, CAD-CAM e softwares veterinários específicos.
2024	8	Foco em biocompatibilidade, bioimpressão e novos polímeros de alto desempenho.
2025	5	Estudos recentes priorizando sustentabilidade e reprodutibilidade clínica.

APÊNDICE C - PERCENTUAL DE ESTUDOS COM MATERIAIS UTILIZADOS

Material utilizado	Nº de artigos	Percentual (%)	Exemplos / Observações
Titânio (Ti6Al4V, Ti Alloy)	27	33,8%	Usado em implantes ósseos, placas cranianas, cages acetabulares e coroas metálicas; produzido via SLM/DMLS.
Polímeros FDM (PLA, ABS, PETG, TPU, Nylon)	22	27,5%	Empregado em exopróteses, órteses, guias cirúrgicos e protótipos anatômicos. Baixo custo e fácil reimpressão.
Resinas fotopolimerizáveis (SLA/DLP)	10	12,5%	Usadas em guias cirúrgicos e modelos de planejamento. Boa precisão, mas limitada resistência e esterilização.
PEEK / PEKK (polímeros de alta performance)	6	7,5%	Utilizado em cranioplastias e implantes estruturais. Alta resistência térmica, mas alto custo e dificuldade de impressão.
Aço inoxidável / ligas metálicas diversas	4	5,0%	Casos experimentais ou substitutos em pesquisa biomecânica. Menos comum em uso clínico.
Biocerâmicas / compósitos (CaP, HA, TCP)	3	3,7%	Aplicados em regeneração óssea ou revestimentos de implantes. Uso experimental.
Nylon 12 / PA12 (SLS)	3	3,7%	Utilizado em órteses e guias pela flexibilidade e resistência intermediária.
PMMA / acrílicos	2	2,5%	Principalmente em cranioplastias provisórias e modelos anatômicos.
Outros (biopolímeros, elastômeros, compósitos híbridos)	3	3,7%	Materiais emergentes — smart polymers, sensores e materiais bioativos.

**APÊNDICE D - FREQUÊNCIA PERCENTUAL DE FONTES BIBLIOGRÁFICAS
ANALISADAS POR PAÍS**

País	Nº de Estudos	Percentual (%)
Estados Unidos	20	25,0%
Brasil	12	15,0%
Alemanha	8	10,0%
Reino Unido	6	7,5%
China	6	7,5%
Países Baixos	5	6,3%
Coreia do Sul	4	5,0%
Canadá	3	3,8%
Itália	3	3,8%
Espanha	3	3,8%
Suíça	2	2,5%
Japão	2	2,5%
Chile	2	2,5%
Equador	2	2,5%
Polônia	2	2,5%