

Escola Superior São Francisco de Assis
Curso de Graduação em Medicina Veterinária

Amanda de Souza Azevedo

Gisela Sacani Paixão

**PROTOTIPAGEM E INOVAÇÃO NA MEDICINA VETERINÁRIA: A
IMPRESSÃO 3D COMO ALTERNATIVA PARA PRÓTESES ANIMAIS**

Santa Teresa – ES

2025

Amanda de Souza Azevedo

Gisela Sacani Paixão

PROTOTIPAGEM E INOVAÇÃO NA MEDICINA VETERINÁRIA: A IMPRESSÃO 3D COMO ALTERNATIVA PARA PRÓTESES ANIMAIS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do curso de Medicina Veterinária da
Escola Superior São Francisco de Assis como parte
dos requisitos necessários à obtenção do título de
Bacharel em Medicina Veterinária.

Orientador: Prof. Dr. Gabriel H. Taufner

Co-orientador: Prof. Dr. Rodolpho J. da Silva Barros.

Santa Teresa – ES

2025

Amanda de Souza Azevedo

Gisela Sacani Paixão

PROTOTIPAGEM E INOVAÇÃO NA MEDICINA VETERINÁRIA: A IMPRESSÃO 3D COMO ALTERNATIVA PARA PRÓTESES ANIMAIS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do curso de Medicina Veterinária da Escola Superior São Francisco de Assis como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Bacharel em Medicina Veterinária.

Aprovada em ____ de _____ de 2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Gabriel Henrique Taufner
Escola Superior São Francisco de Assis

Prof. Me. Vytor Hugo Pereira Mendes
Escola Superior São Francisco de Assis

Profa. Ma. Gabriela Ponath Peruzo
Escola Superior São Francisco de Assis

"Consagre ao Senhor tudo o que você faz, e os seus planos serão bem sucedidos". Provérbios, 16;3

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus, por nos guiar, fortalecer e permitir que chegássemos até aqui com perseverança. Este trabalho é o resultado do nosso aprendizado e dedicação, e nada disso seria possível sem o apoio de todos que estiveram ao nosso lado durante essa jornada.

Aos nossos familiares, que sempre acreditaram em nós, oferecemos nossa mais profunda gratidão. Obrigada pelo incentivo, compreensão e suporte em todos os momentos. Sem o apoio de vocês, este sonho não teria se concretizado.

Agradecemos de forma muito especial ao nosso orientador, sua paciência, compromisso e dedicação foram essenciais para a construção deste trabalho. Sua orientação e disposição em compartilhar seus conhecimentos foram fundamentais para o nosso projeto. Cada reunião, ideia e conselho contribuíram não apenas para o desenvolvimento deste TCC, mas também para o nosso crescimento acadêmico. Somos gratas por todo o apoio, compreensão e por acreditar em nós. Ter sua orientação foi uma honra.

E, por fim, agradecemos uma à outra, pela parceria e amizade que construímos e fortalecemos ao longo da nossa formação, tornando essa jornada ainda mais especial. Compartilhamos dúvidas, inseguranças e realizações. Tudo isso nos fortaleceu não apenas como estudantes, mas como mulheres e futuras profissionais.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Anatomia canina.	13
Figura 2 – Mensuração do membro torácico para planejamento e modelagem de prótese 3D.	28
Figura 3 – Modelagem e redimensionamento da prótese no software Blender®.	29
Figura 4 – Prótese completa no software 3D Builder®. Em a) observa-se a visão frontal do modelo perfurado da prótese, destacando o design orgânico e a distribuição uniforme dos alvéolos estruturais. Em b) observa-se a visão lateral, evidenciando o contorno anatômico adaptado ao hemitórax e a curvatura de encaixe axilar. Em c) observa-se o pino cilíndrico de fixação, utilizado como elemento estrutural para acoplamento entre prótese e base de sustentação. Em d) observa-se a base de apoio da prótese, responsável pela estabilidade do conjunto e pela interface com o solo.	30
Figura 5 – Prótese completa em escala reduzida. Em a) observa-se o fatiamento no software Creality Print®. Em b) observa-se o estágio inicial da produção na impressora Creality K1C. Em c) observa-se a prótese em escala reduzida finalizada. Em d) observa-se a prótese em escala reduzida com montagem finalizada.	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tabela das dimensões e respectivas medidas.....	27
---	----

LISTA DE SIGLAS

SIGLA	Significado
3Rs	Redução, Refinamento e Substituição
CAD	Computer-Aided Design
CEUA	Comitê de Ética no Uso de Animais da instituição
CONCEA	Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal
FDM	Fused Deposition Modeling
PLA	Ácido Polilático
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	11
2.1 DEFINIÇÃO E IMPORTÂNCIA DA REABILITAÇÃO ANIMAL.....	11
2.2 DESAFIOS ENFRENTADOS POR ANIMAIS AMPUTADOS	11
2.3 FISIOLOGIA DOS ANIMAIS AMPUTADOS	13
2.3.1 Amputação	13
2.3.2 Problema de locomoção em cães	13
2.4 MÉTODOS TRADICIONAIS DE REABILITAÇÃO E SUAS LIMITAÇÕES	14
2.5 IMPRESSÃO 3D.....	15
2.5.1 Próteses impressas em 3D e medicina veterinária	16
3 PROBLEMATIZAÇÃO	19
4 JUSTIFICATIVA.....	20
5 OBJETIVOS.....	21
5.1 OBJETIVO GERAL.....	21
5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
6 ARTIGO CIENTÍFICO	22
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36

1 INTRODUÇÃO

O carinho e a consideração pelos animais têm se intensificado progressivamente ao longo dos anos, refletindo-se em significativos avanços nas tecnologias aplicadas à medicina veterinária. Dentre essas inovações, destaca-se a utilização da impressão tridimensional (3D) no desenvolvimento de próteses, a qual tem se mostrado uma ferramenta essencial na reabilitação dos animais com membros amputados. Essa abordagem tecnológica representa um avanço promissor na medicina veterinária, proporcionando soluções personalizadas e de alta precisão, que visam melhorar a qualidade de vida dos pacientes, promovendo bem-estar e funcionalidade (Gonsalves; Rocha; Wielgosz, 2023).

A amputação de membros constitui um procedimento cirúrgico indicado por profissionais no manejo de diversas afecções, tais como neoplasias, traumas e outros (Cole; Millis, 2016). Nesses casos, o uso de próteses é recomendado como forma de substituir o membro ausente ou funcionalmente comprometido. Esses dispositivos exercem um papel fundamental na reabilitação dos cães, contribuindo, que é indicado significativamente para a restauração de sua mobilidade e para a promover uma melhor qualidade de vida (Gonsalves; Rocha; Wielgosz, 2023).

O presente estudo tem como finalidade desenvolver uma prótese para o membro torácico de uma cadela, confeccionada por meio da tecnologia de impressão 3D. A proposta consiste em analisar os principais benefícios proporcionados por esse tipo de intervenção, avaliando sua eficácia, relação custo-benefício e a rapidez de produção possibilitada pela impressão 3D. Dessa forma, o estudo busca contribuir para o aprimoramento das práticas clínicas e para o avanço de soluções tecnológicas aplicadas à medicina veterinária.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 DEFINIÇÃO E IMPORTÂNCIA DA REABILITAÇÃO ANIMAL

A reabilitação animal configura-se como uma abordagem terapêutica interdisciplinar voltada à recuperação funcional de pacientes acometidos por afecções musculoesqueléticas, neurológicas ou decorrentes de procedimentos cirúrgicos, como as amputações. Seu principal objetivo é restabelecer a qualidade de vida do animal por meio da melhoria da mobilidade, alívio da dor, prevenção de complicações secundárias e reintegração às atividades cotidianas. Dentro desse contexto, os dispositivos de auxílio à locomoção, como órteses e próteses, vêm ganhando destaque significativo na medicina veterinária contemporânea, especialmente diante do crescimento das práticas de fisioterapia e reabilitação animal (Millis; Levine, 2014).

As próteses, em particular, têm se mostrado recursos promissores no tratamento de animais amputados ou com deformidades congênitas ou adquiridas. Sua aplicação visa não apenas substituir funcionalmente o membro perdido, mas também reduzir a sobrecarga nos membros remanescentes, minimizar o desgaste articular e prevenir desequilíbrios posturais e biomecânicos. Conforme apontado por Gonsalves, Rocha e Wielgosz (2023), a utilização de próteses proporciona maior estabilidade, conforto e autonomia aos animais, permitindo-lhes retomar de forma mais segura e eficiente suas atividades diárias.

Além dos benefícios físicos, a reabilitação com o uso de próteses contribui para o bem-estar emocional do animal, promovendo maior interação social, exploração do ambiente e redução de comportamentos associados à dor ou frustração motora. Esses avanços refletem uma mudança no paradigma da prática veterinária, que passa a incorporar cada vez mais os princípios da medicina integrativa e da reabilitação funcional como pilares para o cuidado de longo prazo e humanizado dos pacientes animais.

2.2 DESAFIOS ENFRENTADOS POR ANIMAIS AMPUTADOS

Diversos estudos demonstram que cães submetidos à amputação de um dos membros apresentam, em grande parte dos casos, uma notável capacidade de

adaptação à locomoção tripodal, especialmente quando a amputação é realizada ainda em idade jovem ou em indivíduos com bom condicionamento físico (Kirpensteijn, 1999). No entanto, essa capacidade de adaptação biomecânica não deve ser confundida com ausência de prejuízos à saúde e ao bem-estar. A locomoção em três patas, embora funcional, impõe ao organismo uma série de desafios fisiológicos e estruturais que, com o tempo, podem gerar consequências deletérias.

Entre as principais complicações associadas à locomoção tripodal estão as doenças ortopédicas secundárias, como a degeneração articular precoce, instabilidade postural, desgaste anormal de articulações e alterações na marcha, frequentemente acompanhadas por ganho de peso (Gonsalves; Rocha; Wielgosz, 2023). Essas alterações são, em grande parte, decorrentes da necessidade de compensação funcional. Conforme descrito por Tussi (2022), a redistribuição da carga locomotora sobre os membros remanescentes implica em mudanças substanciais no centro de gravidade corporal, aumento da sobrecarga muscular e articular, redução da resistência física e da motilidade, além de elevação da taxa metabólica basal, o que pode gerar um ciclo vicioso de sedentarismo e obesidade.

O impacto dessas alterações não se limita ao sistema musculoesquelético. Estudos indicam que o esforço compensatório contínuo também pode interferir na biomecânica da coluna vertebral, predispondo a quadros de dor crônica, alterações posturais e redução da qualidade de vida geral do animal. Ainda que o cão consiga desempenhar atividades básicas de forma independente, a sobrecarga funcional imposta aos membros restantes frequentemente culmina em limitação progressiva da mobilidade e sofrimento físico (Millis; Levine, 2014).

Dessa forma, embora a amputação seja, em muitos casos, uma alternativa terapêutica necessária e eficaz, torna-se evidente a importância do desenvolvimento de estratégias complementares de reabilitação e compensação funcional, como o uso de próteses. A prótese, além de auxiliar na redistribuição adequada da carga corporal, pode contribuir para a melhora da marcha, preservação da integridade articular e muscular e, sobretudo, promoção de melhor qualidade de vida ao animal amputado.

2.3 FISIOLOGIA DOS ANIMAIS AMPUTADOS

2.3.1 Amputação

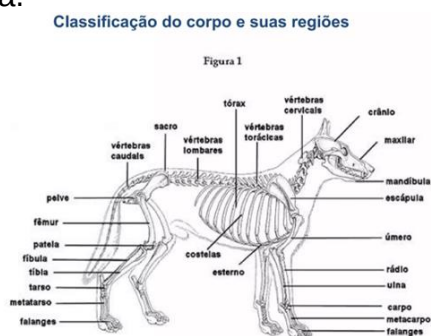
Amputação consiste na remoção cirúrgica ou decorrente de trauma, podendo ocorrer de forma total ou parcial, de uma parte do corpo (Carvalho, 2003). Nas clínicas de pequenos animais (cães e gatos), a principal razão para realizar esse procedimento é preservar a vida do paciente, sobretudo quando as lesões progridem para quadros mais graves, como neoplasias malignas, por exemplo o osteossarcoma, necrose de tecidos ou outras condições que podem gerar complicações (Leonard, 1971).

Segundo Adamson (2005) os pacientes encontram maiores dificuldades de locomoção quando é realizado a cirurgia de amputação no membro torácico, do que no membro pélvico. Isso acontece porque os cães usam um suporte da maior fração do peso corporal nos membros anteriores. Quanto ao uso de próteses tem que ser uma informação passada antes para o cirurgião, para que seja uma ação executada com margem e com intuito de que ela ocorra em alturas compatíveis em com a utilização.

2.3.2 Problema de locomoção em cães

A anatomia dos cães do aparelho locomotor é formada por ossos, ligamentos, cartilagens, articulações e os músculos que tem como sua maior finalidade de garantir a locomoção, sustentação e também exerce sua função de tração.

Figura 1 – Anatomia canina.



Fonte: Oliver [s.d].¹

¹ <https://pt.slideshare.net/slideshow/osteologia-veterinaria/52214958>

Alguns problemas de locomoção em animais, especialmente em cães, estão relacionados a fatores fisiológicos e não fisiológicos. Os fatores fisiológicos referem-se a situações em que a dificuldade locomotora está associada a enfermidades secundárias, como infecções, lesões em tendões e músculos, doenças genéticas ou articulares, além de neoplasias malignas, como o osteossarcoma um tipo de câncer ósseo. Essas condições podem variar conforme a idade e a predisposição racial dos animais, conforme descrito por Piermattei et al. (2009) e Fossum (2014). Pesquisas também apontam que os tumores ósseos se destacam como uma das principais justificativas para a amputação de membros em animais, quando relacionadas a fatores de origem fisiológica (Bastian, 2013).

Segundo Hulse, 2007 e Hyman, 2007, os fatores não fisiológicos responsáveis pela claudicação e consequentemente dificuldades de locomoção, podem estar relacionados a traumas decorrentes de acidentes como brigas, quedas e atropelamento, levando a fratura aberta que ocorrem quando uma força excede o limite de resistência do tecido ósseo. Em cães e gatos, os acidentes automobilísticos representam a principal causa de fraturas, correspondendo a cerca de 60% dos casos, conforme observado (Perez, 2017).

Em síntese, as afecções ortopédicas englobam fraturas, disfunções articulares, lesões musculares e tendíneas, além de distúrbios metabólicos e enfermidades de origem infecciosa ou neoplásica Piermattei et al. (2009) e Fossum (2014). Assim, a atuação do tutor é essencial para uma boa recuperação do animal, após o trauma.

2.4 MÉTODOS TRADICIONAIS DE REABILITAÇÃO E SUAS LIMITAÇÕES

As abordagens tradicionais de reabilitação, como a fisioterapia, eletroterapia, laserterapia, hidroterapia e o uso de próteses, têm se consolidado como ferramentas essenciais no processo terapêutico de pacientes veterinários, especialmente aqueles submetidos a amputações ou acometidos por distúrbios musculoesqueléticos. Com os avanços da Medicina Veterinária e o desenvolvimento tecnológico, tornou-se possível estruturar protocolos de reabilitação individualizados, adaptados às condições clínicas, espécie, porte e perfil funcional de cada animal (Alves; Sturion; Gobetti, 2019).

Esses métodos terapêuticos promovem uma série de benefícios fisiológicos e funcionais, como fortalecimento da musculatura residual, alívio da dor, redução da rigidez articular, melhora da mobilidade e otimização da cicatrização. Consequentemente, contribuem para uma recuperação mais rápida e eficaz, além de proporcionarem maior bem-estar e qualidade de vida ao paciente. Nesse sentido, o planejamento de um projeto terapêutico deve ter como principal objetivo a obtenção de resultados positivos, com foco na minimização de impactos físicos e emocionais, prevenção de incapacidades permanentes, desenvolvimento de sequelas e ocorrência de lesões secundárias (Araúz *et al.*, 2021).

Apesar dos benefícios comprovados, ainda existem desafios significativos no campo da reabilitação animal. Um dos principais obstáculos é a escassez de modelos protéticos personalizados, adaptados às particularidades anatômicas e funcionais de cada animal. A produção de próteses veterinárias ainda é um processo relativamente lento, com alto custo de desenvolvimento e adaptação. Além disso, os tutores frequentemente enfrentam dificuldades financeiras relacionadas não apenas à confecção das próteses, mas também às despesas com consultas especializadas, exames diagnósticos, cirurgias e o longo processo de adaptação funcional (Chandler *et al.*, 2014).

Outro aspecto crítico é a limitada produção científica voltada à avaliação dos efeitos da reabilitação física em animais amputados, o que contribui para a subvalorização da fisioterapia veterinária como componente essencial no cuidado pós-operatório e na reintegração funcional do paciente. A carência de estudos clínicos e experimentais robustos dificulta a construção de protocolos baseados em evidências, restringindo o reconhecimento acadêmico e profissional da área, apesar de sua importância crescente no contexto da Medicina Veterinária moderna (Chandler *et al.*, 2014).

2.5 IMPRESSÃO 3D

A impressão 3D tem se mostrado uma ferramenta inovadora e promissora na medicina veterinária, especialmente na reabilitação de animais amputados. Essa tecnologia possibilita a fabricação rápida, personalizada e relativamente acessível de próteses adaptadas à anatomia específica do paciente, o que é fundamental para garantir

conforto, funcionalidade e melhor aceitação do dispositivo. O uso da modelagem digital em softwares CAD (*Computer-Aided Design*) permite a criação de próteses que respeitam as particularidades do membro residual, otimizando a distribuição de cargas e minimizando pontos de pressão que poderiam causar desconforto ou lesões secundárias (Mendanza-DeCal et al., 2023).

A tecnologia FDM (*Fused Deposition Modeling*), amplamente usada para impressão 3D em filamentos como o PLA (ácido polilático), destaca-se pela facilidade de uso, baixo custo e adequação para a produção de próteses externas com resistência mecânica suficiente para uso cotidiano em animais. Estudos de caso na medicina veterinária já demonstraram que próteses produzidas com impressão 3D podem melhorar significativamente a mobilidade de cães amputados, reduzir a sobrecarga nos membros remanescentes e favorecer a qualidade de vida. Além disso, a possibilidade de ajuste e reprototipagem rápida do modelo digital permite um processo iterativo essencial para a adaptação funcional do animal à prótese (Souza et al., 2025; Leonardi et al., 2021).

Ainda assim, há desafios, como a necessidade de materiais mais avançados para aumentar o conforto e a durabilidade das próteses, e a carência de estudos longitudinais que avaliem a eficiência funcional e o impacto a longo prazo desses dispositivos na saúde dos animais. No entanto, a impressão 3D representa um avanço significativo na medicina veterinária, integrando inovação tecnológica com cuidado humanizado e resultados funcionais aprimorados.

2.5.1 Próteses impressas em 3D e medicina veterinária

As próteses veterinárias configuram-se como uma alternativa terapêutica relevante na reabilitação de animais submetidos à amputação de membros, frequentemente decorrente de traumas, neoplasias, malformações congênitas ou acidentes. A perda de um membro implica em alterações biomecânicas, comprometimento da locomoção, sobrecarga nos membros remanescentes e risco de lesões secundárias – o que pode comprometer a qualidade de vida do animal a médio e longo prazo. Nesse contexto, a manufatura aditiva por impressão 3D surge como uma estratégia promissora para o desenvolvimento de próteses customizadas, adaptadas à anatomia específica do

coto, ao peso corporal do paciente e ao padrão de marcha característico de cada espécie.

A utilização de técnicas de impressão 3D — notadamente a deposição de filamento fundido (*Fused Deposition Modeling* – FDM) — permite partir de imagens digitais (obtidas via escaneamento ou mensurações tradicionais), modelar em software CAD e fabricar próteses com geometria personalizada, com encaixe anatômico preciso, o que favorece conforto, adaptação e funcionalidade do dispositivo. Em relato de caso de um cão com amputação de membro pélvico, pesquisadores desenvolveram uma exoprótese 3D a partir de medidas do coto, imprimindo em PLA; após a fixação com bandagem compressiva, o animal demonstrou apoio imediato da prótese ao ficar em pé, distribuição mais equilibrada de peso corporal e alívio de carga no membro contralateral — e, após quatro semanas de uso gradual supervisionado, apresentou marcha funcional sem lesões no coto (Souza et al., 2025).

Além de cães, há relatos de uso bem-sucedido de próteses 3D em aves domésticas e silvestres submetidas a amputações ou malformações de membros posteriores. Nesses casos, as próteses permitiram a reabilitação locomotora, com melhora na distribuição de peso, mobilidade, pouso e caminhada — representando, inclusive, o primeiro relato conhecido de “socket prostheses” para aves de pequeno porte (Carvalho, 2024).

Do ponto de vista dos materiais, o PLA (ácido polilático) se destaca por sua leveza, facilidade de impressão e custo relativamente baixo, sendo frequentemente empregado em próteses para animais de pequeno e médio porte ou em fases iniciais de prototipagem. Estudos avaliando as propriedades mecânicas do PLA impresso 3D demonstram sua viabilidade para próteses externas destinadas a animais de pequeno e médio porte, evidenciando rigidez suficiente para suportar cargas moderadas (Croucillo et al., 2018).

Contudo, para aplicações que demandam maior resistência estrutural — como em animais de maior porte, próteses submetidas a esforços repetitivos ou uso intensivo — outros termoplásticos podem ser mais adequados. A literatura sobre manufatura aditiva em medicina veterinária destaca a possibilidade de uso de materiais como ABS, PETG e filamentos flexíveis (por exemplo, TPU), de modo a adaptar as

características mecânicas e de conforto às exigências do paciente e da função protética (Silva; Santos, 2022).

As vantagens da impressão 3D para próteses veterinárias incluem a personalização anatômica, a rapidez de produção, o custo reduzido em comparação a próteses convencionais, a possibilidade de ajustes e reimpressões conforme a evolução do coto ou adaptação do animal, e a viabilidade de uso em diferentes espécies — ampliando as possibilidades terapêuticas e de reabilitação. Relatos clínicos demonstram melhorias funcionais: apoio do membro amputado, redistribuição de carga corporal, marcha funcional, e redução da sobrecarga sobre membros remanescentes (Souza et al., 2025; Thomas et al., 2025).

Apesar disso, a técnica apresenta limitações. A durabilidade de próteses impressas em termoplásticos pode ser menor do que a de próteses confeccionadas com materiais metálicos ou compostos de maior resistência, o que limita seu uso em animais de grande porte ou em situações de alta demanda mecânica. Adicionalmente, há carência de estudos longitudinais que avaliem os efeitos da prótese a longo prazo — incluindo adaptação, conforto contínuo, manutenção, desgaste do material e riscos de lesões secundárias. Também é essencial o acompanhamento veterinário e fisioterápico durante o processo de adaptação, a fim de garantir alinhamento biomecânico adequado, prevenir complicações e promover melhor qualidade de vida ao animal (Souza et al., 2025).

Dessa forma, a impressão 3D se revela uma ferramenta tecnicamente viável, flexível e promissora para a produção de próteses veterinárias customizadas, representando uma solução inovadora para animais amputados, especialmente em cenários com recursos limitados, necessidade de prototipagem rápida e adaptação anatômica individualizada — embora exija cautela, avaliação criteriosa dos materiais e planejamento rigoroso do processo de reabilitação.

3 PROBLEMATIZAÇÃO

A tecnologia de impressão 3D tem se destacado na medicina veterinária por possibilitar a criação de próteses e órteses personalizadas, atendendo às necessidades específicas de animais com deficiências locomotoras. Um estudo desenvolvido por Cipriano *et al.* (2024) descreve a produção de cadeiras de rodas assistivas para cães com paralisia nos membros, utilizando impressão 3D e filamentos de PET reciclado, promovendo não apenas a mobilidade dos animais, mas também a sustentabilidade ambiental. Além disso, pesquisas como a de Melo e Oliveira (2022) enfocam a prototipagem de membros torácicos caninos e cadeiras de rodas, evidenciando a resistência e a adequação dos materiais impressos em 3D para a reabilitação animal. Esses avanços ressaltam a relevância da impressão 3D na medicina veterinária, oferecendo soluções inovadoras e acessíveis para melhorar a qualidade de vida dos animais.

No caso apresentado, a cadela foi submetida à amputação do membro torácico (escapulectomia) devido à isquemia de vasos sanguíneos e artérias, que resultou em necrose tecidual. Para garantir a saúde e o bem-estar da paciente, o procedimento cirúrgico tornou-se indispensável.

Entretanto, a cadela pode desenvolver, futuramente, complicações decorrentes da locomoção tripodal, como sobrecarga nos membros remanescentes, desgaste articular, dor lombar, ganho de peso e outras alterações que podem comprometer seu conforto e funcionalidade (Teixeira, 2021). Diante desse contexto, o desenvolvimento de uma prótese por meio da impressão 3D configura-se como uma alternativa eficaz, econômica e de rápida produção, capaz de auxiliar na reabilitação funcional e na melhoria da qualidade de vida do animal (Dal Corso, 2019).

4 JUSTIFICATIVA

A crescente preocupação com o bem-estar animal tem impulsionado a busca por soluções inovadoras para a reabilitação de animais que sofreram amputações ou apresentam deficiências locomotoras. Nesse contexto, a impressão 3D tem se mostrado uma alternativa promissora, oferecendo próteses personalizadas que atendem às necessidades específicas de cada indivíduo, promovendo sua qualidade de vida e readaptação ao ambiente.

A aplicação da manufatura aditiva na medicina veterinária permite a produção de próteses e órteses sob medida, reduzindo custos e tempo de fabricação em comparação com métodos convencionais. Além disso, a utilização de materiais biocompatíveis e de fácil acesso amplia as possibilidades de adaptação e conforto para os animais reabilitados. Estudos recentes demonstram a eficácia dessa abordagem, evidenciando benefícios como a melhoria da mobilidade e a prevenção de complicações secundárias decorrentes da falta de um membro ou estrutura de suporte.

Outro fator relevante é a acessibilidade proporcionada pela impressão 3D, tornando possível a produção de dispositivos reabilitativos de baixo custo, viabilizando o atendimento de um maior número de animais em necessidade. Isso se torna especialmente importante em instituições de resgate, clínicas veterinárias e projetos sociais que trabalham com reabilitação animal, onde os recursos são frequentemente limitados.

Dessa forma, este estudo justifica-se pela necessidade de aprimorar as técnicas de prototipagem para próteses animais, contribuindo para a evolução da reabilitação veterinária. A pesquisa busca não apenas desenvolver dispositivos eficazes e acessíveis, mas também estabelecer protocolos que possam ser replicados e aprimorados por outros pesquisadores e profissionais da área. Assim, espera-se que o conhecimento gerado contribua para um impacto positivo na qualidade de vida dos animais assistidos, consolidando a impressão 3D como uma ferramenta essencial na medicina veterinária.

5 OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GERAL

Otimizar e produzir uma prótese de membro torácico a partir de impressão 3D para promover a reabilitação de uma cadela amputada.

5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar repositórios de modelos 3D com intuito de prospectar modelos de membros torácicos;
- Promover adaptação da prótese com foco no bem-estar animal.

6 ARTIGO CIENTÍFICO

Artigo Original

PROTOTIPAGEM E INOVAÇÃO NA MEDICINA VETERINÁRIA: A IMPRESSÃO 3D COMO ALTERNATIVA PARA PRÓTESES ANIMAIS

AZEVEDO, A. S.¹; SACANI, G.¹; BARROS, R. J. S.²; TAUFNER, G. H.³

¹*Graduando em Medicina Veterinária, Escola Superior São Francisco de Assis, Santa Teresa, Brasil*

²*Médico veterinário, Biotério Central da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Brasil*

³*Docente do Curso de Medicina Veterinária, Escola Superior São Francisco de Assis, Santa Teresa, Brasil*

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo desenvolver uma prótese torácica personalizada para um modelo animal amputado, utilizando técnicas de modelagem tridimensional e manufatura aditiva. A pesquisa foi conduzida com base nos princípios éticos do CONCEA, envolvendo uma cadela da raça Shih-tzu, com cinco anos de idade e amputação completa do membro torácico direito associada à escapulectomia. As mensurações morfométricas do animal foram obtidas diretamente, contemplando circunferência torácica, comprimento torácico, altura da cernelha e distâncias axilares, constituindo a base para o dimensionamento preciso do dispositivo. O modelo digital da prótese foi selecionado na plataforma Cults3D e posteriormente ajustado nos softwares Blender® e 3D Builder®, nos quais foram realizadas correções de escala, refinamento topológico, suavização de superfícies, reforço estrutural e adaptação anatômica do hemitórax. A preparação para impressão ocorreu no software Creality Print®, com definição de parâmetros como espessura de camada, preenchimento, velocidade e temperatura de extrusão. A impressão foi realizada em tecnologia FDM, utilizando filamento PETG devido à resistência mecânica e boa conformidade estrutural. Após a manufatura, o modelo passou por acabamento manual, incluindo lixamento e ajustes de superfície. Os resultados demonstram a viabilidade técnica da manufatura aditiva para a produção de próteses veterinárias personalizadas, destacando a importância das mensurações anatômicas para a adaptação precisa do dispositivo. O processo integrado de coleta de medidas, modelagem digital e impressão 3D permitiu a criação de um protótipo funcionalmente coerente com as necessidades anatômicas decorrentes da amputação. O refinamento da malha poligonal e a adequação dos contornos axilares contribuíram para potencial conforto e melhor distribuição de carga. Apesar de a prótese ter sido completamente projetada e fabricada, não foi possível realizar o teste funcional na paciente Mel. Todavia, essa

limitação não compromete o propósito principal do estudo, cujo objetivo era utilizar um animal real como referência anatômica para validar a metodologia de desenvolvimento de próteses personalizadas. O protótipo produzido apresenta fidelidade geométrica e pode servir como base para versões futuras, testes biomecânicos e avaliações funcionais. O estudo reforça o potencial da manufatura aditiva como ferramenta acessível, eficiente e de grande aplicabilidade na reabilitação veterinária. Recomenda-se que pesquisas futuras incluam análises cinemáticas, testes de marcha, avaliações de durabilidade estrutural e acompanhamento longitudinal de pacientes amputados, visando aprimorar a funcionalidade, segurança e efetividade de próteses desenvolvidas por tecnologia 3D.

Palavras-chave: Impressão 3D, próteses veterinárias, modelagem digital, PETG, reabilitação animal.

ABSTRACT

This study aimed to develop a customized thoracic prosthesis for an amputated canine model using three-dimensional modeling and additive manufacturing techniques. The research followed ethical guidelines established by the Brazilian National Council for Animal Experimentation (CONCEA) and involved a five-year-old Shih-tzu dog that had undergone complete amputation of the right thoracic limb associated with scapular removal. Morphometric measurements, including thoracic circumference, thoracic length, withers height, and axillary distances, were obtained directly from the animal and served as the basis for accurate prosthetic design. The digital model was selected from the Cults3D platform and subsequently adapted in Blender® and 3D Builder®, where scale adjustments, topological refinement, surface smoothing, structural reinforcement, and anatomical contour correction were performed. File preparation for printing occurred in Creality Print®, with parameters defined for layer height, infill density, speed, and extrusion temperature. The prosthesis was manufactured using FDM technology with PETG filament, chosen for its mechanical strength, dimensional stability, and suitable flexibility. After printing, the components underwent manual finishing, including surface sanding and fitting adjustments. The results demonstrate the technical feasibility of additive manufacturing for producing personalized veterinary prostheses, emphasizing the importance of precise anatomical measurements to ensure proper fit and load distribution. The integrated workflow—from morphometric

assessment to digital modeling and printing—allowed the creation of a prototype that aligns with the anatomical and biomechanical needs resulting from limb amputation. Structural reinforcement and contour refinement contributed to potential comfort and improved interface with the animal's thoracic region. Although the prosthesis was fully designed and manufactured, functional testing could not be performed on the patient, Mel. Nevertheless, this limitation does not compromise the primary objective of the study, which was to use a real animal as an anatomical reference to validate the development methodology for customized prosthetic devices. The resulting prototype exhibits geometric accuracy and can serve as a foundation for future iterations, biomechanical analyses, and clinical testing. This study reinforces the potential of additive manufacturing as an accessible and efficient tool for veterinary rehabilitation. Future research should incorporate gait analysis, functional testing, material durability assessments, and long-term follow-up of amputee patients to optimize the safety, performance, and clinical applicability of 3D-printed prosthetic devices.

Keywords: 3D printing, veterinary prosthetics, digital modeling, PETG, animal rehabilitation.

Introdução

A impressão 3D, também denominada manufatura aditiva, configura-se como um processo tecnológico voltado à produção de objetos tridimensionais a partir da deposição de camadas de material, controlada digitalmente por softwares específicos. Essa tecnologia possibilita a confecção de diferentes produtos, desde próteses personalizadas até modelos experimentais. Entre as técnicas mais difundidas, destaca-se a impressão por filamento fundido devido à sua facilidade operacional, ampla aplicabilidade e relação favorável entre custo e benefício. Nessa modalidade, o material polimérico, em forma de filamento, é gradualmente aquecido e extrudado por um bico de precisão sobre a plataforma de construção, promovendo a conformação final da peça.

Dessa forma, a indústria de próteses veterinárias tem adquirido relevância significativa e apresenta avanços expressivos na medicina veterinária. As próteses atuam não apenas como substitutas de membros locomotores (torácicos ou pélvicos), mas também como dispositivos que promovem maior estabilidade da marcha e melhoria

da qualidade de vida dos animais. Os métodos de fabricação convencionais, embora eficazes, apresentam elevado custo e menor acessibilidade. Nesse contexto, a manufatura aditiva, especialmente por meio da impressão 3D, destaca-se como alternativa promissora, possibilitando produção ágil, economicamente viável e com elevado grau de personalização, de acordo com a condição clínica e a necessidade funcional de cada paciente (Tussi, 2022).

Um dos principais diferenciais da impressão 3D está na variedade de materiais disponíveis, cada um com propriedades específicas que permitem otimizar o desempenho e o conforto das próteses para os animais. Entre os mais utilizados estão o PLA (ácido polilático), biodegradável e fácil de imprimir, o ABS (acrilonitrila butadieno estireno), mais resistente ao impacto e ao calor; e o PETG (polietileno tereftalato glicol), possui resistência mecânica, boa flexibilidade e aderência entre camadas, sendo o mais indicado para próteses que exigem durabilidade e exposição a diferentes condições ambientais (Besko et., 2017).

A realização deste trabalho tem como principal objetivo contribuir para a melhoria da qualidade de vida dos animais amputados por meio do desenvolvimento e aperfeiçoamento de próteses personalizadas para cães resgatados e acolhidos em abrigos.

Metodologia

Delineamento do Estudo

O presente estudo teve como objetivo promover a reabilitação em modelo animal amputado a partir da produção de prótese em impressão 3D. Trata-se de uma cadela, com cinco anos de idade, atendida em uma clínica veterinária em Santa Teresa – ES, no qual foi necessária uma cirurgia de amputação do membro dianteiro do animal. A prótese foi produzida no laboratório 3D Lab ESFA, com apoio da clínica Veterinária Dr. Laurindo da Costa Neto, ambos da Escola Superior São Francisco de Assis, Santa Teresa – ES. O embasamento científico deste estudo foi realizado por meio de livros e artigos científicos, nas bases de dados Google Acadêmico, Biblioteca Virtual da ESFA, SciELO, Repositórios Institucionais, entre outros.

Produção da Prótese

A produção da prótese foi realizada por meio de modelagem e impressão 3D, utilizando tecnologia de manufatura aditiva para confecção de estruturas personalizadas voltadas à reabilitação animal. O modelo digital da prótese foi obtido na base de dados *Cults3D*, que possui arquivos em formato compatível com *softwares* de edição tridimensional. Foi necessário realizar ajustes com base em medidas anatômicas do animal a ser beneficiado, utilizando *softwares* de modelagem 3D Builder (Microsoft®) e Blender (Blender®).

Após a definição e preparação do modelo digital, foi realizada o fatiamento do arquivo por meio do software Creality Print (Creality®), definindo-se os parâmetros de impressão como espessura de camada (0,20mm), preenchimento (35%), velocidade (300mm/s) e temperatura de extrusão (250°C). A impressão foi produzida em uma impressora 3D do tipo FDM (*Fused Deposition Modeling*), modelo Creality K1C, utilizando filamento de Polietileno Tereftalato Glicol (PETG), por suas características de alta resistência mecânica, boa aderência e flexibilidade.

A produção foi monitorada durante todo o processo da impressão para verificação de falhas e controle dimensional. Após a confecção, as peças foram submetidas a acabamento manual, sendo necessário o lixamento, revestimento e ajustes de encaixe. A fixação da prótese no animal foi planejada de acordo com a espécie e a região corporal a ser reabilitada, priorizando segurança, conforto e funcionalidade.

Aspectos Éticos

A pesquisa foi conduzida em conformidade com os princípios éticos que regem o uso de animais em experimentação e reabilitação, seguindo as diretrizes estabelecidas pelo Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA) e pela Lei nº 11.794/2008. Antes da realização de qualquer procedimento envolvendo animais, o projeto é submetido à apreciação e aprovação do Comitê de Ética no Uso de Animais (CEUA) da instituição.

Todas as etapas que envolveram contato direto com os animais, como coleta de medidas anatômicas, adaptação e fixação das próteses, foi realizada por profissionais habilitados, garantindo o bem-estar, a segurança e a minimização de qualquer desconforto ou sofrimento. A escolha do animal foi baseada em critérios clínicos e

priorizada a utilização de indivíduos com indicação veterinária para reabilitação protética, respeitando os princípios dos 3Rs (Redução, Refinamento e Substituição).

Além disso, os tutores dos animais participantes assinaram um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), contendo informações detalhadas sobre os objetivos, benefícios, riscos e cuidados envolvidos no estudo. A confidencialidade das informações dos animais e de seus tutores será mantida durante todas as etapas da pesquisa.

Resultados

A prótese torácica foi otimizada e produzida a partir das medidas obtidas junto à cadela Mel, da raça Shih-tzu, com 7,5 kg e amputação completa do membro torácico direito associada à remoção da clavícula (escapulectomia). Em síntese, neste estudo observa-se uma sequência integrada de procedimentos que incluíram avaliação morfométrica, modelagem digital tridimensional, e produção manufatura aditiva.

Inicialmente, foram obtidas as mensurações morfométricas necessárias para o dimensionamento do dispositivo (**Fig. 2**). As medidas registradas circunferência torácica, distância da axila à escápula, altura do cernelha, comprimento torácico, esterno ao solo e axila ao solo constituíram a base para o escalonamento do modelo protético e permitiram determinar com precisão os pontos de contato da prótese com o tronco, bem como a altura de compensação necessária para corrigir o desequilíbrio decorrente da ausência do membro torácico direito. Essas dimensões são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Tabela das dimensões e respectivas medidas.

Dimensão	Medida
Circunferência do tórax	40,8 cm
Comprimento torácico	17,5 cm
Distância da axila esquerda à escápula	32,0 cm
Distância da axila ao chão	16,5 cm
Distância do esterno ao chão	13,4 cm
Altura da cernelha	26,0 cm

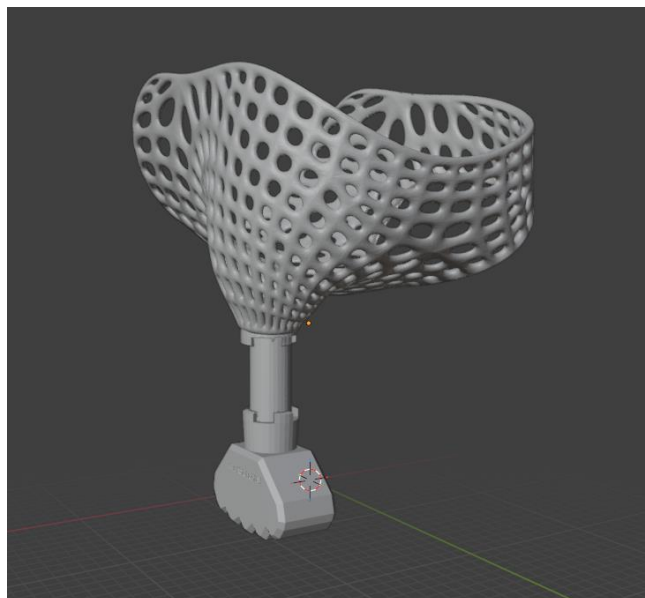
Figura 2 – Mensuração do membro torácico para planejamento e modelagem de prótese 3D.



Com os valores definidos, iniciou-se o processo de modelagem tridimensional, utilizando-se um arquivo base, de licença aberta, obtido na plataforma Cults3D. O modelo selecionado foi importado para o *software* Blender (Blender®), no qual foram

realizadas as correções de escala necessárias para ajustá-lo às medidas do paciente, seguidas de refinamento topológico da malha poligonal (**Fig. 3**).

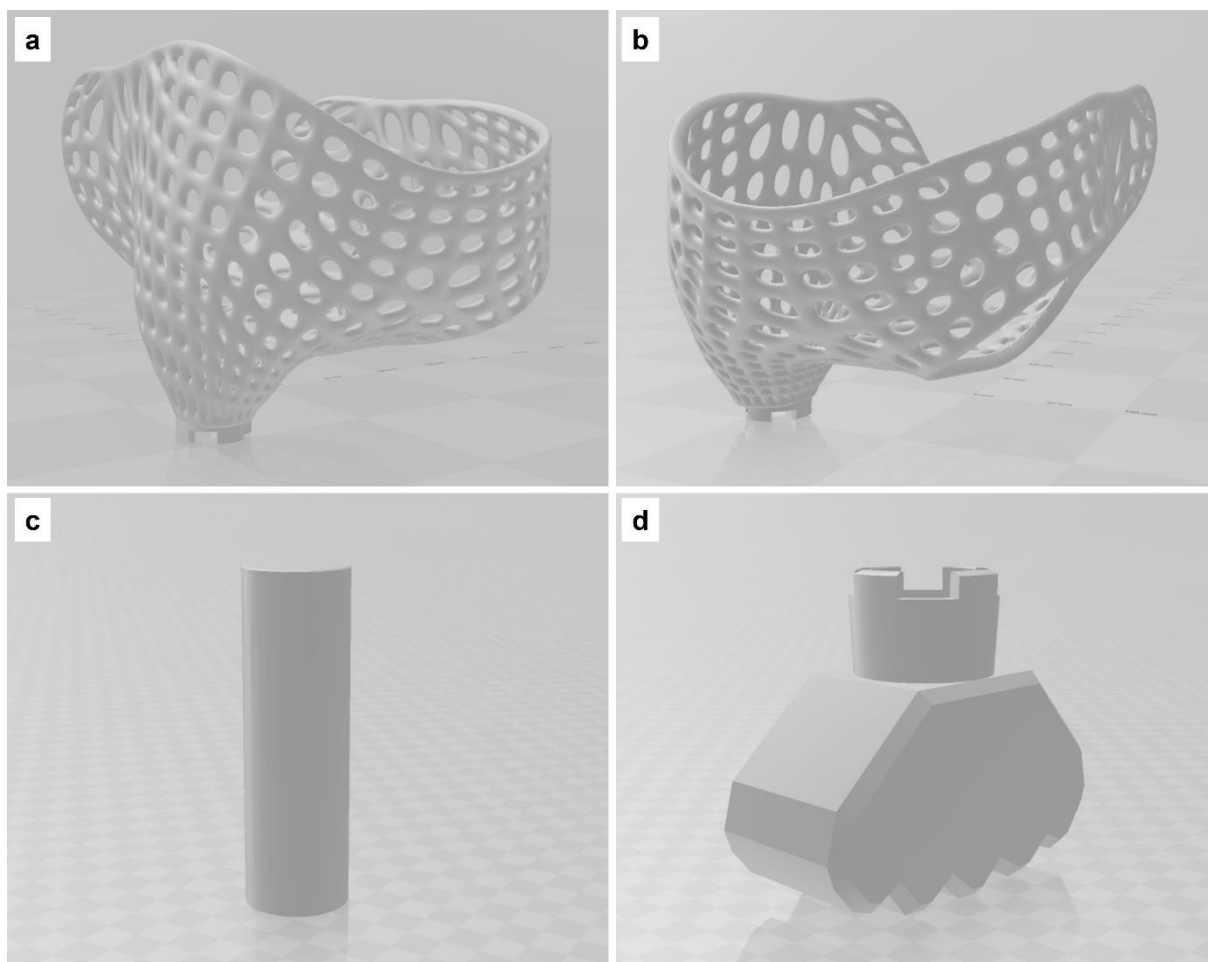
Figura 3 – Modelagem e redimensionamento da prótese no *software* Blender®.



Esse refinamento envolveu suavização de superfícies, redistribuição dos vértices para garantir continuidade geométrica e reforço das regiões sujeitas a maior tensão mecânica, como o apoio ventral e a região torácica lateral. Também foram remodelados os contornos axilares e as curvaturas do hemitórax direito, com o objetivo de minimizar atritos e aprimorar o conforto durante a marcha.

Após essa etapa, o arquivo foi transferido para o 3D Builder (Microsoft®), onde foram realizadas verificações de integridade da malha, remoção de artefatos superficiais e ajustes finais relacionados à conformação das superfícies internas e externas, assegurando que a geometria estivesse apta para o processo de manufatura aditiva (**Fig. 4**).

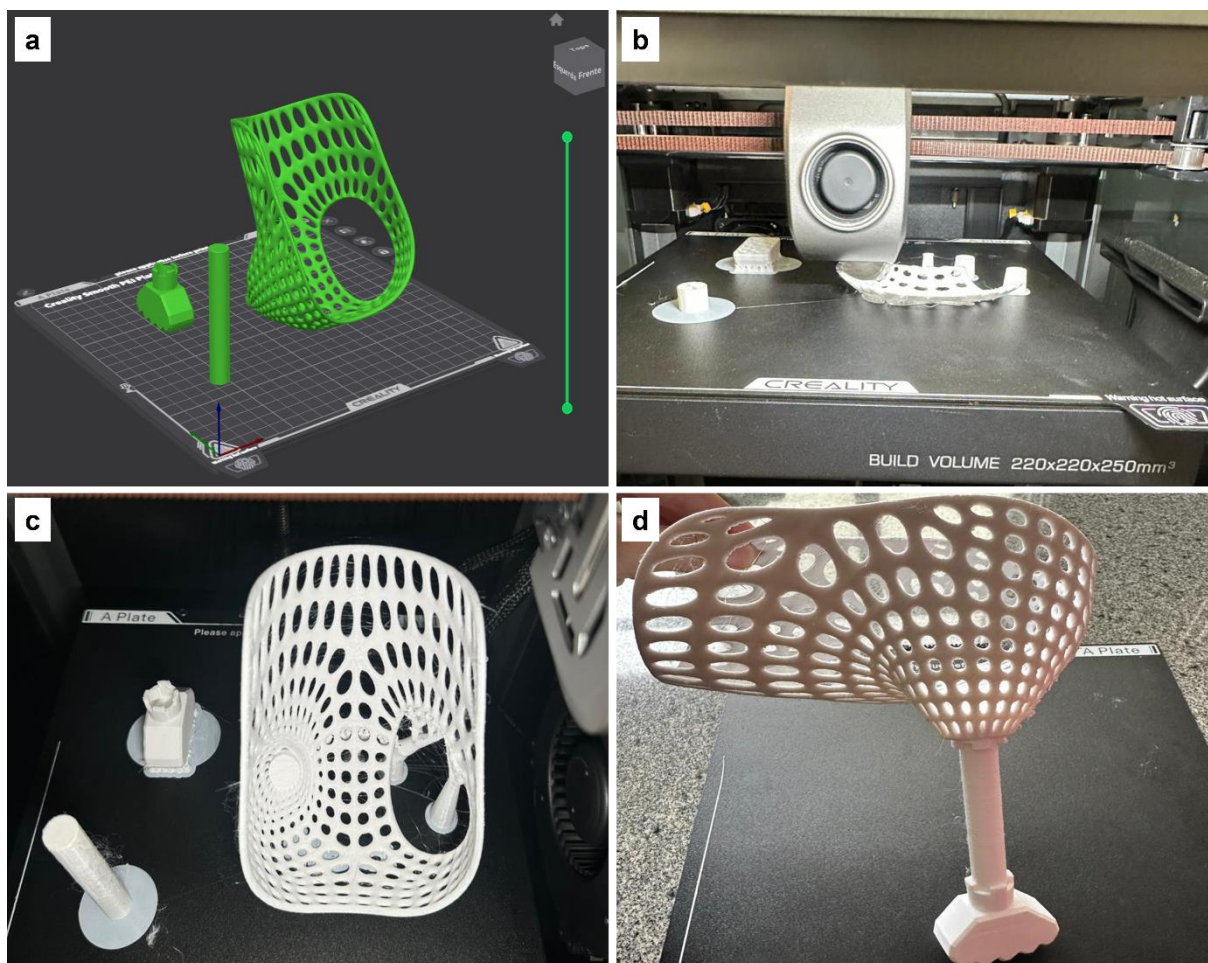
Figura 4 – Prótese completa no software 3D Builder®. Em a) observa-se a visão frontal do modelo perfurado da prótese, destacando o design orgânico e a distribuição uniforme dos alvéolos estruturais. Em b) observa-se a visão lateral, evidenciando o contorno anatômico adaptado ao hemitórax e a curvatura de encaixe axilar. Em c) observa-se o pino cilíndrico de fixação, utilizado como elemento estrutural para acoplamento entre prótese e base de sustentação. Em d) observa-se a base de apoio da prótese, responsável pela estabilidade do conjunto e pela interface com o solo.



A preparação para impressão ocorreu no *software* Creality Print (Creality®), responsável pelo fatiamento do modelo. Nessa etapa, foram definidos parâmetros técnicos como espessura de camada, densidade de preenchimento, padrões de suporte, velocidade de extrusão e temperaturas de impressão compatíveis com o material selecionado. A configuração final buscou atingir um equilíbrio entre resistência estrutural, leveza da peça e fidelidade geométrica, especialmente devido às curvaturas anatômicas complexas presentes na prótese. A impressão foi concluída sem falhas de extrusão ou delaminação entre camadas, resultando em uma peça íntegra e com boa qualidade superficial. Após a manufatura, realizou-se a remoção

dos suportes e um leve acabamento superficial, visando eliminar arestas que pudessem gerar pontos de pressão no paciente.

Figura 5 – Prótese completa em escala reduzida. Em a) observa-se o fatiamento no software Creality Print®. Em b) observa-se o estágio inicial da produção na impressora Creality K1C. Em c) observa-se a prótese em escala reduzida finalizada. Em d) observa-se a prótese em escala reduzida com montagem finalizada.



Discussão

Os resultados deste trabalho reforçam a viabilidade técnica e o valor clínico da manufatura aditiva para a produção de próteses veterinárias personalizadas. A precisão das mensurações morfométricas realizadas no cão como circunferência torácica, altura e distâncias axilares possibilitou a adaptação de um modelo tridimensional de forma a maximizar tanto o conforto quanto a distribuição de carga, minimizando pontos de pressão e promovendo uma melhor aderência à anatomia do paciente. Essa abordagem está em consonância com práticas consolidadas na literatura, especialmente no estudo de Vidal et al. (2022), no qual a prototipagem

rápida foi empregada para o desenvolvimento de uma prótese torácica e de uma cadeira de rodas destinadas a um cão de pequeno porte, utilizando-se medidas corporais precisas do animal para modelagem nos softwares Tinkercad® e Vectary®, posteriormente impressas.

A semelhança metodológica entre os dois estudos fortalece o argumento de que a manufatura aditiva é uma estratégia efetiva e acessível para dispositivos ortopédicos veterinários. No trabalho de Vidal, embora tenha havido alguma limitação na fixação da prótese no coto do animal, os autores destacaram a importância da modelagem anatômica precisa e das medidas personalizadas para melhorar a adaptação do dispositivo.

A fase de modelagem tridimensional demonstrou benefícios claros da personalização digital. A utilização do Blender® para suavização da malha, adaptação da curvatura axilar e reforço estrutural é coerente com a abordagem moderna de integração de design computacional e manufatura aditiva para próteses caninas. Estudos recentes destacam como o design computacional pode otimizar a geometria da prótese para reduzir peso sem comprometer a resistência. Sarpong, Khanafer e Sheikh (2025) compararam dois modelos de prótese torácica para cães, um sólido e outro perfurado, através de análise por Elementos Finitos (FEA), e encontraram que o modelo perfurado ofereceu uma boa relação entre resistência (fator de segurança aceitável) e flexibilidade, o que é muito relevante para conforto e eficiência nas aplicações veterinárias.

Na etapa de impressão 3D, a escolha de parâmetros de fatiamento que priorizaram um preenchimento otimizado, espessura de camada adequada e suportes mínimos garantiu que a prótese fosse construída sem delaminação, mantendo integridade estrutural mesmo nas regiões complexas. Esse sucesso técnico está em concordância com relatos recentes de casos clínicos. Souza et al. (2025) descrevem o desenvolvimento de uma exoprótese 3D para um cão com amputação de membro pélvico, utilizando PLA como material, e relatam que após ajuste e fixação, o animal conseguiu suportar peso, redistribuir carga e usar a prótese de maneira funcional.

Além disso, seria interessante investigar a durabilidade da prótese sob uso prolongado, em ciclos de carga repetida, para avaliar a fadiga do material

(especialmente se for PLA ou outro polímero 3D) e a possibilidade de microdanos. Isso é particularmente relevante tendo em vista que alguns modelos relatados na literatura empregam análises de elementos finitos para estimar segurança estrutural sob carga estática (Sarpong et al. 2025), mas ainda faltam estudos longitudinais com uso real em animais para avaliar desempenho dinâmico.

Embora o dispositivo tenha sido completamente projetado e fabricado, não foi possível realizar o teste funcional da prótese na cadela Mel, por motivos alheios ao escopo técnico do estudo. Ainda assim, essa limitação não compromete o propósito central da pesquisa, que consistiu em desenvolver, a partir de um caso real, um modelo protético torácico personalizado, utilizando medidas morfométricas precisas e técnicas contemporâneas de modelagem e manufatura aditiva. A utilização da Mel como referência anatômica permitiu gerar um protótipo fiel às dimensões e curvaturas do tórax de um animal amputado, garantindo aplicabilidade prática e relevância clínica mesmo sem a etapa de validação *in loco*.

Apesar da ausência de teste de adaptação e marcha, o presente trabalho fornece evidência empírica sólida sobre a viabilidade da produção de próteses veterinárias personalizadas em ambiente laboratorial, contribuindo para o avanço do uso de tecnologias 3D na medicina veterinária. Estudos subsequentes devem incluir a avaliação funcional em pacientes reais, com análise cinemática e acompanhamento longitudinal, a fim de verificar conforto, durabilidade, eficiência na redistribuição de carga e impacto sobre a qualidade de vida. A ampliação da amostra e a inclusão de métricas biomecânicas quantitativas serão essenciais para consolidar e aprimorar o modelo aqui desenvolvido.

Conclusão

O presente estudo demonstrou a viabilidade técnica da utilização de mensurações morfométricas, modelagem tridimensional e manufatura aditiva para o desenvolvimento de uma prótese torácica personalizada para cães amputados. A partir das medidas obtidas da cadela Mel, foi possível criar um dispositivo ajustado às curvaturas anatômicas do hemitórax e às necessidades de compensação postural decorrentes da ausência do membro torácico. O fluxo de produção, desde a seleção do modelo base, ajustes de escala e refinamento topológico até a impressão 3D e o

acabamento final, evidenciou a aplicabilidade prática das ferramentas digitais e dos materiais de impressão atualmente disponíveis.

Embora não tenha realizado o teste funcional da prótese na paciente utilizada como referência, a construção do protótipo cumpriu o objetivo inicial do estudo, que era dispor de um animal real como base anatômica para o desenvolvimento do dispositivo, garantindo fidelidade dimensional e realismo estrutural. A ausência de validação *in vivo* representa uma limitação, mas não inviabiliza a contribuição tecnológica do trabalho, que estabelece uma metodologia reprodutível para futuras pesquisas e aplicações clínicas.

Esse modelo protético pode servir como ponto de partida para aprimoramentos futuros, incluindo testes de adaptação, avaliações biomecânicas, análises de durabilidade e desenvolvimento de métodos de fixação mais eficientes para animais amputados. Dessa forma, o estudo reforça o potencial da manufatura aditiva como ferramenta acessível e promissora para a produção de próteses veterinárias personalizadas, contribuindo para avanços na reabilitação e na qualidade de vida de pacientes amputados.

Agradecimentos

Nós, alunas, juntamente com nosso orientador, agradecemos à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES) pelo apoio concedido por meio da bolsa de fomento, que possibilitou a aquisição da impressora 3D e dos materiais necessários ao desenvolvimento desta pesquisa. O incentivo oferecido pela FAPES foi essencial para a realização e consolidação deste projeto.

Referências

ADAMSON, C. et al. Assistive devices, orthotics and prosthetics. ***Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice***, v. 35, p. 1441–1451, 2005.

ARAÚZ, P. et al. Advances in veterinary rehabilitation: techniques and outcomes. ***Veterinary Sciences***, v. 8, n. 1, p. 1–15, 2021. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8654758/>. Acesso em: 30 jun. 2025.

CHANDLER, M. L. Rehabilitation techniques for small animals. ***The Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice***, v. 44, n. 5, p. 1035–1050, 2014. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25432679/>. Acesso em: 30 jun. 2025.

DA SILVEIRA, E. E. et al. Canine skull digitalization and three-dimensional printing as an educational tool for anatomical study. ***Journal of Veterinary Medical Education***, v. 48, n. 6, p. 649–655, 2021.

DE SOUZA, M. M. N. et al. 3D exoprosthesis in socket model for dog with amputated pelvic limb: case report. ***BMC Veterinary Research***, v. 21, n. 1, p. 113, 2025. doi: 10.1186/s12917-025-04574-6.

LEONARDI, L. et al. A pilot study on the use of 3D printers in veterinary medicine. ***Brazilian Journal of Veterinary Pathology***, v. 14, n. 3, p. 159–164, 2021.

MENDEZA-DeCAL, R.; PESO-FERNÁNDEZ, S.; RODRIGUEZ-QUIROS, J. Orthotics and prosthetics by 3D printing: accelerating its fabrication flow. ***Research in Veterinary Science***, v. 162, p. 104960, 2023. doi: 10.1016/j.rvsc.2023.104960.

SARPONG, J.; KHANAFER, K.; SHEIKH, M. 3D-printed prosthetic solutions for dogs: integrating computational design and additive manufacturing. ***Designs***, v. 9, n. 5, p. 107, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/designs9050107>

SOUZA, M. M. N.; ANTONIOLI, M. C.; SANTOS, M. H. M.; VÉRAS, B. M. S.; CARVALHO, L. R. R. A. 3D exoprosthesis in socket model for dog with amputated pelvic limb: case report. ***BMC Veterinary Research***, v. 21, n. 1, p. 113, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12917-025-04574-6>

VIDAL, B. D. B. L. G. **Uso de prototipagem rápida na confecção de prótese e cadeira de rodas para cão**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Medicina Veterinária) – Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2022.

WAGNER, J. R. et al. Complications and owner satisfaction associated with limb amputation in cats: 59 cases (2007–2017). ***BMC Veterinary Research***, v. 18, n. 1, p. 147, 2022.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SILVA, T. A.; SANTOS, B. A. Prototipagem rápida na medicina veterinária: revisão. **PUBVET**, v. 16, n. 1, p. 1–6, 2022. DOI: <https://doi.org/10.31533/pubvet.v16n01a1013.1-6>.

ARAÚZ, P. et al. Advances in Veterinary Rehabilitation: Techniques and Outcomes. **Veterinary Sciences**, v. 8, n. 1, p. 1-15, 2021. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8654758/>. Acesso em: 30 jun. 2025.

BASTIAN, N. C. **Distribuição de força estática em cães com membros amputados**. Dissertação (Mestrado em Medicina Veterinária) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil, [ano não informado].

CABRAL, M. J. M. **Prótese para auxílio na mobilidade de cães amputados impressa em 3D**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2021.

CARVALHO, J. A. **Amputações de membros inferiores em busca da plena reabilitação**. 2. ed. Barueri, SP: Manole, 2003.

CARVALHO, L. R. R. A. 3D printed orthopedic prostheses for domestic and wild birds—case reports. **Scientific Reports**, v. 14, p. 7989, 2024.

CIPRIANO, A. F. et al. **Desenvolvimento de próteses assistivas para cães com deficiência motora utilizando impressão 3D e filamento de PET reciclado**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Técnico em Mecânica) – Escola Técnica de Assis Pedro D’Arcádia Neto, Assis, 2024. Disponível em: <https://ric.cps.sp.gov.br/handle/123456789/27331>. Acesso em: 31 mar. 2025.

CHANDLER, M. L. Rehabilitation techniques for small animals. **The Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice**, v. 44, n. 5, p. 1035–1050, 2014. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25432679/>. Acesso em: 30 jun. 2025.

CROUCILLO, A. P. R.; ARRUDA, J. D.; FRANCO, L. J. V.; LEITE, J. F.; CARVALHO, M. R. Avaliação das características mecânicas do PLA, impressa em 3D, para aplicação em próteses em animais de pequeno e médio porte. **Tecnologia em**

Metalurgia, Materiais e Mineração, v. 15, n. 3, p. 221–225, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/2176-1523.1593>

FOSSUM, T. W. **Cirurgia de pequenos animais**. 4. ed. Brasil: Elsevier, 2014.

GALIZA JÚNIOR, A. C. M.; OLIVEIRA, V. H. Concepção de um dispositivo para auxílio à locomoção de caninos. 2020. Projeto de Graduação (Curso de Engenharia) – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Brasília, 2 dez. 2020.

HULSE, D.; HYMAN, B. **Biologia e biomecânica das fraturas**. In: SLATTER, D. (ed.). *Manual de cirurgia de pequenos animais*. 2. ed. São Paulo: Manole, 2007. v. 2, cap. 126, p. 1785–1792.

MELO, M. E. S.; OLIVEIRA, J. H. S. **Prototipagem de membro torácico canino e cadeira de rodas com uso de impressão 3D**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Centro Universitário de Brasília, Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas, Brasília, 2022. Disponível em: <https://repositorio.uniceub.br/jspui/handle/prefix/17268>. Acesso em: 31 mar. 2025.

MENDAÇA-DE-CAL, R.; PESO-FERNANDEZ, S.; RODRIGUEZ-QUIROS, J. Orthotics and prosthetics by 3D-printing: accelerating its fabrication flow. **Research in Veterinary Science**, v. 162, p. 104960, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2023.10496>

MILLIS, Darryl L.; LEVINE, Daniel. **Canine Rehabilitation and Physical Therapy**. 2. ed. St. Louis: Elsevier Saunders, 2014.

PIERMATTEI, D. L.; FLO, G. L.; DECAMP, C. E. **Ortopedia e tratamento de fraturas de pequenos animais**. 4. ed. Barueri, SP: Manole, 2009. 896 p.

SOUZA, M. M. N.; ANTONIOLI, M. C.; SANTOS, M. H. M.; VÉRAS, B. M. S.; CARVALHO, L. R. R. A. 3D exoprosthesis in socket model for dog with amputated pelvic limb: case report. **BMC Veterinary Research**, v. 21, n. 1, p. 113, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12917-025-04574-6>

TEIXEIRA, Mariana Filipa Madanços. **Simulação biomecânica de próteses para cães**. 2021. Dissertação de Mestrado. Instituto Politecnico do Porto (Portugal).

THOMAS, C.; AMSELLEM, P.; NASCENE, D.; HUANG, Y.-H. Orthopedic applications of 3D printing in canine veterinary medicine. **Frontiers in Veterinary Science**, v. 12, p. 1582720, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3389/fvets.2025.1582720>

TUSSI, L. **Sobre rodas: projeto adaptativo de uma prótese em impressão 3D para um cão com membros pélvicos amputados**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2022.