

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

LAIS TUSSI

**SOBRE RODAS: PROJETO ADAPTATIVO DE UMA PRÓTESE EM IMPRESSÃO
3D PARA UM CÃO COM MEMBROS PÉLVICOS AMPUTADOS**

GUARAPUAVA

2022

LAIS TUSSI

**SOBRE RODAS: PROJETO ADAPTATIVO DE UMA PRÓTESE EM IMPRESSÃO
3D PARA UM CÃO COM MEMBROS PÉLVICOS AMPUTADOS**

***On wheels: Adaptive design of a 3D printed prosthesis for a dog with amputated
pelvis limbs***

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentada como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. David Lira Nunez.

GUARAPUAVA

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

LAIS TUSSI

**SOBRE RODAS: PROJETO ADAPTATIVO DE UMA PRÓTESE EM IMPRESSÃO
3D PARA UM CÃO COM MEMBROS PÉLVICOS AMPUTADOS**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentada como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 15/06/2022

Professor Dr. David Lira Nunez
Membro 1
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Elisa Cristina Dobrowolski
Membro 2

Lucas Franco Wrege
Membro 3
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

GUARAPUAVA

2022

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho ao meu melhor amigo (In memoriam) dos últimos 13 anos, Stark. Que infelizmente partiu antes da conclusão desse trabalho, mas que esteve comigo nos últimos anos me mostrando que o amor dos cães é o mais puro existente.



“Um cachorro não se importa se você é rico ou pobre, inteligente ou idiota, esperto ou burro. Um cão não julga os outros por sua cor, credo ou classe, mas por quem são por dentro. Dê seu coração a ele e ele lhe dará o dele. É realmente muito simples, mas, mesmo assim, nós humanos, tão mais sábios e sofisticados, sempre tivemos problemas para descobrir o que realmente importa. De quantas pessoas você pode falar isso? Quantas pessoas fazem você se sentir raro, puro e especial? Quantas pessoas fazem você se sentir extraordinário?”

— Marley & Eu

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais e meus irmãos que foram meus maiores apoiadores em todos esses anos de universidade, sempre acreditando no meu potencial e me incentivando a seguir em frente.

Ao meu orientador Prof. Dr. David Lira Nunez, que desde o início da graduação acreditou em mim e contribuiu para minha formação de forma significativa, sendo além de professor um amigo.

Ao Rafael Frigo, que me ajudou desde o princípio do trabalho, com sua sabedoria, conhecimento e amizade.

Aos meus amigos, que estiveram comigo em toda essa caminhada e sempre torceram por mim e me apoiaram.

A Adriana, que dispôs de seu tempo para repassar seus conhecimentos com muita gentileza.

A Elisa, que transmitiu todo seu conhecimento de forma didática e clara.

A todos os animais que passaram por minha vida e sempre me deram o mais puro amor.

E a todos que de alguma forma contribuíram para que esse trabalho fosse concluído, meu muito obrigada.

RESUMO

Ao longo dos anos os cães se tornaram parte das famílias brasileiras e com essa inserção do animal ao ambiente familiar, aumentaram também os cuidados aos quais recebem. Antigamente se um cão não possuísse um dos membros pélvicos ou torácicos o cão era enviado para eutanásia ou até mesmo abandonado, entretanto, com o passar dos anos e a empatia a esses animais tornou-se possível a busca pelas técnicas que resolvam esse tipo de problema, como por exemplo a impressão de próteses em impressão 3D. O mercado de impressão 3D voltado a necessidades da área da saúde vem obtendo um crescimento exponencial devido ao baixo custo, rápida prototipagem e possibilidade de prototipagem que atenda às necessidades específicas de cada paciente. Os conhecimentos técnicos da Engenharia mecânica voltados para uma necessidade da Medicina Veterinária fornecem métodos confiáveis e eficazes para estudo e posterior confecção desse tipo de projeto. Em virtude do exposto propôs-se a criação e adaptação de uma prótese para um cão sem os membros pélvicos por meio da modelagem em softwares da engenharia e da impressão 3D, a fim de validar a proposta em um estudo de caso real.

Palavras-chave: Prótese; Impressão 3D; Projeto adaptativo; Cão.

ABSTRACT

In the past, if a dog did not have one of the pelvic or thoracic limbs, the dog was sent for euthanasia or even abandoned, however, over the years, empathy with these animals became possible due to the techniques that solved this type of problem, such as example the printing of prostheses in 3D printing. . The 3D printing market focused on healthcare needs has been experiencing exponential growth due to low cost, rapid prototyping and the possibility of attending the specific needs of each patient. By the technical knowledge of Mechanical Engineering and the need of a Veterinary Medicine project , they provide reliable and effective methods for this study and later making this type of project. Due to the necessity of a valid proposal for the creation and adaptation of a prosthesis project in a 3D project, this study proposes to validate a real case study of a dog without a pelvic limb.

Keywords: Prosthesis; 3D printing; Adaptive design; Dog.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Representação das principais etapas do processo de manufatura por camada.....	18
Figura 2 – Princípio do processo FDM.....	19
Figura 3 – Esquema SLS.....	20
Figura 4 – Esquema SLA.....	21
Figura 5 – Diagrama com ciclo das aplicações utilizando a modelagem específica de pacientes a partir da utilização de imagens médicas.....	22
Figura 6 – Biomodelo para cirurgia de craniossinostose severa, denominada “crânio em folha de trevo”.....	23
Figura 7 – Etapas da produção de um biomodelo do osso coxal de um cão. (A) Imagens real e (B) digitalizada do osso coxal. (C) Biomodelo do osso coxal de um cão produzido com o uso da impressora 3D, nesta imagem pode ser observado osso ainda com a resina do suporte (FDM) e (D) Biomodelo do osso coxal de um cão finalizado.....	23
Figura 8 – Derby, cachorro com má formação congênita nas patas	25
Figura 9 – Derby com as próteses em SLS.....	25
Figura 10 – Guzzy com sua prótese em impressão 3D.....	26
Figura 11 – Shester com sua prótese em impressão 3D.....	27
Figura 12 – Argos com sua cadeira de rodas em impressão 3D.....	27
Figura 13 – Fases da locomoção canina.....	29
Figura 14 – Cão trotando na plataforma de forças.....	31
Figura 15 – Determinação da posição do centro de gravidade.....	32
Figura 16 – Localização do centro de massa (CM) de cada segmento do cão (valores em %) e localização do centro de massa do corpo.....	33
Figura 17– Prótese impressa e montada.....	34
Figura 18 – Fluxograma do método utilizado para desenvolvimento do trabalho.....	35
Figura 19 – Fita métrica utilizada para medições do cão	36
Figura 20 – Boris na postura de sentado.....	36
Figura 21 – Capa protetora modelada em CAD.....	37
Figura 22 – Capa protetora impressa em 3D.....	37
Figura 23 – Borracha de silicone modelada em CAD.....	38
Figura 24 – Borracha siliconada verde pronta para ser posta no fundo da capa protetora.....	38
Figura 25 – Boris, o cão do estudo de caso.....	39
Figura 26 – Boris com os membros pélvicos erguidos.....	40
Figura 27 – Boris sentado.....	40
Figura 28 – Modelagem técnica em CAD.....	41
Figura 29 – Scanner Sense 3D.....	41
Figura 30 – Escaneamento do membro residual.....	42
Figura 31 – Centro de massa do cão antes de ter seus membros pélvicos amputados	43
Figura 32 – Cota de distância do centro de massa do cão sem os membros pélvicos amputados.....	44
Figura 33 – Propriedades fornecidas pelo software Inventor	44
Figura 34 – Centro de massa do cão com os membros pélvicos amputados...	45

Figura 35 – Cota de distância do centro de massa do cão com os membros pélvicos amputados.....	45
Figura 36 – Propriedades fornecidas pelo software Inventor	46
Figura 37 – Prótese, acomodação do membro residual e suporte do cão.....	48
Figura 38 – (a) Roda da prótese. (b) Encaixe de tubos. (c) Arco de sustentação. (d) Tubo de conexão de todas as partes da prótese. (e) Rosca utilizada como tensionador (f) Haste das costas (g) Fita (h) Tubo tensionador/esticador.....	49
Figura 39 – Prótese montada através do Inventor.....	50
Figura 40 – Prótese final.....	51
Figura 41 – Impressora Ender 3.....	52
Figura 42 – Material para impressão.....	52
Figura 43 – Processo de “reset” da impressora.....	53
Figura 44 – Fixador polimérico sendo passado na mesa.....	54
Figura 45 Print da plataforma Ultimaker Cura mostrando como funciona para a inserção de dados e impressão da peça.....	55
Figura 46 – Processo de impressão 3D, fatiamento.....	56
Figura 47 – (1) “Tiara” de sustentação; (2) Ossos que servirão de suporte para inserção da fita nylon; (3) Insertos; (4) Peças de acoplamento das hastes e tubos; (5) Rolamento; (6) Camber; (7) Tampão.....	56
Figura 48 – Montagem de primeira peça da prótese.....	57
Figura 49 – Corte do alumínio para encaixe das peças.....	58
Figura 50 – Encaixe das peças.....	58
Figura 51 – (a) Esticador; (b) Corpo do esticador sem os rosqueadores; (c) e (d) Corpo do esticador sendo lixado para que possa ser acoplado aos insertos; (e) Insertos (f) Um dos lados já lixado e acoplado ao inserto e (g) Corpo do esticador com ambos os insertos acoplados.....	59
Figura 52 – (a) Peça que serve como regulador de distância; (b) Rolamento; (c) Super bonder sendo passado na rosca para acoplamento no rolamento; (d) Rosca sendo acoplada; (e) Rolamento com rosca; (f) e (g) Encaixe das peças na haste de alumínio.....	60
Figura 53 – (a) Realizando o furo no tubo; (b) Tampão; (c) Inserindo o tampão no tubo; (d) Camber e posicionamento do camber para posterior fixação; (e) Rodinhas; (f) Posicionamento da roda para posterior fixação; (g) Inserção do parafuso m8x70; (h) Rosqueamento do parafuso e fixação das peças.....	61
Figura 54 – (a) Inserindo a fita de suporte; (b) Inserindo as hastes de sustentação; (c) Prótese pronta.....	61
Figura 55 – (a) Haste antes; (b) Haste depois da diminuição de 5cm.....	62
Figura 56 – Velcro utilizado para melhor estabilidade do cão.....	63
Figura 57 – Prótese com melhorias implantadas.....	64
Figura 58 –(a) Colete; (b) Travas; (c) Fechos de engate; (d) Hastes com as travas; (e) Prótese finalizada.....	65
Figura 59 – Boris com a prótese finalizada.....	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Materiais utilizados para a confecção das próteses.....	34
Tabela 2 – Comparação entre os valores fornecidos pelo software.....	47
Tabela 3 – Parâmetros utilizados para impressão da prótese.....	55
Tabela 4 – Materiais e preço da confecção da prótese 1.....	66
Tabela 5 – Materiais e preço da confecção da prótese 2.....	67

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3D	Três dimensões (do inglês – <i>Three dimensions</i>)
CAD	Projeto Assistido por Computador (do inglês - Computer-Aided Design)
CAE	Engenharia Assistida por Computador (do inglês - Computer-Aided Engineering)
FDM	Modelagem por Fusão e Deposição (do inglês - Fused Deposition Modeling)
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
PLA	Ácido Polilático (do inglês - Polylactic Acid)
SLA	Estereolitografia (do inglês - STereoLitho-graphy)
SLS	Sinterização a Laser (do inglês - Selective Laser Sintering)
STL	Estereolitografia (do inglês - STereoLitho-graphy)
TC	Tomografia Computadorizada (do inglês - Computerized Tomography)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Justificativa.....	15
1.2	Objetivos	16
1.2.1	Objetivo Geral.....	16
1.2.2	Objetivos Específicos	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1	TECNOLOGIA DE IMPRESSÃO 3D.....	17
2.1.1	Etapas do processo de impressão 3D.....	18
2.1.1.1	Modelagem por Fusão e Deposição (FDM).....	19
2.1.1.2	Sinterização Seletiva a Laser (SLS)	20
2.1.1.3	Estereolitografia (SLA)	21
2.1.2	Aplicações da impressão 3D na área da saúde	21
2.2	Impressão 3D aplicada em próteses caninas	24
2.3	Biomecânica do cão.....	28
2.3.1	Locomoção canina	28
2.3.2	Análise cinética e cinemática da locomoção canina.....	30
2.3.3	Amputação de membros caninos	31
3	ASPECTOS METODOLÓGICOS.....	33
4	CONCEPÇÃO E DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	39
4.1	ESTUDO DE CASO	39
4.2	MÉTODOS PARA OBTENÇÃO DO FORMATO DO MEMBRO RESIDUAL.....	40
4.3	CENTRO DE MASSA DO CÃO	42
4.4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	47
4.4.1	Modelagem da prótese.....	47
4.4.2	Impressão da prótese.....	51
4.4.3	Montagem da prótese.....	57
4.4.4	Testes de validação no cão.....	62
5. CONCLUSÃO		68
	REFERÊNCIAS.....	70
	ANEXO A - Vista explodida da prótese	74

1 INTRODUÇÃO

De acordo com pesquisas do IBGE (2018), o Brasil é o segundo país do mundo com a maior população canina. Os cães chegam a um número de 54,2 milhões nos lares brasileiros. Esse número apenas cresce ao longo dos anos, pois cada vez mais as pessoas procuram por um animal de estimação para ter companhia, dar e receber afeto e atenção.

Os cães se popularizaram como “o melhor amigo do homem” quando George Graham Vest, um senador, ficou conhecido pela defesa de um fazendeiro que buscava justiça pela morte do seu cão, o qual foi morto por um vizinho. Desde sua defesa, automaticamente ao ouvir a frase “o melhor amigo do homem” apenas um animal vem à mente: o cão.

O único amigo desinteressado que um homem pode ter neste mundo egoísta – aquele que nunca é ingrato ou traiçoeiro – é seu cão. Senhores jurados, o cão permanece com seu dono na prosperidade e na pobreza, na saúde e na doença. [...] ele lambe as feridas e as dores que aparecem nos encontros com a violência do mundo. [...] Quando todos os amigos o abandonarem, ele permanecerá. Se a fortuna arrasta o dono para o exílio, sem amigos e sem abrigo, o cão fiel não pede mais do que o privilégio de acompanhá-lo, a fim de protegê-lo contra o perigo, a fim de lutar contra seus inimigos. E quando a cena final se apresenta e a morte leva o dono em seus braços [...] não importa que todos os amigos sigam seu caminho; lá, ao lado de sua sepultura, se encontrará o nobre cão, [...] fiel e verdadeiro até à morte. (GEORGE..., 2020).

Segundo teorias, os cães hoje conhecidos, são descendentes de lobos. Por meio do DNA notou-se que tem apenas 0,2% de diferenciação entre ambas as espécies. Os homens selecionaram, treinaram e domesticaram esses lobos, até que fosse possível chegar à evolução que se tem hoje, de cães domésticos (LOPES, K. R. F., et. al, 2012).

Embora ainda não seja possível definir com certeza em qual momento da história o cão abandonou seu instinto selvagem e tornou-se o animal doméstico que conhecemos hoje, essa interação entre homem-animal é considerada como benéfica, seja para saúde física ou mental do indivíduo. Tendo os cães assumido um papel importante nas famílias humanas, tanto como um executor de tarefas ou como companheiro para seus donos (LOPES, K. R. F., et. al, 2012).

E é a partir dessa importância que os cães passaram a desfrutar de alguns luxos. A medicina que avança para os seres humanos, avança igualmente para os

animais. Muitos cães são portadores de necessidades especiais e as famílias estão muito mais dispostas a investir em remédios e cura para seus animais de estimação. Alguns animais se tornam mais dependentes de seus tutores devido a problemas de saúde ou deficiências motoras, que além de limitar suas atividades normais como brincadeiras e caminhadas, acabam por gerar ansiedade e estresse ao animal (AGUIAR et. al, 2014).

Para Bartenieff (1990) a locomoção é o deslocamento do corpo no espaço ao qual o indivíduo se encontra. Sendo de extrema importância para qualquer ser vivo, pois é através dela que o indivíduo tem a possibilidade de ir e vir e realizar suas necessidades e tarefas (MENEZES et. al, 2020).

De acordo com Diehl (1998) a deficiência motora pode ser classificada como um comprometimento físico que restringe os movimentos do indivíduo. Podendo ter diversas causas, sendo elas de fatores traumáticos, genéticos ou fisiológicos. As lesões na medula espinhal podem ser causadas por quedas, lesões, traumas automobilísticos ou fraturas patológicas (SHORES, 1990).

Desse modo, a indústria das próteses tem progredido na área veterinária, pois as próteses para substituição de um membro (pélvico ou anterior) além de proporcionarem melhor qualidade de vida ao animal, permitem a estabilização da marcha canina. Entretanto, sabe-se que os processos de fabricação convencionais têm um custo elevado, dessa forma a manufatura aditiva se torna atrativa, devido a rápida fabricação e baixo custo, além das próteses em impressão 3D permitirem a personalização de acordo com a necessidade do animal.

Para a produção de uma prótese canina une-se o conhecimento da área da engenharia, tecnologia e medicina veterinária. A análise da marcha do animal é de vital importância para o desenvolvimento do produto, pois as forças que o animal exerce ao caminhar ou correr estão sempre oscilando (SCHMIDTNIELSEN, 2002).

Nesse contexto, criando a sinergia entre Engenharia Mecânica e Medicina Veterinária, torna-se possível um estudo de caso onde pode ser analisado o custo da fabricação de uma prótese, sua funcionalidade, resistência e até a fase de adaptação do cão à prótese. Dessa forma, reduz-se o risco de falha precoce da prótese e evita-se que haja superdimensionamento nos componentes do conjunto, implicando em menor peso e custo e maior eficácia.

A importância da realização do presente trabalho visa proporcionar melhores

condições de locomoção para um cão de uma cuidadora de cães da cidade de Guarapuava, chamado Boris.

1.1 Justificativa

A Engenharia Mecânica tem um vasto campo de atuação, podendo auxiliar nos mais diferentes segmentos. Tendo em vista que o campo da impressão 3D aplicada a área da saúde tem ganhado um espaço notório e que os animais estão cada vez mais inseridos nas famílias brasileiras, o trabalho em questão integra a área de Engenharia Mecânica com a Medicina Veterinária, afim de proporcionar conforto e qualidade de vida ao cão Boris e, futuramente, a outros cães que necessitem de prótese, por meio dos conhecimentos técnicos de ambas as áreas que serão aplicados ao projeto de uma prótese em impressão 3D.

O presente trabalho, tem como maior aporte realizar melhorias em uma prótese já desenvolvida para o cão Boris, aliando o conhecimento técnico da mecânica voltado para uma necessidade da veterinária.

Devido a amputação, o cão sofre de instabilidade na locomoção. Dessa forma, a principal melhoria e maior aporte desse trabalho é a questão da fixação das extremidades da prótese, para que seja possível ajustar de maneira que o cão consiga se locomover sem instabilidade.

O método utilizado para modelagem da geometria do membro residual do cão foi totalmente empírico, entretanto, existe a possibilidade de realizar a modelagem através do escaneamento 3D (Scanner Sense 3D) ou até mesmo por meio de modelagem positiva e negativa, o que torna o processo mais eficaz, preciso e rápido.

Assim, a importância desse trabalho tem como fim realizar melhorias em uma prótese já existente, ou seja, o trabalho se enquadra dentro do desenvolvimento de um projeto adaptativo, de modo que seja proporcionado ao cão o melhor conforto possível com as melhores soluções, a fim de que o protótipo existente possa ser otimizado e possibilitar que o presente trabalho sirva de referência para desenvolvimento de próteses para outros cães com dificuldades parecidas ao desse estudo de caso.

1.2 Objetivos

Para o correto entendimento da proposta que este trabalho pretende apresentar, são detalhados a seguir os objetivos geral e específicos.

1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver um projeto adaptativo de uma prótese de locomoção de membros pélvicos de um cão.

1.2.2 Objetivos Específicos

A seguir são listados os objetivos específicos que devem ser alcançados:

- Elencar os conhecimentos envolvidos na Medicina Veterinária para o desenvolvimento de próteses caninas;
- Realizar análise das variáveis envolvidas na concepção de próteses para membros pélvicos, relacionando os tipos de amputação e a cinemática envolvida;
- Estudar os métodos de manufatura adequados para o desenvolvimento de um protótipo de prótese;
- Validar as melhorias da prótese proposta num estudo de caso real.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 TECNOLOGIA DE IMPRESSÃO 3D

As impressoras 3D vêm sendo estudadas e desenvolvidas há 30 anos, sendo máquinas capazes de criar objetos em três dimensões. As primeiras tecnologias surgiram em 1980, sendo chamadas de prototipagem rápida, baseada na adição de material em camadas planas e tendo como grande diferencial a facilidade de automatização, pois dispensa moldes e ferramentas, utilizando para sua fabricação informações geométricas oriundas de programas de Projeto Assistido por Computador (CAD – do inglês (*Computer Aided Design*)), onde as informações geradas são enviadas para o sistema que executa o trabalho de forma automatizada, não sendo necessária a intervenção de um operador (VOLPATO, 2007).

O dono da patente das impressoras 3D é Charles Hull, um engenheiro físico que movido pela necessidade de fabricar peças e objetos de maneira mais rápida, em 1986 criou a Estereolitografia (SLA), o primeiro protótipo de tecnologia que hoje é conhecida como impressora 3D. Charles foi também o fundador da 3D Systems Corp., empresa de impressão 3D mundialmente renomada até os dias atuais. E foi a partir de 1991 que começaram a surgir as primeiras máquinas de Modelagem por Fusão e Deposição (FDM) e Sinterização Seletiva a Laser (SLS) (VILICIC, 2012).

A impressão 3D é um termo comercial para um processo de manufatura aditiva, tendo em vista que a matéria-prima usada é adicionada camada por camada, até chegar ao formato do objeto final. Sendo uma de suas maiores vantagens a rapidez na capacidade de produção, o baixo custo empenhado no projeto e a flexibilidade na criação de objetos. A partir de 1999, ocorreram muitos avanços na área da medicina devido ao desenvolvimento da tecnologia em impressão 3D, em menos de 10 anos cientistas construíram uma perna protética, imprimiram os primeiros vasos sanguíneos e projetaram um rim funcional em miniatura (GOLDBERG, 2014).

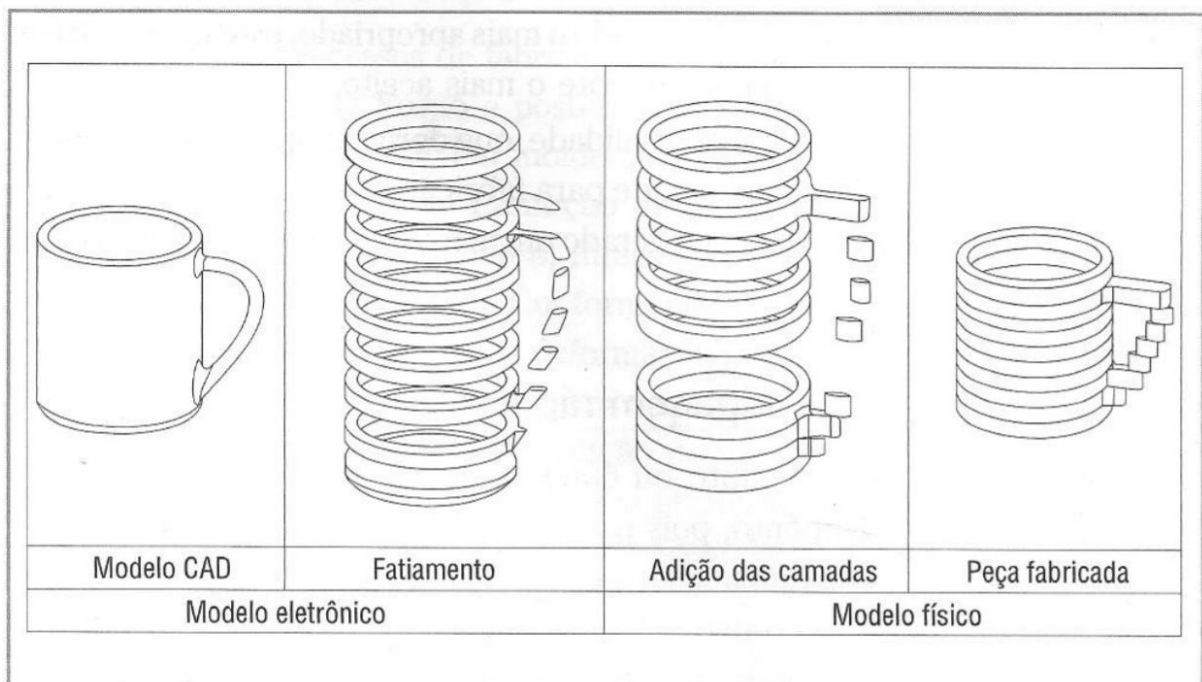
A utilização das máquinas de prototipagem vem crescendo exponencialmente nos últimos anos e essa popularização se deve a evolução dos processos, bem como a diminuição dos custos das matérias primas e do maquinário. A tecnologia da impressão 3D é aplicada nos mais variados setores, sendo eles:

automotivo, médico, aeroespacial e no desenvolvimento de produtos de consumo geral (PORTO, T. M. S., 2016).

2.1.1 Etapas do processo de impressão 3D

Desde a concepção num programa CAD até a produção do objeto, existem algumas etapas, a Figura 1 é uma representação das principais etapas do processo de manufatura por camada.

Figura 1: Representação das principais etapas do processo de manufatura por camada.



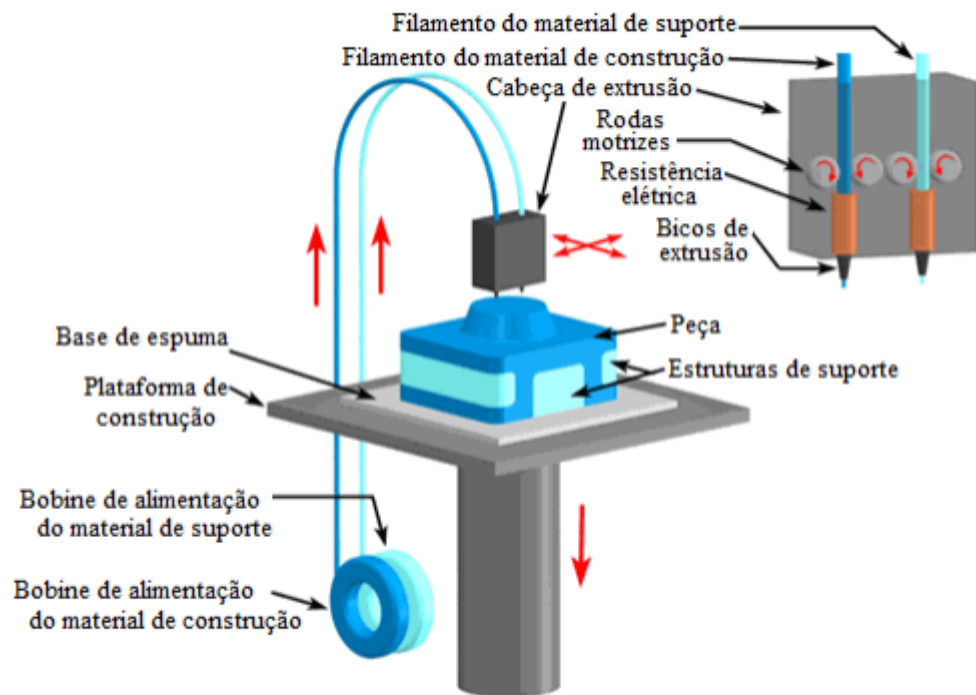
Fonte: (Volpato, 2007).

De acordo com Volpato (2007), as etapas podem ser resumidas em 6, começando pela modelagem tridimensional da peça em um sistema CAD, onde após modelada ocorre a geração da geometria 3D da peça no padrão STL (*STereoLitho-graphy* – aproximação da superfície da peça usando malha de triângulos), então é realizada a verificação do arquivo de dados e feito um planejamento do processo para a fabricação por camada (fatiamento e definição de suporte e estratégias de deposição de material) e finalmente enviado para a fabricação. Após fabricada a peça, há o pós-processamento, onde é realizada a limpeza e acabamento da peça.

2.1.1.1 Modelagem por Fusão e Deposição (FDM)

É a técnica mais utilizada no mercado, devido ao preço e facilidade. A máquina é formada por um cabeçote que se movimenta nos eixos x e y e por uma plataforma responsável por transladar verticalmente. Nesse tipo de modelagem são utilizados materiais termoplásticos que são aquecidos até atingirem seu ponto de fusão, a partir disso são modelados em camadas, até atingir o formato do objeto desejado. O processo pode levar minutos ou horas, dependendo da complexidade do objeto e qualidade da impressora. Na Figura 2 está ilustrado o processo de FDM (PORTO, T. M. S., 2016).

Figura 2: Princípio do processo FDM.

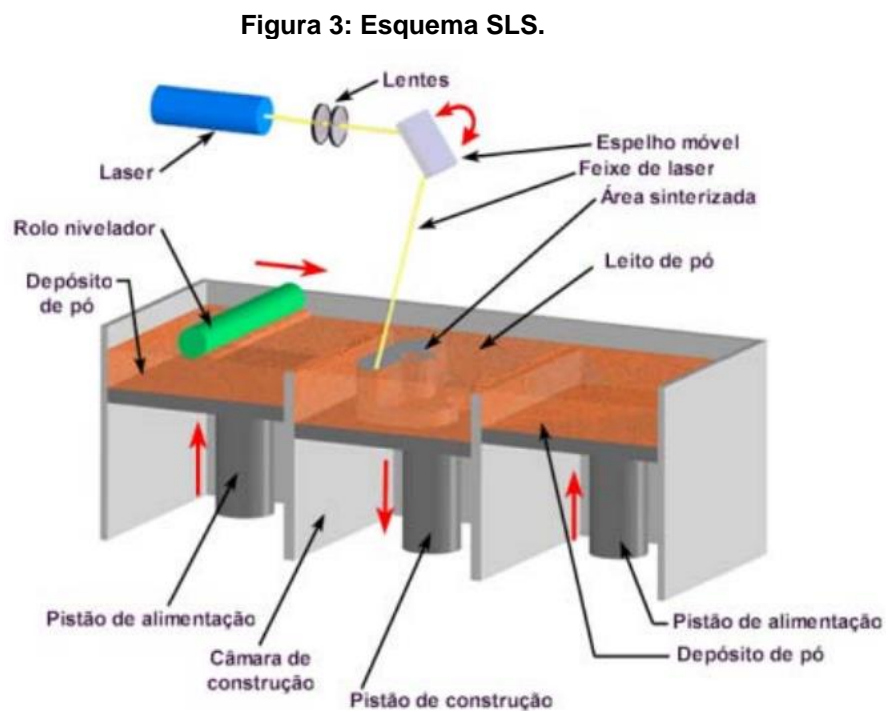


Fonte: (PROTOFAST, 2014).

A modelagem em FDM tem algumas vantagens, como por exemplo, pouco desperdício de material e menor necessidade de limpeza, além de ocupar menos espaço que as demais tecnologias de impressão 3D, além da produção de peças funcionais, com resistência mecânica similar as peças injetadas. Esse tipo de modelagem é mais utilizada para fabricação de produtos menos exigentes, com menor acabamento, como produtos customizáveis para comercialização e atividades acadêmicas (RAULINO, 2011).

2.1.1.2 Sinterização Seletiva a Laser (SLS)

A Sinterização Seletiva a Laser (SLS) é o mais caro dos métodos, quando comparado ao FDM e SLA, isso se deve aos objetos produzidos nesse método serem mais resistentes, embora com menor acabamento superficial. É um processo que produz objetos tridimensionais pela superposição de camadas homogêneas de polímeros em pó. Nesse processo a câmara de impressão é preenchida com um pó que quando atingido e aquecido por feixes de laser entra em fusão, formando camadas e repetindo o processo até chegar no objeto desejado. A Figura 3 esquematiza o processo de SLS (PORTO, T. M. S., 2016).



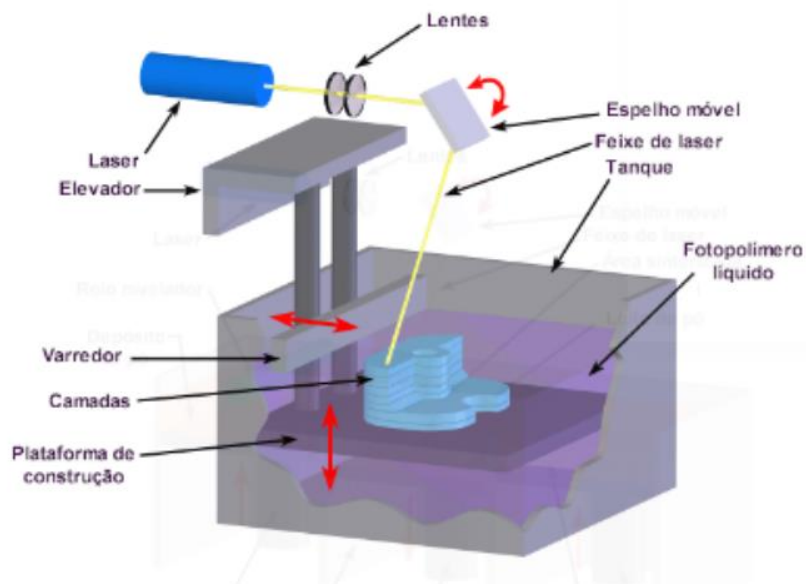
Fonte: (ICHI, 2010).

É um dos métodos mais utilizados na indústria aeroespacial e automobilística devido a sua alta resistência. Além de ter a possibilidade de utilizar diversos materiais (elastômeros, cerâmicas, poliamidas e metais com polímeros aglutinantes) para a produção dos objetos (GRIMM, 2005).

2.1.1.3 Estereolitografia (SLA)

A SLA foi a pioneira entre as técnicas de impressão 3D. Seu processo de fabricação é semelhante ao da SLS, utilizando de um laser para solidificar as camadas que são feitas de resina (acrílica, epóxi ou vinil). Nessa técnica, ocorre a polimerização de resinas fotossensíveis por meio de um feixe de laser ultravioleta, que ao entrar em contato com a resina solidifica-a, formando camadas que vão se acumulando enquanto a base da plataforma desce e imerge na cuba. A Figura 4 ilustra esse processo (BADOTTI, 2003).

Figura 4: Esquema SLA.



Fonte: (ICHI, 2010).

Essa tecnologia de impressão (SLA) produz peças com riqueza de detalhes, além de produzir objetos mais complexos e resistentes e é em virtude disso que seu custo de compra, manutenção, operação e materiais são mais elevados se comparados aos outros métodos (FDM e SLS). Sendo bastante utilizada na indústria médica, em próteses, componentes espaciais e joias (KARASINSKI, 2013).

2.1.2 Aplicações da impressão 3D na área da saúde

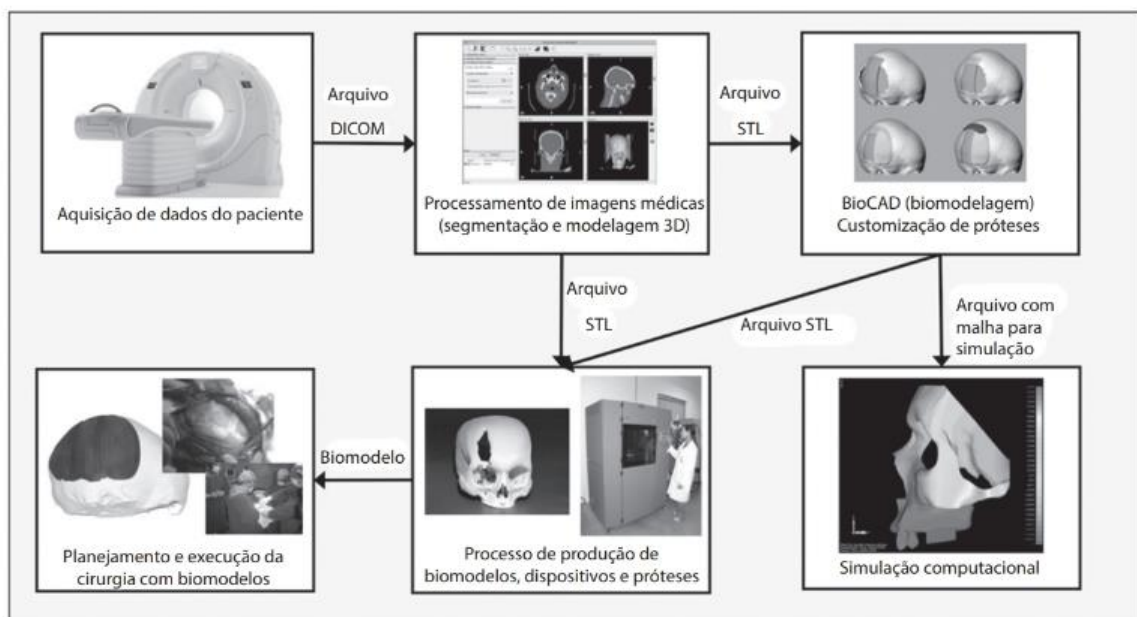
De acordo com Volpato (2017), os primeiros trabalhos da manufatura aditiva na área da saúde começaram em 1990. O avanço tecnológico permite que inovações como a impressão 3D sejam aplicadas em salas de aula e facilitem o processo de ensino-aprendizagem, por meio de modelos didáticos e realísticos que

simulem o funcionamento dos sistemas corpóreos. Na área da saúde a impressão 3D vem sendo empregada na medicina humana, veterinária e odontologia para a fabricação dos biomodelos (SEARS et al., 2016).

A biomodelagem é a reprodução das características morfológicas de uma estrutura anatômica em uma estrutura física, começando pela biomodelagem virtual e na sequência a física, mais conhecida como protótipo (SILVA, 2014). Os biomodelos apresentam algumas vantagens na área da saúde, tais como: redução do tempo dos procedimentos operatórios, redução do período da anestesia, bem como dos riscos de infecção e a diminuição da necessidade de várias cirurgias para obtenção do resultado desejado, impactando também nos custos do tratamento médico (HESPEL, WILHITE & HUDSON, 2014).

Na Figura 5 é mostrado um ciclo com as possibilidades de aplicação de modelos computacionais obtidos por scanners médicos.

Figura 5: Diagrama com ciclo das aplicações utilizando a modelagem específica de pacientes a partir da utilização de imagens médicas.

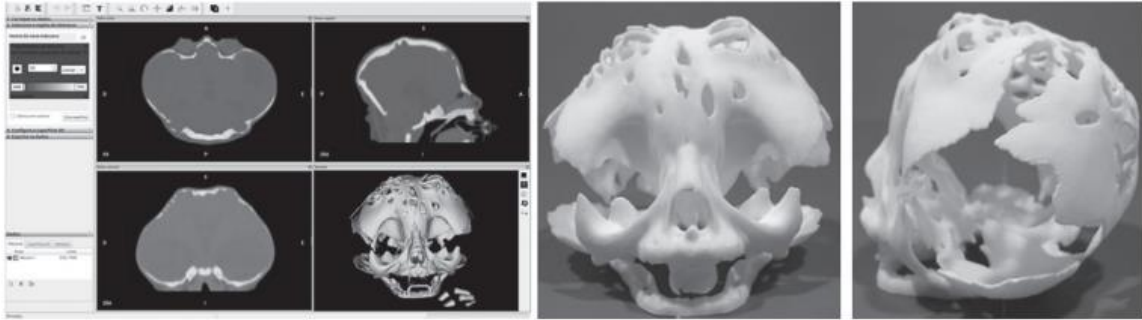


Fonte: (VOLPATO, 2017)

A Figura 6 mostra à esquerda as imagens de um modelo de impressão 3D baseado em imagens de Tomografia Computadorizada (CT do inglês – *Computerized Tomography*) e à direita o modelo já impresso em material poliamida utilizando equipamento HiQ da 3D Systems. As imagens são referentes a um crânio

de um bebê com uma anomalia rara e de difícil tratamento, conhecida como “crânio em folha de trevo”. O modelo em questão foi utilizado no Hospital Beneficência Portuguesa de São Paulo - SP (VOLPATO, 2017).

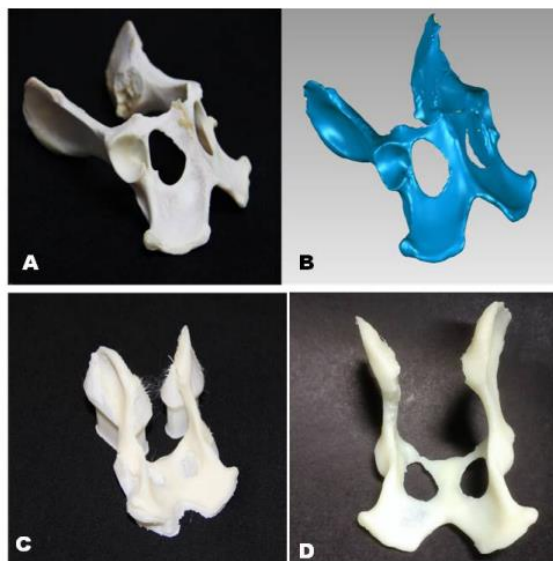
Figura 6: Biomodelo para cirurgia de craniossinostose severa, denominada “crânio em folha de trevo”.



Fonte: (VOLPATO, 2017)

Na Figura 7 é possível observar as etapas de produção de um biomodelo de osso coxal de um cão na impressão 3D, com as imagens digitalizadas e posteriormente a peça impressa.

Figura 7: Etapas da produção de um biomodelo do osso coxal de um cão. (A) Imagens real e (B) digitalizada do osso coxal. (C) Biomodelo do osso coxal de um cão produzido com o uso da impressora 3D, nesta imagem pode ser observado osso ainda com a resina do suporte (FDM) e (D) Biomodelo do osso coxal de um cão finalizado.



Fonte: (FERREIRA, J. S., 2017).

São muitos os benefícios que a impressão 3D está proporcionando no campo da saúde e é graças a essa tecnologia que é possível fabricar próteses de maneira individual, além da fabricação de partes corpóreas complexas como redes vasculares, vasos sanguíneos, olhos, ossos, narizes, entre outros. Um dos grandes motivos da popularização dessa tecnologia é o fato dos projetos serem totalmente customizáveis, respeitando as condições individuais do paciente, o que gera uma melhor adaptação às próteses e órteses e conseqüentemente um maior bem estar, qualidade de vida e reabilitação (CAMPOS, D. C., et al., 2015).

2.2 Impressão 3D aplicada em próteses caninas

Embora a impressão 3D já venha sendo bastante utilizada na medicina humana, ainda está em fase de desenvolvimento e adaptação na medicina veterinária. As próteses são utilizadas quando há amputação dos membros, traumas ou deficiências físicas. A importância da prótese está ligada diretamente a qualidade de vida do cão, pois quando comparados a cães quadrúpedes, os cães com membros amputados apresentam um desvio da marcha normal, o que gera instabilidade e dor ao animal (TEIXEIRA, M. F. M., 2021).

Seguem alguns exemplos de casos reais de cães com próteses em impressão 3D. No primeiro caso, trata-se de Derby, mostrado na Figura 8. Derby nasceu com má formação congênita nas patas dianteiras, o que o impedia de correr e brincar como os demais cães. Seus donos, sem saber lidar com a situação, pretendiam sacrificá-lo, entretanto, Derby foi adotado por Tara Anderson, diretora do departamento de gestão de produtos da 3D Systems. A prótese foi feita de um material novo, que promove certa flexibilidade, capaz de imitar os movimentos de uma perna real, concebida através da técnica de Sinterização Seletiva a Laser (SLS do inglês – (*Selective Laser Sintering*)) (MULLER, 2015).

Figura 8: Derby, cachorro com má formação congênita nas patas.



Fonte: (TecMundo, 2014)

Na Figura 9 é possível visualizar Derby já utilizando a prótese em SLS.

Figura 9: Derby com as próteses em SLS.



Fonte: (GKPB, 2014)

O próximo caso é de uma Chihuahua chamada Guzzy, mostrada na Figura 10. Guzzy nasceu sem as patas dianteiras e a prótese criada para ela pode ser ajustada conforme o tamanho do animal, além de possuir peças ajustáveis que podem ser trocadas em caso de falha/fratura. A prótese possui 3 rodas, o que

permite que apoie os membros anteriores e a cabeça e foi feita à base de resina tipo ABS, sendo uma prótese leve e resistente. Um ponto interessante é que o veterinário criador da prótese em questão disponibilizou-a na internet, tornando possível o acesso de qualquer pessoa que tenha interesse a mesma tecnologia (CANAL DO PET, 2021).

Figura 10: Guzzy com sua prótese em impressão 3D.



Fonte: (CANAL DO PET, 2021).

Os próximos dois projetos de prótese canina em impressão 3D são da empresa Pineal Tecnologias 3D. Shester, mostrado na Figura 11, é um Golden Retriever que passou por uma cirurgia de amputação total do membro anterior direito após sofrer um acidente ao nascer. Se tratando da raça Golden Retriever, os donos não tinham mais interesse no cão, pois com uma pata a menos, dificilmente conseguiriam vendê-lo, então Mariza Ayres o adotou e inseriu-o no projeto Amigo Bicho, onde Shester passou a ser um cão de terapia no hospital de idosos localizado em Curitiba. A prótese de impressão 3D é constituída de “um peitoral anatomicamente desenhado, com um braço do tamanho ideal para ele, um pé com amortecedor e um colete feito sob medida para se fixar no peitoral e dar maior segurança e estabilidade” (Pineal Tecnologias 3D).

Figura 11: Shester com sua prótese em impressão 3D.



Fonte: (Pineal Tecnologias 3D).

Outro caso da Pineal Tecnologias 3D é o de Argos, mostrado na Figura 12, que foi vítima de atropelamento e acabou por perder o movimento dos membros posteriores. É a estrela do projeto Cão de Rodinhas, sua prótese é uma cadeira de rodas em impressão 3D com “barras mais reforçadas, conectores robustos, tipoias de apoio corporal anatômicas, resistentes, macias e respiráveis” (PINEAL 3D, 2020).

Figura 12: Argos com sua cadeira de rodas em impressão 3D.

Argos



Fonte: (PINEAL 3D)

2.3 Biomecânica do cão

A biomecânica é a responsável pelo estudo e análise das forças e aceleração que atuam sobre os indivíduos. Estando os animais sujeitos as mesmas regras, leis e forças que objetos inanimados, a divisão da biomecânica é semelhante a mecânica física, estando dividida em bioestática e biodinâmica. A biodinâmica é subdividida em outras duas categorias: biocinemática e a biocinética (GROSSMAN et al., 1986).

Na biocinemática são analisados os movimentos (deslocamento, velocidade, aceleração) sem que seja levada em conta as forças que os determinam, por exemplo, a análise cinematográfica dos movimentos dos membros de um cavalo em marcha. Na biocinética são estudadas as alterações dos movimentos e as forças que os determinam, por exemplo, a análise das forças nas pernas de um cão ao correr, tornando possível o condicionamento ou reabilitação de maneira eficiente. Já a bioestática é o estudo das forças de equilíbrio do animal, estando ele em repouso (GROSSMAN et al., 1986).

A abordagem biomecânica está diretamente ligada as articulações, pois são nelas que os movimentos ocorrem. Dessa forma, deformidades ou fraquezas musculares que ocorrerem irão influenciar na estabilidade, estática ou dinâmica, fazendo com que o animal precise buscar adaptações musculoesqueléticas compensatórias para a manutenção nas mais diversas posturas e para realização dos movimentos (BOMBONATO et al., 2005; AMADIO; SERRÃO, 2007).

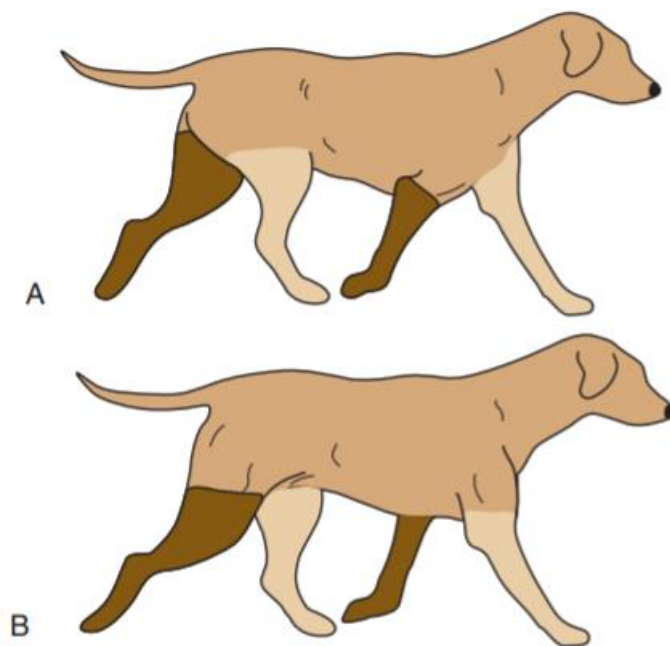
Nos tópicos a seguir serão tratados alguns assuntos que são de grande valia para o desenvolvimento da prótese e para a biomecânica da locomoção.

2.3.1 Locomoção canina

De acordo com Tokuriki (1973), na ciência veterinária é de extrema importância o estudo da locomoção para que seja possível estabelecer tratamentos de desordem do sistema motor. A locomoção é um processo de deslocamento rítmico de todas as partes do corpo do animal, impulsionando-o sempre para frente. (INMAN et al., 1998). Sendo assim, a locomoção é o processo pelo qual o animal se move de um espaço para outro, possuindo início, mudanças na velocidade, parada e alterações na direção de acordo com o espaço em que o animal se encontra.

Há um ciclo de locomoção canino que é definido desde o momento em que ocorre o primeiro toque da pata no solo até o próximo toque dessa mesma pata, concluindo assim um passo, onde cada uma das quatro patas toca no solo apenas uma vez a cada ciclo. Cada ciclo pode ser dividido em fase de apoio e fase de balanço (TEIXEIRA, M., 2021). Na fase de apoio há uma subdivisão onde há o apoio inicial, a desaceleração, a propulsão e o apoio final, ou seja, a fase de apoio corresponde ao tempo em que a pata permanece em contato com o solo. A fase de balanço é o tempo no qual a pata se encontra no ar (GILLETE E ANGLE, 2014). Na Figura 13 esse ciclo é exemplificado, onde os membros com a cor mais clara se encontram na fase de apoio e os membros na cor mais escura se encontram na fase de balanço.

Figura 13: Fases da locomoção canina



Fonte: (Gillete e Angle, 2014)

De acordo com Decamp (1997), o cão pode se mover de diversas formas que podem ser enquadradas em simétricas e assimétricas. Os movimentos simétricos seriam o trote, o passo e a marcha, que são movimentos que acontecem de forma espelhada, ou seja, o movimento se repete da mesma maneira nos dois lados e com um espaçamento de tempo igual. O movimento assimétrico seria o

galope, onde os movimentos acontecem de maneira distinta de ambos os lados com intervalos de espaçamento também distintos.

O trote pode ser interpretado como uma marcha acelerada, onde o corpo é sustentado por duas ou três pernas. Nesse tipo de locomoção, um par de patas em diagonal se encontra na fase de balanço enquanto o outro par de patas está na fase de apoio (GROSSMAN et al., 1986).

O passo é um tipo de locomoção onde o movimento se dá por meio de um par de patas ipsilaterais que estão na fase de balanço enquanto o outro par de patas está na fase de apoio, podendo essas duas fases (balanço e apoio) serem divididas em outras quatro fases, sendo elas: fase de elevação, fase de avanço, fase de contato e fase de apoio (TEIXEIRA, M., 2021).

Na marcha o corpo é sustentado por três membros, sendo o tipo de locomoção mais eficiente e com menor gasto de energia (SILVA, 2006). O galope é considerado o meio de locomoção mais rápido, onde o cão pode ter até três patas no chão ou nenhuma. Com o aumento da velocidade, aumenta-se também o comprimento dos passos, sem aumentar sua frequência, aumentando a fase de balanço e diminuindo a fase de apoio (TEIXEIRA, M., 2021).

A compreensão da locomoção canina se faz necessária para diagnóstico de patologias e para análise da marcha de cães com membros amputados, a fim de compreender a influência que os membros e meios de locomoção canina tem no estado funcional do cão e como os diferentes pesos nos membros decorrentes da amputação geram oscilações (TEIXEIRA, M., 2021).

Um dos métodos de avaliar essas oscilações e a locomoção canina mais utilizados atualmente são as plataformas de força, muito importantes para o entendimento da biomecânica da locomoção (ANDERSON; MANN, 1993).

2.3.2 Análise cinética e cinemática da locomoção canina

O estudo da cinética e cinemática na locomoção canina é de grande interesse, pois através dessa análise é possível diagnosticar anormalidades no movimento, além de avaliar a sustentação e alterações do peso corporal do cão. Embora a avaliação subjetiva seja realizada há tempos, ainda é muito limitada. O olho humano, mesmo se tratando de um especialista no assunto, acaba por não conseguir captar informações necessárias e como qualquer método de análise de movimento, se faz necessário a mensuração correta e exata, o que um sistema

computadorizado de cinemática/cinética é capaz de analisar, capturar e armazenar (GILLETE E ANGLE, 2008).

Um dos principais métodos para avaliar e quantificar as forças envolvidas na locomoção de um cão é a plataforma de força. Na plataforma de força, mostrada na Figura 14, quando o animal pisa na plataforma, os medidores de tensão geram sinais elétricos que são enviados para um processador de dados e um computador. Os sinais coletados ao longo da caminhada/trote, definem em qual fase de apoio da marcha se encontra. A caminhada e o trote são os de melhor análise nesse método devido a simetria e velocidade (WEIGEL E MILLIS, 2014).

Figura 14: Cão trotando na plataforma de forças.



Fonte: (WEIGEL E MILLIS, 2014)

2.3.3 Amputação de membros caninos

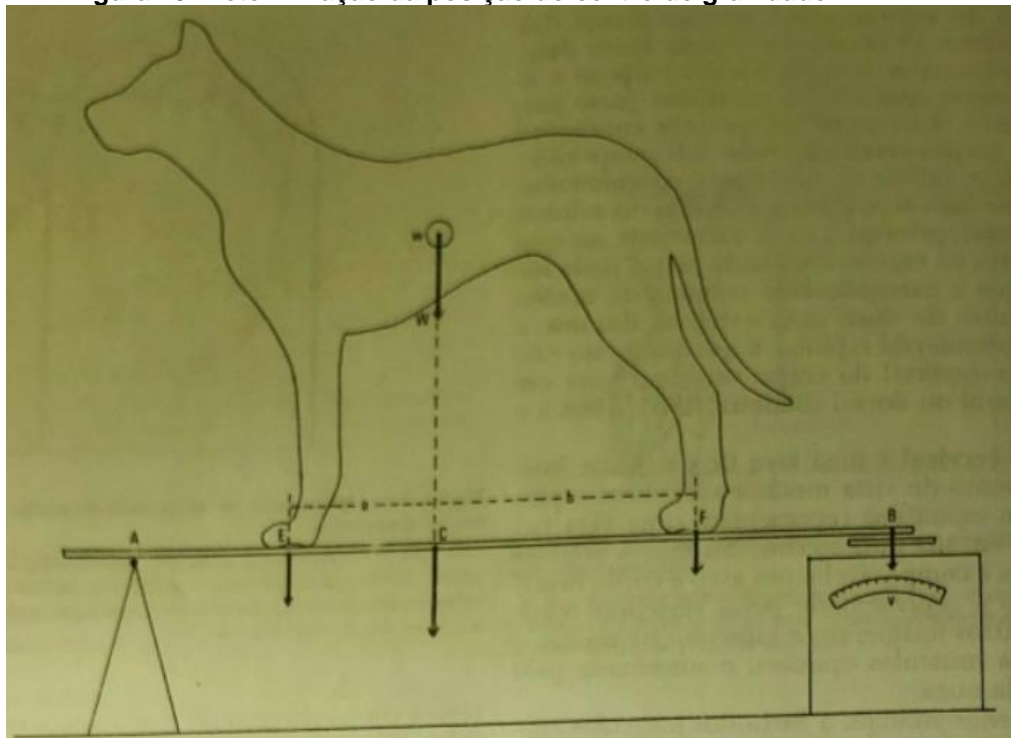
De acordo com Carvalho (2002) a amputação pode ser definida como a retirada de um membro ou parte do corpo (mama, reto, anus, etc), parcialmente ou totalmente, sendo a amputação o procedimento cirúrgico mais antigo (CRENSHAW, 1996). Segundo Leonard (1971), o principal motivo para amputação de cães e gatos na medicina veterinária é o de proteger a vida do paciente, quando infelizmente as lesões evoluem para casos mais sérios, como necrose, neoplasias malignas, entre outras possíveis complicações. Mas em casos de trauma, isquemia, infecção ortopédica, paralisia, deformidade congênita, entre outros, a amputação também é

recomendada. Outra coisa que se deve levar em consideração no momento da decisão da amputação é a adaptação e adequação de cada animal a esse tipo de procedimento, além da aceitação e decisão do proprietário do cão (WEIGEL, 2007).

De acordo com Kipersteijn (1999), a grande maioria dos animais consegue se adaptar bem a locomoção em três patas, entretanto, essa adaptação não proporciona uma boa qualidade de vida, pois essa mudança ocasiona em doenças ortopédicas, ganho de peso devido ao aumento de demanda do metabolismo, menor resistência e mobilidade, alterações no centro de gravidade e redistribuição do peso nos membros.

A distribuição das cargas sobre os membros do animal está relacionada com o centro de gravidade do animal, como mostrado na Figura 15 (GROSSMAN et al., 1986). Segundo Lage (2018) o peso do cão está distribuído em 60% nos membros torácicos (membros frontais) e 40% nos membros pélvicos (membros traseiros).

Figura 15: Determinação da posição do centro de gravidade.

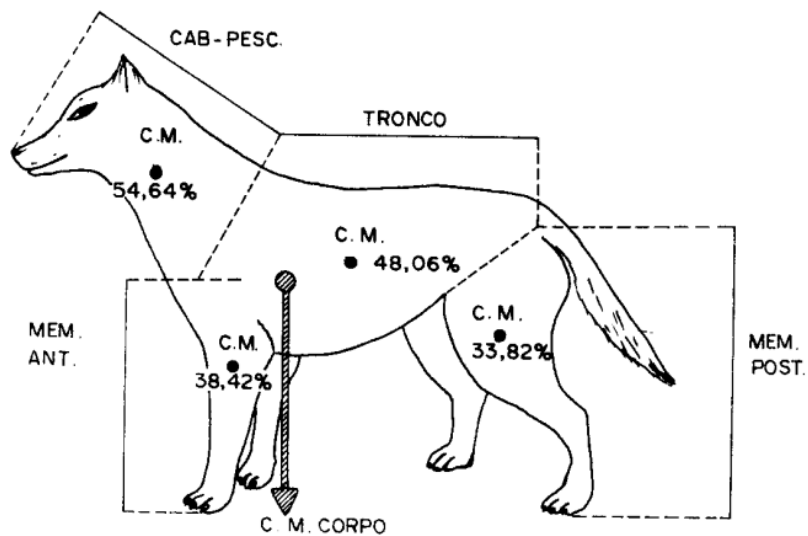


Fonte: (Grossman, 1986).

As amputações de membros torácicos são mais debilitantes do que as realizadas em membros pélvicos, pois quando ocorre a amputação de um membro torácico, os 30% de carga suportados por esse membro se dividem em 17% dessa carga para o membro torácico que permaneceu e os outros 13% de carga irão para

os membros pélvicos. Agora, quando a amputação ocorre em um membro pélvico, os 20% de carga suportados por esse membro se dividem em 6% para o membro pélvico que permaneceu e 14% para os membros torácicos. Na Figura 16 é ilustrada a localização do centro de massa de cada segmento do corpo do cão (TEIXEIRA M., 2021).

Figura 16: Localização do centro de massa (CM) de cada segmento do cão (valores em %) e localização do centro de massa do corpo.



Fonte: (Wheeler et. al, 1992).

A amputação de um membro pode gerar doenças articulares, instabilidade na marcha e queda na qualidade de vida do animal e é dessa forma que a prótese é uma excelente escolha, pois além de estabilizar a marcha e a correta redistribuição do peso, pode devolver a qualidade de vida do cão após sua adaptação à prótese.

3 ASPECTOS METODOLÓGICOS

O presente trabalho, por meio de um estudo de caso, visa realizar a confecção e adaptação de um protótipo de cadeira de rodas em impressão 3D que será utilizada pelo cão Boris.

Na Tabela 1 constam todos os materiais utilizados para a confecção das duas próteses que foram construídas ao longo desse projeto.

Tabela 1: Materiais utilizados para a confecção das próteses.

Material
Alumínio
PLA
Borracha de silicone verde
Velcro
Cola quente
Parafuso M8x30mm
Neoprene
Regulador
Parafuso M8x70mm
Rodinhas
Esticador
Tubo de cola de contato
Ganchos
Super bonder
Fecho de engate
Tecido
Software Inventor 2021
Impressora Ender 3

(Fonte: Autoria própria, 2022)

Para produção dessa prótese faz-se necessários alguns testes de conforto e qualidade, pois o cão tem problemas de cicatrização no membro residual. No TCC 1 havia-se pensado em uma prótese como a mostrada na Figura 17, entretanto, após meses de espera após uma complicação na cicatrização do membro residual, onde não era possível realizar nenhum teste, chegou-se à conclusão que uma prótese onde o membro residual tivesse que encaixar em um recipiente fechado não era a melhor opção para o cão do estudo de caso.

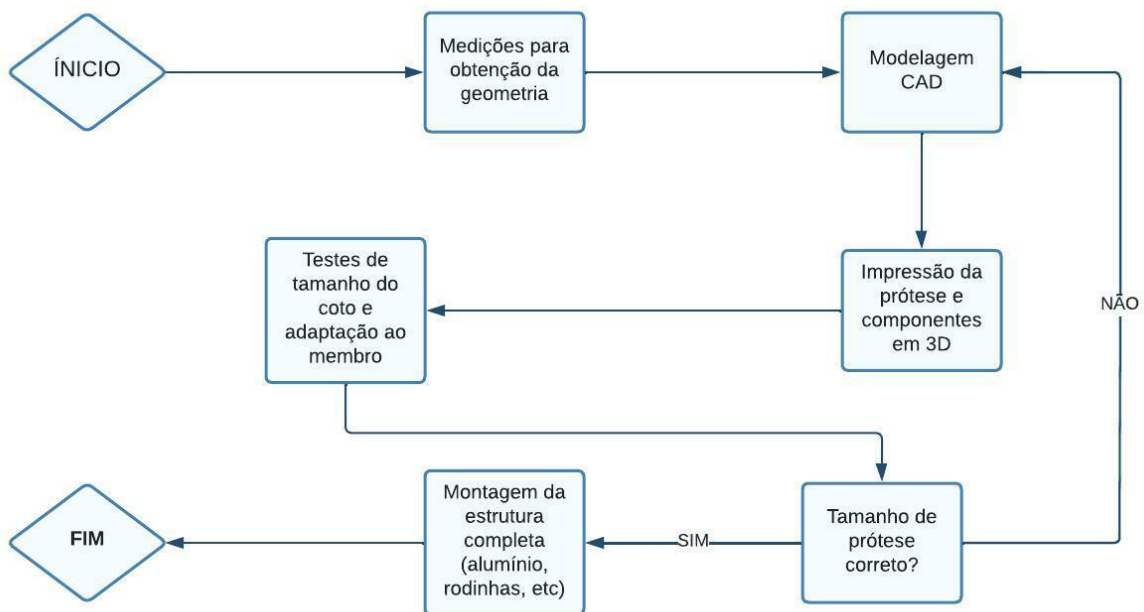
Figura 17: Prótese impressa e montada.

Fonte: (Foto cedida por Rafael Frigo, Hero labs, 2021).

A prótese será utilizada nos membros pélvicos (parte posterior) e será removível, para que o cão possa ter seus momentos de descanso, pois por se tratar de uma prótese canina, não há a possibilidade de sentar ou deitar utilizando-a e o uso prolongado pode causar desconforto e dor ao cão. E como o cão perdeu toda a musculatura na amputação e conseqüentemente o movimento das pernas, torna-se inviável a produção de uma prótese para cada membro residual.

Para a realização do projeto, a elaboração do trabalho dividiu-se em três etapas, sendo elas: Levantamento da geometria do cão e modelagem da geometria do protótipo via CAD para impressão 3D; Impressão da prótese para testes de adaptação e desenvolvimento da estrutura do protótipo; Testes para a validação. A Figura 18 apresenta o fluxograma do método utilizado neste trabalho.

Figura 18: Fluxograma do método utilizado para desenvolvimento do trabalho.



Fonte: (Autoria própria, 2022).

Para o levantamento da geometria do cão utilizou-se de uma fita métrica, mostrada na Figura 19, onde foram coletadas algumas distâncias necessárias para a nova modelagem em CAD.

Figura 19: Fita métrica utilizada para medições do cão.



Fonte: (Autoria própria, 2022).

Na Figura 20 temos o cão Boris, sentado sobre os membros residuais. Pode-se perceber pela foto que o cão perdeu toda a musculatura no local onde ocorreu a amputação.

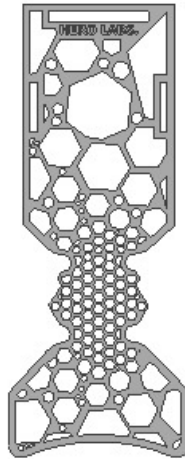
Figura 20: Boris na postura de sentado.



Fonte: (Autoria própria, 2022).

Como já mencionado anteriormente, Boris tem problemas de cicatrização e devido a esse problema, pensou-se em uma capa protetora, mostrada na Figura 21, que tem como objetivo evitar o contato direto e o atrito do membro residual com o chão quando o cão não estiver utilizando a prótese, evitando assim a utilização de curativos diários, permitindo que o membro residual tenha uma boa oxigenação.

Figura 21: Capa protetora modelada em CAD.



Fonte: (Foto cedida por Rafael Frigo, Hero labs, 2021).

Atualmente, um par dessa capa protetora (Figura 22) já se encontra em posse da cuidadora de Boris, para uso e teste se a finalidade será alcançada.

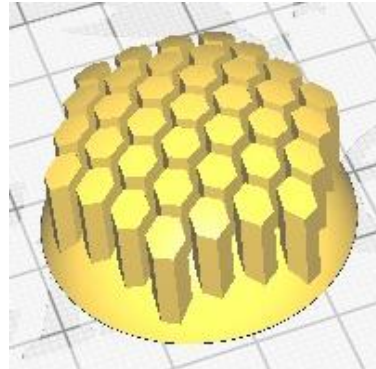
Figura 22: Capa protetora impressa em 3D.



Fonte: (Foto cedida por Rafael Frigo, Hero labs, 2021).

Acoplado ao fundo dessa capa há uma borracha de silicone, que tem como finalidade amortecer e fornecer maior conforto e adaptação. Na Figura 23 é possível observar a modelagem em CAD do molde para fabricação dessa borracha.

Figura 23: Borracha de silicone modelada em CAD.



Fonte: Foto cedida por Rafael Frigo, Hero labs, 2021.

Na Figura 24 é possível observar a borracha siliconada já moldada.

Figura 24: Borracha siliconada verde pronta para ser posta no fundo da capa protetora.



Fonte: Foto cedida por Rafael Frigo, Hero labs, 2021.

Da estrutura mostrada na Figura 17, apenas as hastes de alumínio serão utilizadas na nova prótese, que ao invés de um local para acomodação dos membros residuais será substituída por uma espécie de tela onde os membros residuais ficarão acomodados. A nova prótese irá contar também com um sistema de regulação, pois um dos problemas enfrentados na prótese anterior foi o de que, como Boris perdeu os dois membros pélvicos, seu centro de massa mudou e o cão ainda se encontra em processo de adaptação e quando se movimenta, ainda sem controle absoluto da coluna, não consegue mantê-la estabilizada, fazendo com que

as pernas sejam forçadas “para dentro” da prótese, dessa forma, o sistema de regulagem terá como objetivo estabilizar a andadura do cão além de poder ser uma prótese adaptável a outros cães com características e porte semelhante ao de Boris.

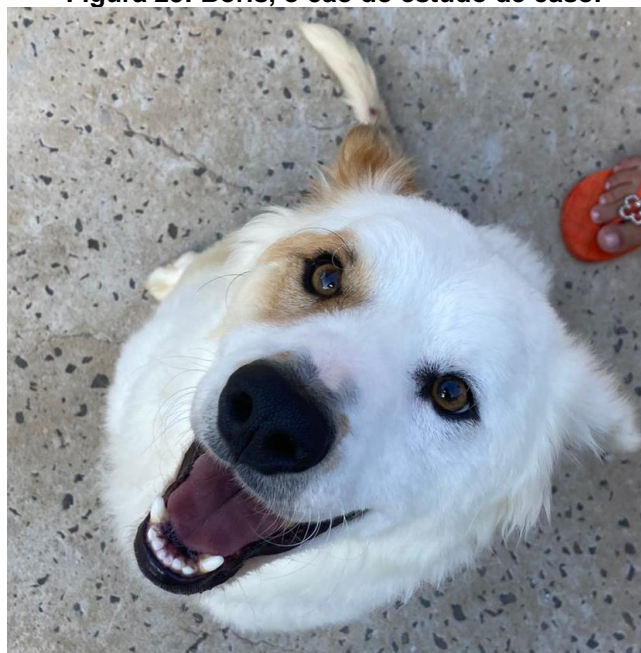
4 CONCEPÇÃO E DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

4.1 ESTUDO DE CASO

Nesse tópico é apresentado como parte do desenvolvimento do trabalho o caso real de um cão de uma cuidadora do município de Guarapuava, sendo Boris o cão utilizado como elemento de estudo para os processos de desenvolvimento da prótese.

Trata-se de um cão sem raça definida, de porte médio, mostrado na Figura 25, que possui ambos os membros pélvicos amputados devido a um atropelamento de carro que acabou por esmagar suas pernas traseiras. Boris possui cerca de 17kg e tem algumas características causadas pelo tipo de amputação que tornam a confecção da prótese um pouco mais complicada. Foi devido as complicações de problema de cicatrização no membro residual e instabilidade na coluna, já mencionadas no capítulo 3, que optou-se por uma remodelagem da prótese, com as adaptações necessárias para maior conforto e ergonomia do cão.

Figura 25: Boris, o cão do estudo de caso.



Fonte: (Autoria própria, 2022).

4.2 MÉTODOS PARA OBTENÇÃO DO FORMATO DO MEMBRO RESIDUAL

Quando realizada a modelagem da primeira prótese, para obtenção da geometria do membro residual utilizou-se do método de modelagem técnica, que muito se assemelha com o método de modelagem orgânica. Para isso, fez-se necessário que fossem tiradas fotos do cão com a postura correta, para posterior modelagem, como mostram as Figuras 26 e 27:

Figura 26: Boris com os membros pélvicos erguidos.



Fonte: (Foto cedida por Rafael Frigo, Hero labs, 2021).

Na Figura 27 Boris está sentado com a postura correta, o que é de extrema importância, pois para que a modelagem seja bem sucedida, faz-se necessário observar o cão em movimentos e posturas que estaria normalmente ao decorrer do dia, para que seja possível observar e analisar o movimento do corpo.

Figura 27: Boris sentado.



Fonte: (Foto cedida por Rafael Frigo, Hero labs, 2021).

Após retirada as fotos, são necessárias algumas medições para a modelagem, como, por exemplo, a da distância do meio do curativo do membro residual até o peitoral do cachorro. Com essa medida é possível redimensionar a foto dentro do software CAD para desenvolver o modelo 3D de forma comparativa com a fotografia tirada, por meio do método técnico, mostrado na Figura 28.

Figura 28: Modelagem técnica em CAD.



Fonte: (Foto cedida por Rafael Frigo, Hero labs, 2021).

Entretanto, esse não é o método de modelagem mais eficaz, tendo outra maneira que garante uma maior precisão das medidas e conseqüentemente da modelagem.

O método mais eficaz de se obter a geometria é através do escaneamento do membro residual, porém também é o método mais caro e de difícil acesso. Um scanner bastante utilizado para essa finalidade é o scanner Sense 3D da 3D System, mostrado na Figura 29.

Figura 29: Scanner Sense 3D.



Fonte: (3Be, 2022).

Para utilização desse sensor sem que ocorram problemas durante o escaneamento, o animal deve manter-se o mais estático possível, evitando assim que a geometria não saia fiel ao membro residual real e que haja problemas na adaptação do animal à prótese. Também é importante se atentar ao pelo do animal, pois se a pelagem do cão for alta, faz-se necessário o uso de filme plástico de PVC para realizar o isolamento do local (DAL CORSO, M. S., 2019).

Na Figura 30 é possível observar o scanner sendo utilizado após o cão ter sido sedado (para que permanecesse imóvel).

Figura 30: Escaneamento do membro residual.



Fonte: (DAL CORSO, M. S., 2019).

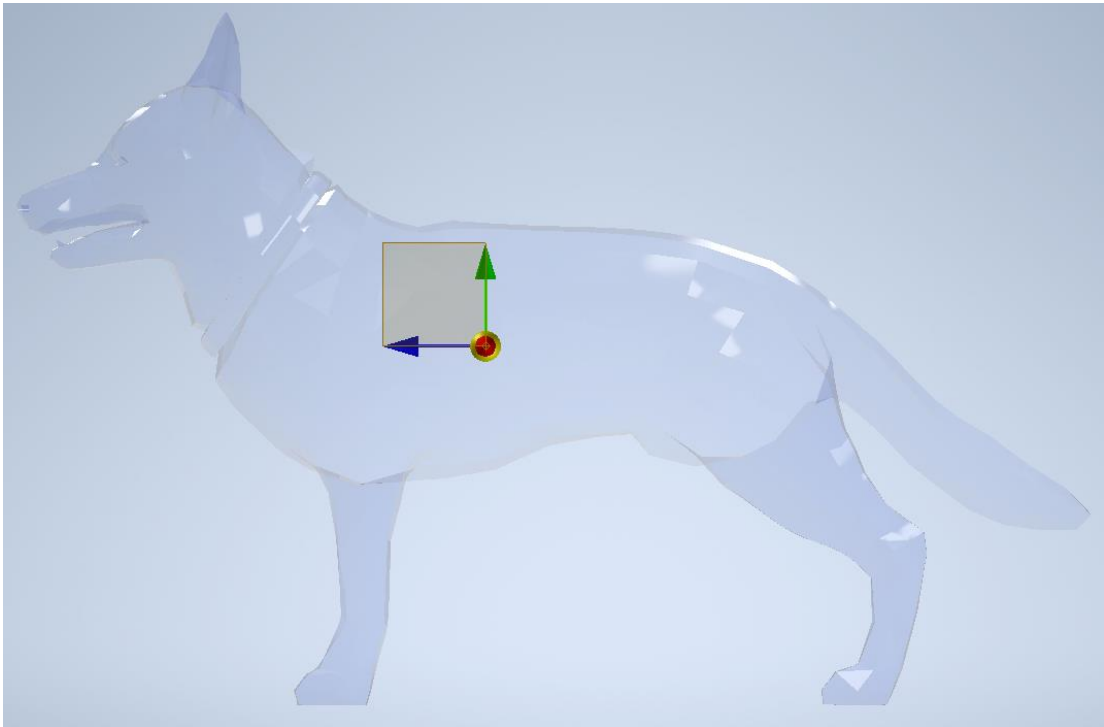
4.3 CENTRO DE MASSA DO CÃO

O centro de massa de um corpo rígido é um ponto fixo onde não há variação de local, diferentemente de um “sistema de corpos” que é o caso dos animais, onde o centro de massa varia de acordo com a distância entre os corpos desse sistema (LE VEAU, 1977; HAY & REID, 1985; DONSKOY & ZATSIORSKI, 1988). Quando um cão tem suas patas (sejam as traseiras ou dianteiras) amputadas, seu centro de massa é alterado, dificultando o equilíbrio do animal que não está acostumado com o novo centro de massa.

Como mencionado anteriormente, um dos principais aportes da prótese em questão, se deve ao fato de Boris, o cão do estudo de caso, não conseguir manter o equilíbrio, devido ao seu centro de massa ter sido alterado com a amputação.

Utilizando o software Inventor foi realizada uma amputação em uma modelagem de cão 3D que foi retirado da biblioteca Grabcad ©. Para demonstrar esse deslocamento do centro de massa devido a amputação, foi considerado como material da modelagem a água, pois um cão adulto tem seu corpo composto por 60% de água (CACHORRO VERDE, 2021). A Figura 31 ilustra um cão antes de ter seus membros pélvicos (caso de estudo) amputados e onde seu centro de massa está localizado.

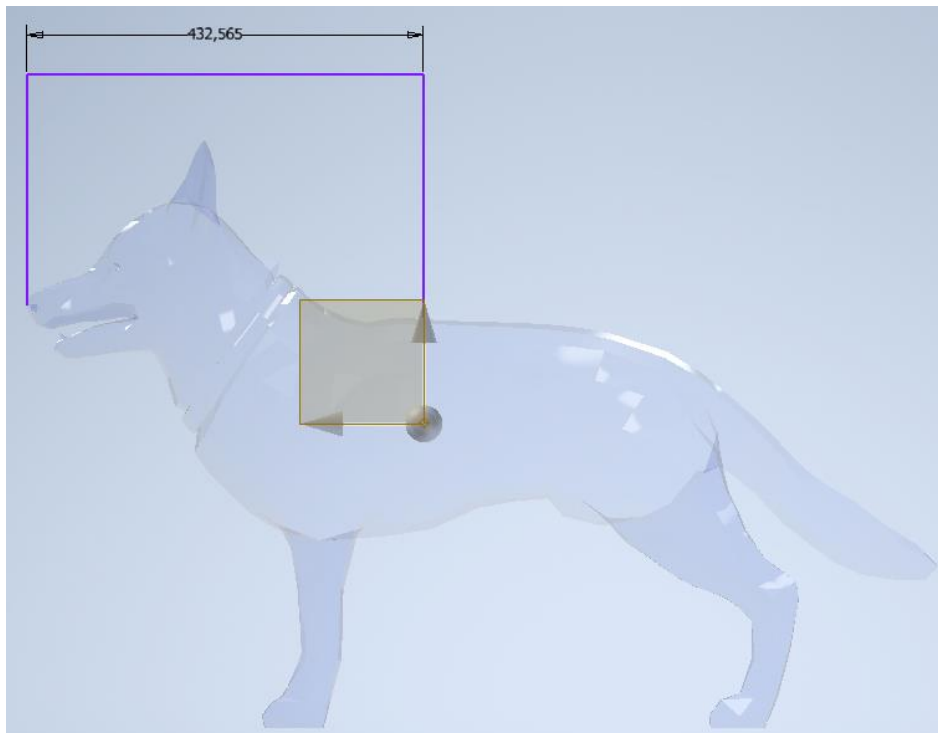
Figura 31: Centro de massa do cão antes de ter seus membros pélvicos amputados.



Fonte: (Autoria própria, 2022).

Na Figura 32, foi inserida uma cota de distância, para que seja possível analisar, posteriormente, a diferença entre as distâncias de centro de massa de um cão com todos membros e de um cão com os membros pélvicos amputados.

Figura 32: Cota de distância do centro de massa do cão sem os membros pélvicos amputados.



Fonte: (Autoria própria, 2022).

Na Figura 33 estão as propriedades fornecidas pelo software, onde foi considerado um peso de aproximadamente 18kg e obteve-se o centro de gravidade nas direções X, Y e Z.

Figura 33: Propriedades fornecidas pelo software Inventor.

The image shows the Autodesk Inventor software interface. On the left, the 'Propriedades gerais' (General Properties) panel is visible, displaying the following data:

Propriedade	Valor	Unidade
Massa	17,988	kg
Área	741508,035	mm ² (E)
Volume	22603520,657	mm ³

The 'Centro de gravidade*' (Center of Gravity) section shows the following coordinates:

Direção	Valor	Unidade
X	-0,717	mm (Erro relat)
Y	1335,335	mm (Erro rel)
Z	262,547	mm (Erro rel)

Below this, the 'Propriedades inerciais*' (Inertial Properties) section shows the following values:

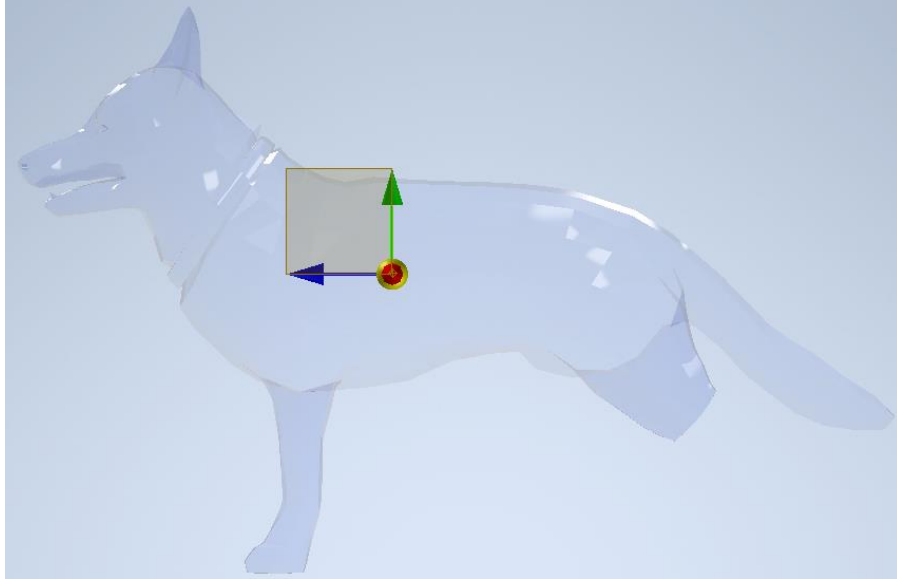
Direção	Valor	Unidade
Ixx	886414,182	kg
Iyy	747979,329	kg
Izz	213101,667	kg
Ixy	-290,432	kg m
Iyz	-1075,351	kg m
Ixz	-178252,647	kg

On the right side of the screenshot, a 3D wireframe model of the dog is shown. A yellow square is placed on the dog's back, and a red sphere with a yellow center represents the center of mass. Three coordinate axes (X, Y, Z) are shown originating from the center of mass, with arrows pointing in the positive and negative directions.

Fonte: (Autoria própria, 2022).

Na Figura 34 é demonstrado o centro de massa do cão com os membros pélvicos amputados.

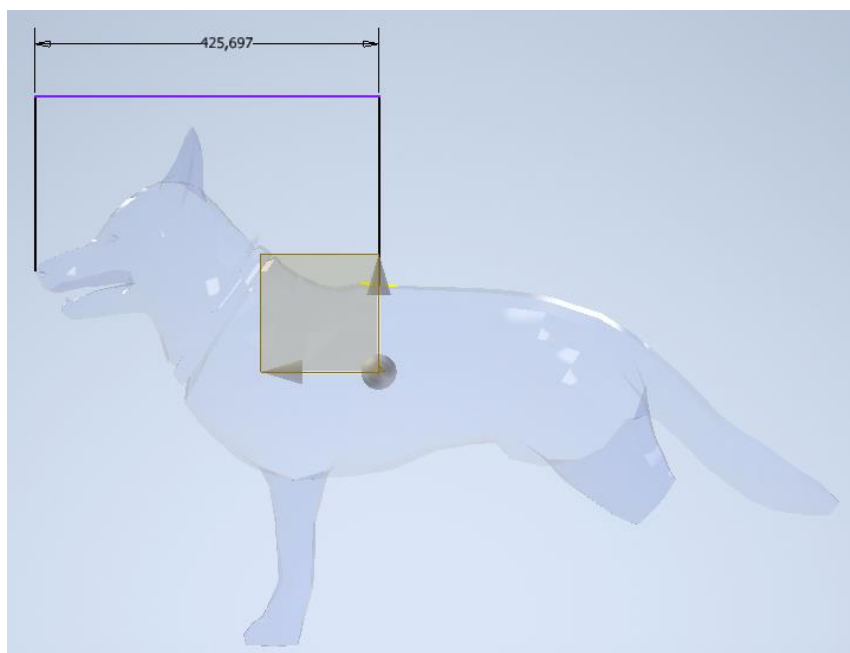
Figura 34: Centro de massa do cão com os membros pélvicos amputados.



Fonte: (Autoria própria, 2022).

Na Figura 35 foi inserida uma cota de distância, da mesma forma que na Figura 32, dessa forma torna-se possível a análise do deslocamento do centro de massa que se apenas visualizada sem as cotas torna-se imperceptível.

Figura 35: Cota de distância do centro de massa do cão com os membros pélvicos amputados.

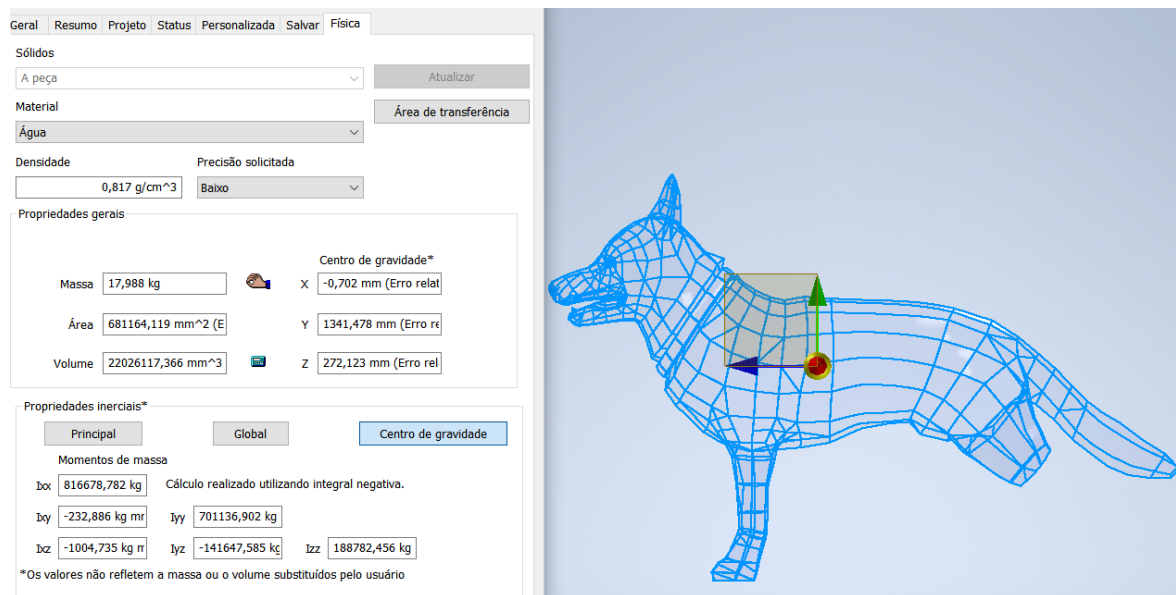


Fonte: (Autoria própria, 2022).

Nota-se então, que na Figura 32 a distância é de 432,565mm, enquanto que na Figura 35 a distância é de 425,697mm, resultando em uma diferença de 6,868mm \approx 0,68cm. De acordo com a literatura, as variações de precisão do centro de massa mudam de acordo com as batidas do coração, respiração, ingestão de alimentos, entre outros movimentos, podendo variar até 3cm (LE VEAU, 1977; BARHAM, 1978; HAY & REID, 1985; DONSKI & ZATSIORSKI, 1988). Desse modo, apesar um valor pequeno, o deslocamento obtido pela simulação está dentro dos valores citados na literatura e demonstra que há uma diferença da localização do centro de massa quando ocorre a amputação de um membro, entretanto, é importante ressaltar que os valores fornecidos pelo software são apenas uma simulação que tenta chegar o mais próximo da realidade, para que seja possível demonstrar que a teoria é correta.

Na figura 36 tem-se, novamente, as propriedades fornecidas pelo software, agora com os membros pélvicos amputados.

Figura 36: Propriedades fornecidas pelo software Inventor.



Fonte: (Autoria própria, 2022).

Nas Figuras 33 e 36 também é possível observar que existem diferenças entre os centros de gravidade nas direções X, Y e Z, que serão demonstrados na Tabela 2 a seguir.

Tabela 2: Comparação entre os valores fornecidos pelo software.

Figura	Direção	Centro de gravidade (mm)
Figura 32	X	-0,717
Figura 32	Y	1335,335
Figura 32	Z	262,547
Figura 35	X	-0,702
Figura 35	Y	1341,478
Figura 35	Z	272,123

Fonte: (Autoria própria, 2022).

Obviamente, os resultados obtidos nas simulações não expressam valores reais, mas exemplificam o que ocorre com o centro de massa de um corpo quando é realizada a amputação de um membro e validam a teoria que consta na literatura. Para o cálculo do centro de massa de um cão real o método mais utilizado é o da plataforma de força, já mencionado anteriormente no capítulo 2.

4.4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

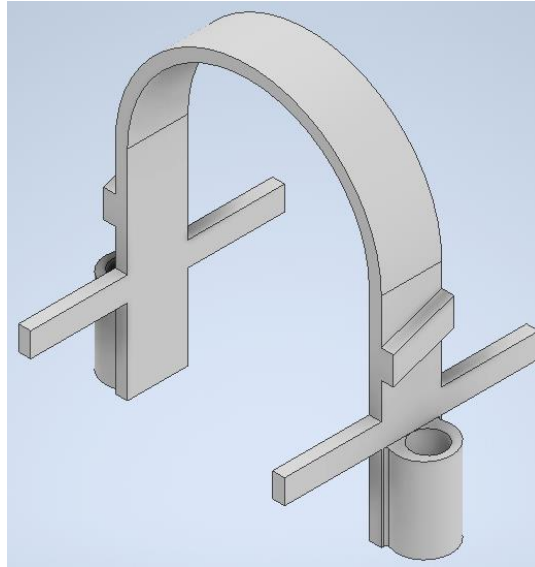
4.4.1 Modelagem da prótese

Para realizar a modelagem, pensou-se em um modelo que atendesse a demanda do cão e fosse funcional. O primeiro protótipo realizado no TCC 1 (Figura 17), não obteve êxito, pois apesar de funcional o modelo não era compatível para os problemas que o cão Boris apresentava.

Na nova modelagem, ao invés de ser utilizado um modelo onde o membro residual do cão fosse encaixado como o mostrado na Figura 17, pensou-se um protótipo onde o membro residual ficará livre para oxigenação, sobreposto em uma fita de nylon que já é comumente utilizada em cadeiras de rodas caninas.

Para que seja possível realizar a modelagem, desenha-se peça por peça do protótipo, para posteriormente ser feita a montagem. Na Figura 37 tem-se a peça número 1, a parte principal da prótese, pois é a responsável por dar equilíbrio ao cão, sendo onde o membro residual ficará acomodado, bem como a coluna e consequentemente todo o suporte do cão.

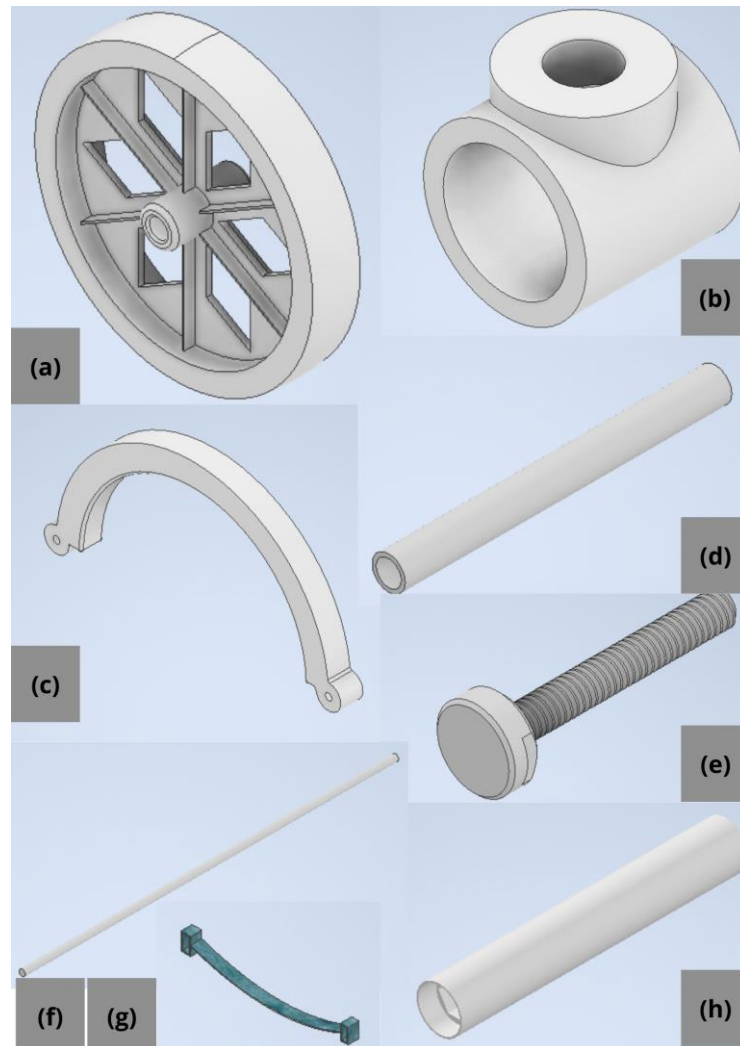
Figura 37: Prótese, acomodação do membro residual e suporte do cão.



Fonte: (Autoria própria, 2022)

Na Figura 38 (a) pode-se observar a roda da prótese, que possui 15cm de diâmetro. Na Figura 38 (b) mostra-se o encaixe do tubo, onde serão acoplados os tubos de alumínio que formarão a sustentação da prótese. Também foi modelado um arco de sustentação (Figura 38 (c)) que fica acoplado no início da coluna do cão, para que haja uma maior estabilidade na prótese. Ligado a esse arco, está uma haste de alumínio (Figura 38 (f)), que é o que conecta a prótese ao arco. Na Figura 38 (d) está o tubo, responsável pela sustentação da prótese e ligação das partes necessárias para formá-la. Um dos aportes para essa prótese é o mecanismo de ajustar a prótese de acordo com a distância das patas do cão, para promover maior estabilidade na locomoção do animal. Esse mecanismo se dará de modo semelhante a um esticador de cabo de aço, no caso do protótipo modelado em software há duas roscas e um tubo e quando esse tudo é girado a distância entre as duas extremidades da prótese aumenta ou diminui, de acordo com a necessidade. Na Figura 38 (e) é mostrada a rosca que será acoplada entre o tubo de encaixe e o tubo giratório. Na Figura 38 (h) está o tubo que vai ser o responsável pelo giro que vai tensionar ou esticar a distância entre as duas extremidades da prótese. Para sustentação dos membros residuais do cão haverá uma fita de nylon (Figura 38 (g)) que será ligada as duas extremidades da prótese, de maneira que os membros residuais possam ser acoplados.

Figura 38: (a) Roda da prótese. (b) Encaixe de tubos. (c) Arco de sustentação. (d) Tubo de conexão de todas as partes da prótese. (e) Rosca utilizada como tensionador (f) Tubo das costas (g) Fita (h) Tubo tensionador/esticador.



Fonte: (Autoria própria, 2022).

Para simulação da prótese montada foram utilizados os materiais dos quais a prótese será impressa posteriormente, sendo eles, para as Figuras 38 (a), (b) e (c) o ABS plástico, para as Figuras 38 (d), (f) e (h) o alumínio, para a Figura 38 (g) nylon e aço para a Figura 38 (e) sendo ela a rosca responsável por tensionar ou esticar a distância entre as duas extremidades da prótese.

Na Figura 39 está a prótese montada. Para a montagem da mesma, fez-se necessário, na interface do software Inventor, a criação de um novo documento utilizando montagem de modelo padrão.

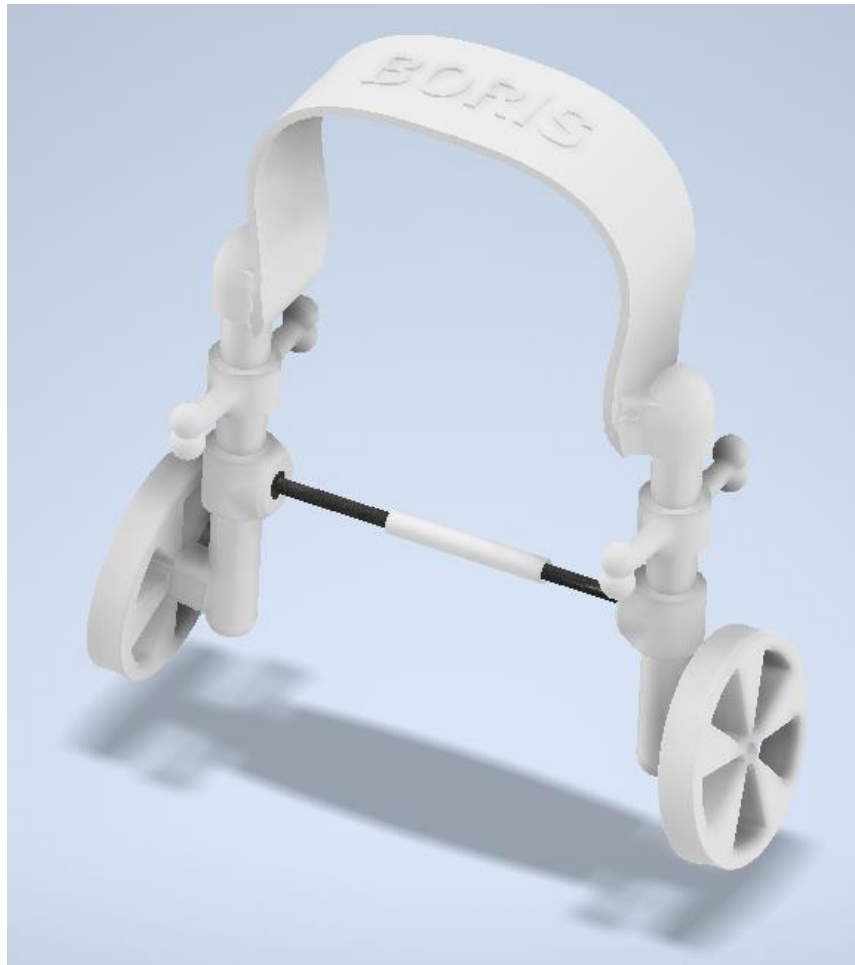
Figura 39: Prótese montada através do Inventor.



Fonte: (Autoria própria, 2022).

Apesar de, teoricamente, funcional, a prótese da Figura 39 não é esteticamente agradável, desta forma, fez-se um trabalho de design em cima da ideia da prótese. Na Figura 40 é possível observar a prótese final que será impressa e entregue ao cão Boris. A prótese, de acordo com o software Inventor, pesará em torno de 0,674kg.

Figura 40: Prótese final.



Fonte: (Autoria própria, 2022).

4.4.2 Impressão da prótese

Para a impressão 3D da prótese, foi utilizada a impressora do modelo Ender 3 (Figura 41), da empresa Hero labs. Esse tipo de impressora utiliza o princípio de impressão FDM e foi utilizado como material para impressão o PLA.

Foi gerado um código de programação que realizou a impressão, levando em conta os parâmetros e melhor posição para a impressão, para que se obtenha uma prótese com melhor resistência.

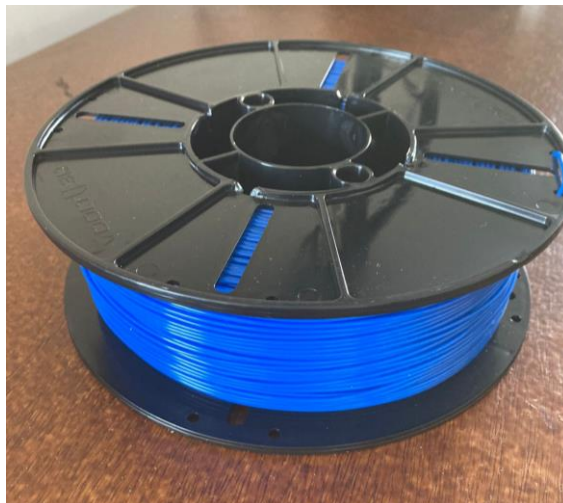
Figura 41: Impressora Ender 3.



Fonte: (Autoria própria, 2022).

O material utilizado para a impressão foi o PLA na cor azul, mostrado na Figura 42, devido a rigidez, acabamento e qualidade desse material na impressora em questão.

Figura 42: Material para impressão.



Fonte: (Autoria própria, 2022).

Para iniciar o processo de impressão há uma preparação da máquina, começando pela limpeza da mesa de impressão, que depois de limpa é “zerada”, para que a impressão tenha um ponto de origem, na Figura 43 é possível ver o processo que é realizado com um pedaço de papel sulfite para que o bico extrusor não entre em contato direto com a mesa.

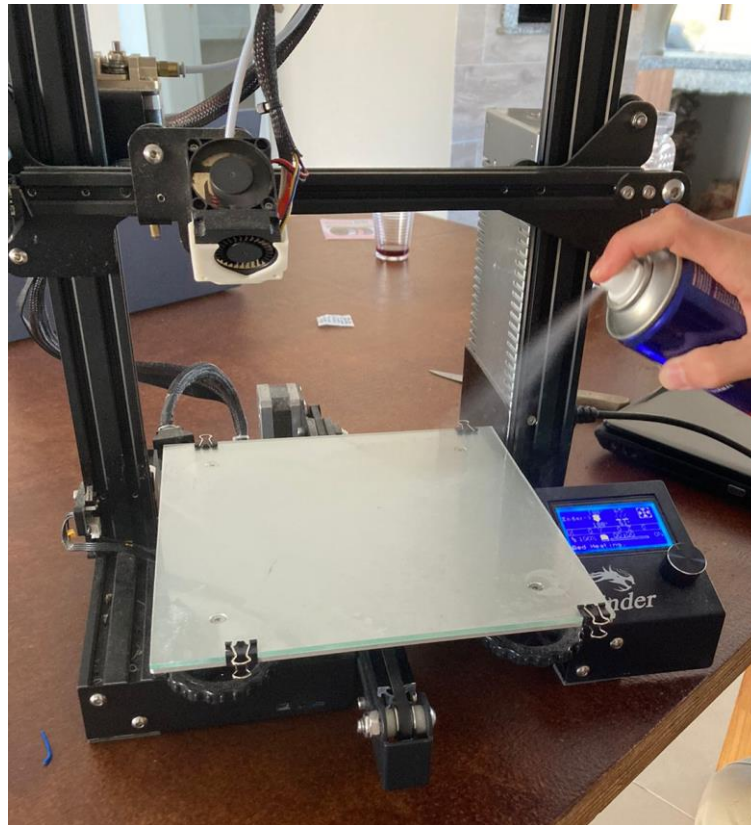
Figura 43: Processo de “reset” da impressora.



Fonte: (Autoria propria, 2022).

Após zerada a mesa é passado um fixador polimérico na superfície (Figura 44), para que enquanto o bico extrusor for depositando filamento, o material fixe na mesa e não ocorram movimentações da peça durante a impressão, evitando assim que ocorram erros de impressão durante o processo.

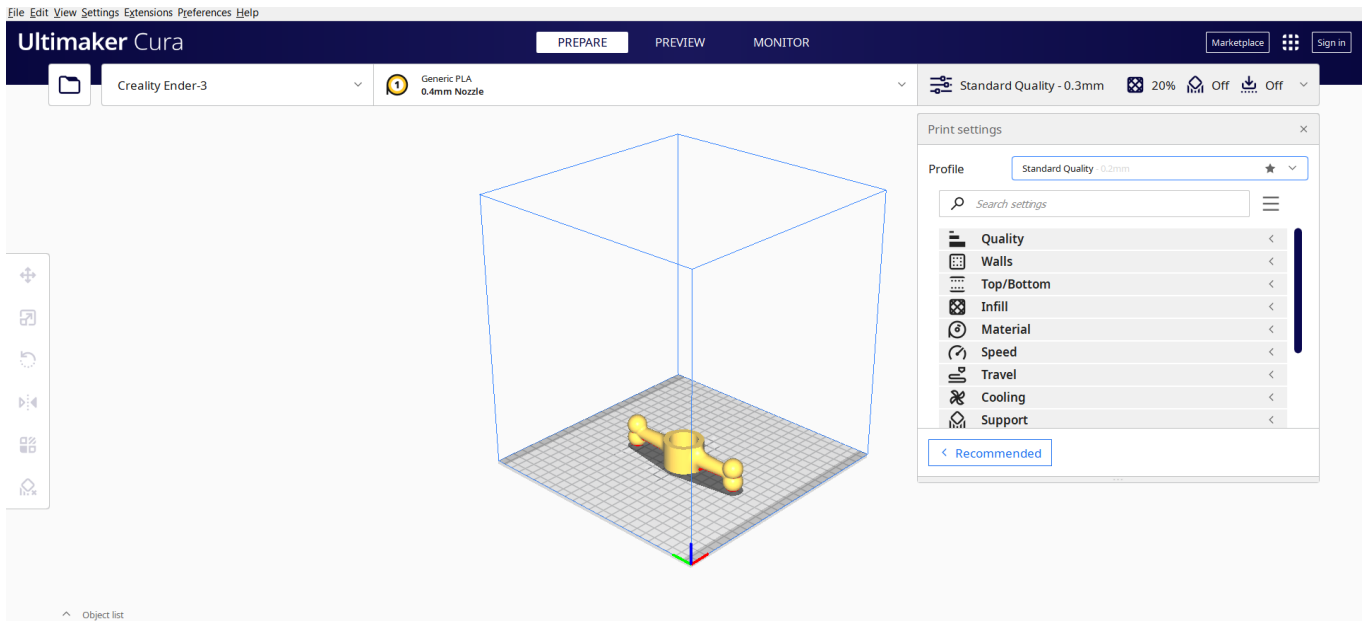
Figura 44: Fixador polimérico sendo passado na mesa.



Fonte: (Autoria própria, 2022).

Para que ocorra a exportação do arquivo para a impressão, utiliza-se um aplicativo chamado “Ultimaker Cura 4.0”, onde a peça desenhada no software Inventor é exportada no formato SLT e são selecionados alguns padrões de impressão como: regulagem das superfícies horizontais, ajuste de acabamento vertical (altura das camadas, que gera uma melhor qualidade de impressão, diâmetro do bico e velocidade de extrusão no perímetro), espessura da parede, espessura da base e do topo, tolerâncias de encaixe, direção da impressão para que se tenha um melhor acabamento e resistência, inserção de apoio na base da peça quando a mesma possui inclinação (suportes para impressão), velocidade de impressão, forma de fixação na mesa, entre outros padrões. Na Figura 45 há um print da tela do Ultimaker, mostrando como funciona a plataforma, sendo possível observar uma das peças que foram impressas.

Figura 45: Print da plataforma Ultimaker Cura mostrando como funciona para a inserção de dados e impressão da peça.



Fonte: (Autoria própria, 2022).

Na Tabela 3 abaixo estão os parâmetros utilizados na impressão das peças desse trabalho.

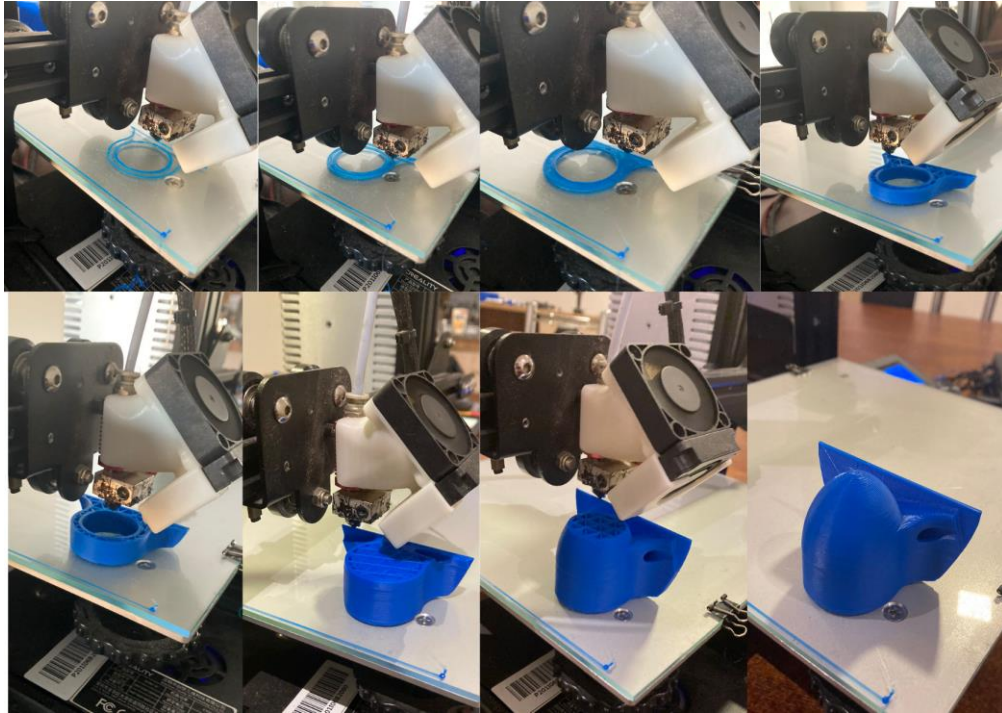
Tabela 3: Parâmetros utilizados para impressão da prótese.

Parâmetro	Unidade	Valor
Altura de camadas	mm	0,3
Tamanho do bico	mm	0,4
Temperatura de extrusão	°C	210
Temperatura da mesa	°C	70
Ventilação	%	100
Espessura da parede	mm	1,2
Densidade do preenchimento	%	35
Geometria do preenchimento	-	Triangular
Velocidade de impressão	mm/s	40
Ângulo de suporte	°	33
Densidade do suporte	%	20

Fonte: (Autoria própria, 2022).

Depois de definido os parâmetros necessários para uma boa impressão, a peça é exportada para um SD que é inserido na Ender 3 e então começa o processo de impressão. Na Figura 46 pode-se observar a impressão de uma das peças do presente trabalho e todo o processo de fatiamento da peça antes descrito na seção 2.

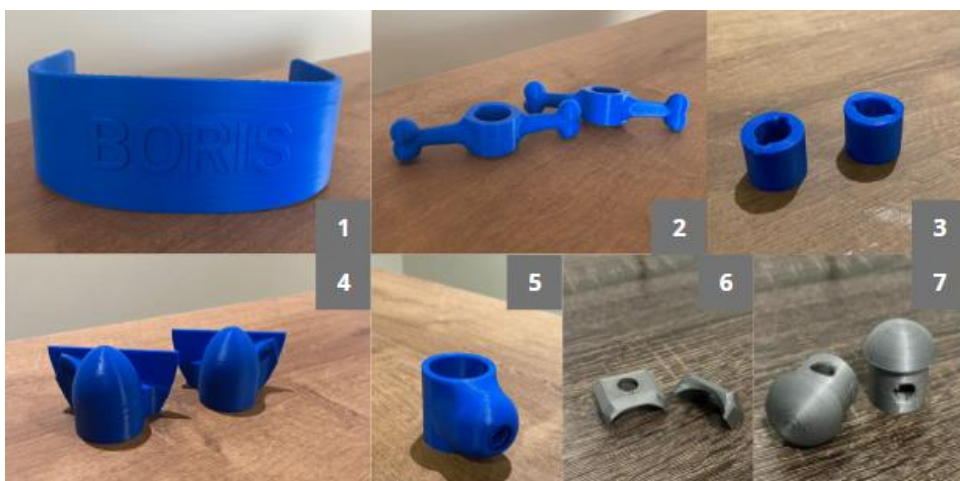
Figura 46: Processo de impressão 3D, fatiamento.



Fonte: (Autoria própria, 2022).

Para imprimir todas as peças modeladas, totalizaram-se aproximadamente 38h40min de impressão. Na Figura 47 estão todas as peças que foram feitas na impressão 3D. Da primeira prótese foram reutilizados o tampão e o ajuste de camber, que são as peças no PLA cinza.

Figura 47: (1) “Tiara” de sustentação; (2) Ossos que servirão de suporte para inserção da fita nylon; (3) Insertos; (4) Peças de acoplamento das hastes e tubos; (5) Rolamento; (6) Camber; (7) Tampão.



Fonte: (Autoria própria, 2022).

4.4.3 Montagem da prótese

Para montagem da prótese, seguiu-se a ordem mostrada na folha de desenho com vista explodida do anexo A. Os componentes que compõem a prótese foram montados de maneira manual.

Para montagem da prótese utilizou-se dos materiais mostrados na Tabela 1 do capítulo 3. Primeiramente as peças 1 e 4 da Figura 47 foram acopladas uma à outra, pois no desenho mostrado na Figura 40 ambas as peças compõem uma única peça, entretanto, ao imprimir, devido ao tamanho da mesa de impressão, fez-se necessário dividi-las em duas para após impressas serem acopladas, como é possível observar na Figura 48, para uma melhor adesão do material ao outro, foi lixada a superfície, então passou-se a cola e acoplou-se as peças uma à outra.

Figura 48: Montagem de primeira peça da prótese.



Fonte: (Autoria própria, 2022).

Na sequência, o alumínio foi cortado em pedaços menores (Figura 49) para que pudesse ser encaixado nas peças da prótese. Os tubos laterais foram cortados em tamanhos aproximados de 18cm para que pudessem ser encaixados nas peças 2, 4 e 5 mostradas na Figura 47.

Figura 49: Corte do alumínio para encaixe das peças.



Fonte: (Autoria própria, 2022).

Após cortado, o alumínio foi encaixado na peça da Figura 48. Na sequência, foram encaixadas em ambas as extremidades do alumínio as peças de número 2 da Figura 47. Para que o encaixe ocorresse corretamente, foi necessário que o alumínio fosse esquentado para que houvesse a dilatação e posterior encaixe sem folgas. Na Figura 50 é possível observar as etapas de encaixe.

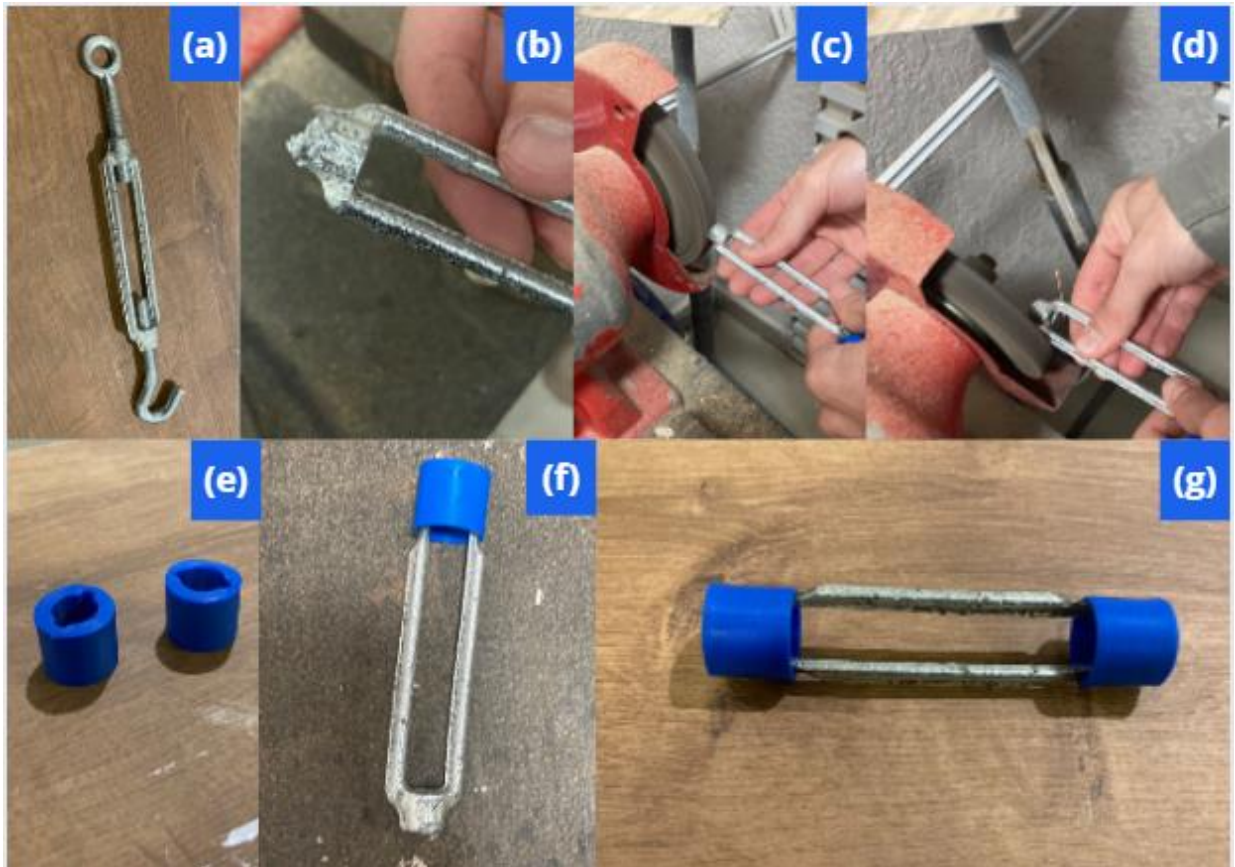
Figura 50: Encaixe das peças.



Fonte: (Autoria própria, 2022).

Para o próximo passo da montagem, foi utilizado um esticador, mostrado na Figura 51 (a), onde seus rosqueadores foram removidos (Figura 51 (b)) e o corpo do esticador foi lixado no esmeril (Figura 51 (c) e (d)) para que pudesse ser inserido no inserto (Figura 51 (e) e (f)). Após lixados ambos os lados com os tamanhos corretos do inserto, o corpo do esticador foi acoplado aos dois insertos, como pode ser observado na Figura 51 (g).

Figura 51: (a) Esticador; (b) Corpo do esticador sem os rosqueadores; (c) e (d) Corpo do esticador sendo lixado para que possa ser acoplado aos insertos; (e) Insertos (f) Um dos lados já lixado e acoplado ao inserto e (g) Corpo do esticador com ambos os insertos acoplados.



Fonte: (Autoria própria, 2022).

Um novo pedaço de alumínio, de aproximadamente 13cm, foi cortado para que a peça da Figura 51 (g) fosse acoplada, como é possível observar na Figura 52 (a). Esse tubo de alumínio com os insertos acoplados em seu interior (Figura 52 (a)), foi conectado por meio dos rosqueadores ao rolamento (peça da Figura 52 (b)). Os rosqueadores tiveram suas partes superiores removidas, restando apenas a rosca e um pedaço de aço que teve suas extremidades coladas com super bonder (Figura 52 (c) e (d)), deste modo ficando acoplados ao rolamento (Figura 52 (e)). O rolamento com os rosqueadores foi rosqueado ao tubo de alumínio com os insertos acoplados (Figura 52 (a)), como é possível observar na Figura 52 (f) e (g). Deste modo, essa nova peça depois de montada, passou a servir como um regulador de distância, sendo a distância máxima 180mm e a mínima 100mm.

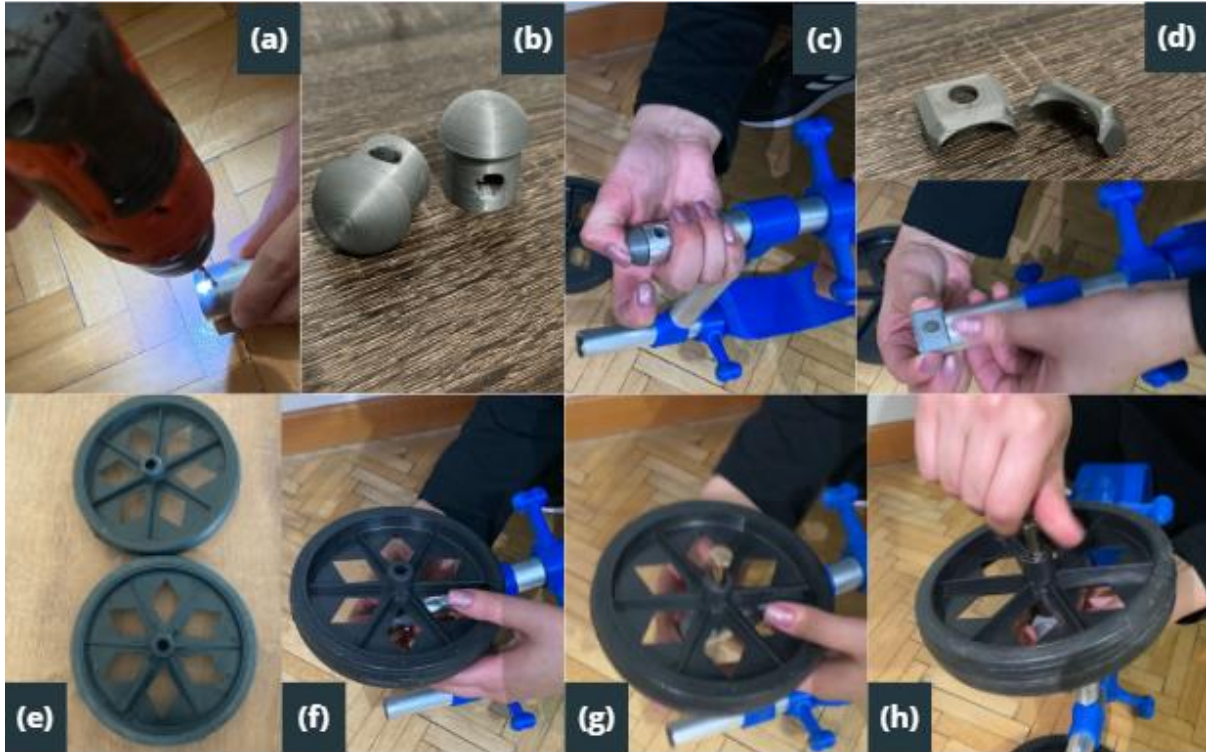
Figura 52: (a) Peça que serve como regulador de distância; (b) Rolamento; (c) Super bonder sendo passado na rosca para acoplamento no rolamento; (d) Rosca sendo acoplada; (e) Rolamento com rosca; (f) e (g) Encaixe das peças na haste de alumínio.



Fonte: (Autoria própria, 2022).

O próximo passo foi o acoplamento das rodas. Para isso foi necessário realizar um furo no alumínio, primeiramente com uma broca de 2mm e posteriormente com uma de 8mm (Figura 53 (a)), onde serão acoplados o camber, a roda e seu parafuso. Após realizado o furo de 8mm no alumínio, foi inserido o tampão no final do tubo (Figura 53 (c)) e como é possível observar na Figura 53 (b), nesse tampão há um furo de 8mm onde dentro dele há uma porca de parafuso 8mm, para que seja possível realizar o rosqueamento da roda no tubo. A seguir, foi posicionado o camber (Figura 53 (d)) e a roda em cima do camber, centralizada no furo (Figura 53 (e) e (f)), na sequência, foi inserido e rosqueado o parafuso M8x70mm (Figura 53 (g) e (h)) para que tudo seja fixado no tubo, tendo o processo se repetido para ambos os lados da prótese.

Figura 53: (a) Realizando o furo no tubo; (b) Tampão; (c) Inserindo o tampão no tubo; (d) Camber e posicionamento do camber para posterior fixação; (e) Rodinhas; (f) Posicionamento da roda para posterior fixação; (g) Inserção do parafuso m8x70; (h) Rosqueamento do parafuso e fixação das peças.



Fonte: (Autoria própria, 2022).

Para finalizar a montagem da prótese, foi inserida a fita de nylon (Figura 54 (a)), já costurada, que será a responsável por ser o suporte para os membros residuais do cão. Após isso, foram inseridas as hastes de sustentação (Figura 54 (b)) e então obteve-se a prótese pronta para ser testada, que pode ser vista na Figura 54 (c).

Figura 54: (a) Inserindo a fita de suporte; (b) Inserindo as hastes de sustentação; (c) Prótese pronta.

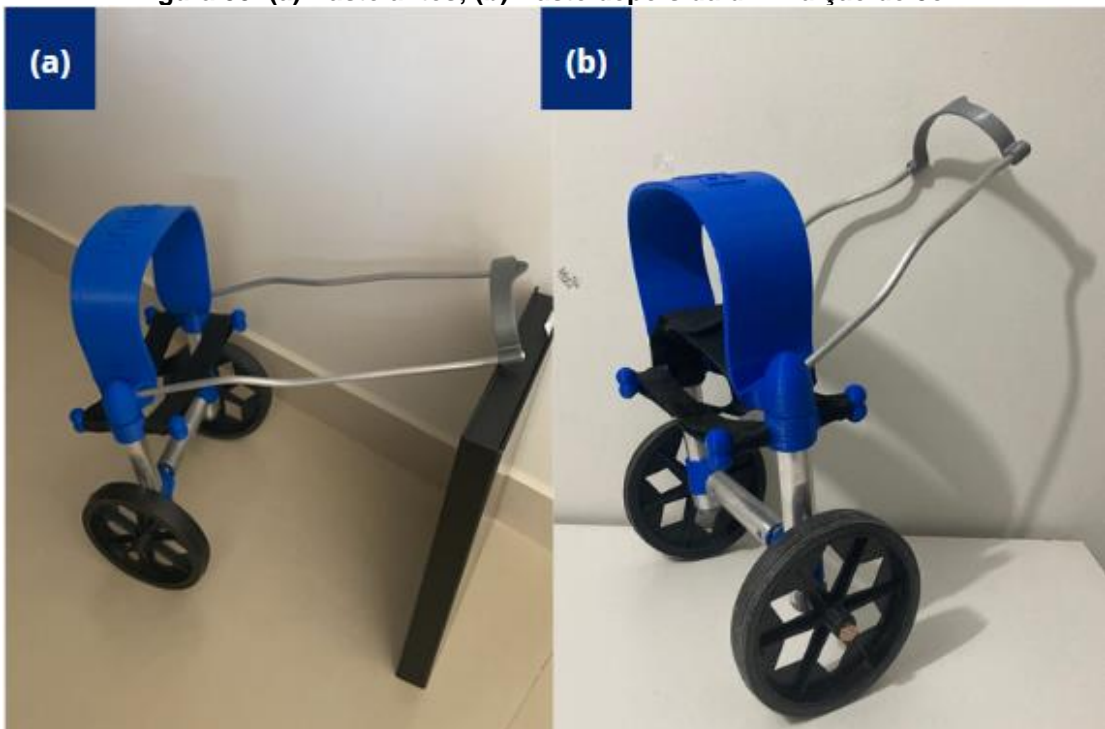


Fonte: (Autoria própria, 2022).

4.4.4 Testes de validação no cão

No primeiro teste de validação foram constatadas algumas mudanças necessárias, tais como a diminuição da haste de alumínio que está ligada a coluna para dar sustentabilidade ao cão. Foram diminuídos 5cm da primeira haste (Figura 55 (a)) para a segunda (Figura 55 (b)).

Figura 55: (a) Haste antes; (b) Haste depois da diminuição de 5cm.



Fonte: (Autoria própria, 2022).

Outra mudança que se fez necessária devido ao cão ser bastante agitado foi um fecho de velcro para que as costas fiquem presas ao arco da prótese, evitando que com a movimentação do cão ocorra o deslocamento das costas e consequentemente a retirada da prótese. Para isso foi utilizado um velcro, mostrado na Figura 56, que foi acoplado as laterais do arco, na parte que há contato com as costas do cão foi utilizado o tecido neoprene, para maior conforto.

Figura 56: Velcro utilizado para melhor estabilidade do cão.



Fonte: (Autoria própria, 2022).

Como já mencionado, Boris é um cão bastante agitado, sendo assim é preciso que a prótese seja resistente, dessa forma outra mudança necessária foi a inserção de uma faixa no peitoral do cão, para que mesmo que ele se movimente a prótese permaneça fixa ao corpo. Para isso, foi utilizada uma fita de nylon que foi costurada a haste de alumínio e presa com uma peça que foi impressa para travar, no final da fita de nylon foi colocado um gancho de aço para que o mesmo seja preso no peitoral que o cão já possui, tornando assim a acoplagem mais eficaz. Essa fita de nylon tem um regulador, que permite aumentar ou diminuir a distância do gancho. Na Figura 57 é possível observar a prótese já com essas melhorias implantadas.

Figura 57: Prótese com melhorias implantadas.



Fonte: (Autoria própria, 2022).

Um novo teste foi realizado, onde obteve-se um resultado positivo. O cão Boris conseguiu utilizar a prótese, entretanto, para que a prótese tenha 100% de eficácia, necessita-se de um último ajuste. A melhoria da fita de nylon com um gancho não foi eficiente pois ficou instável, gerando desconforto ao cão, dessa forma, buscou-se outra maneira de fixação das hastes, sendo ela a confecção de um colete que será acoplado as hastes para que o cão possa vesti-lo.

Esse colete foi confeccionado com as medidas de Boris e acoplado as hastes, quando o cão o veste, a prótese fica fixa a sua coluna, fazendo com que as hastes se movimentem juntamente com o corpo, gerando assim estabilidade na marcha do cão. Na Figura 58 (a) está o colete confeccionado, mas ainda sem a junção das partes. Na Figura 58 (b) estão as peças que foram impressas para travar o colete num local pré-determinado nas hastes e na Figura 58 (d) as peças para trava já acopladas a haste. Os fechos de engate (Figura 58 (c)) serão os responsáveis pelo acoplamento do colete ao cão. A prótese finalizada é mostrada na

Figura 58 (e), com o colete fixado na haste através de botões, para que possa ser removido para lavagem.

Figura 58: (a) Colete; (b) Travas; (c) Fechos de engate; (d) Hastes com as travas; (e) Prótese finalizada.



Fonte: (Autoria própria, 2022).

Na Figura 59 pode-se observar o cão Boris com a prótese final. Esse colete permitiu a estabilidade da marcha do cão e um melhor conforto e acoplamento ao corpo do animal.

Figura 59: Boris com a prótese finalizada.



Fonte: (Autoria própria, 2022).

Para a montagem do primeiro protótipo foram necessários alguns materiais, na Tabela 4 seguem os materiais utilizados para a confecção da prótese número 1 e seus respectivos tamanhos/quantidades e preços.

Tabela 4: Materiais e preço da confecção da prótese 1.

Material	Quantidade	Valor
Alumínio	1m	R\$18,00
PLA	1kg	R\$120,00
Borracha de silicone verde	1kg	R\$35,00
Velcro	1m	R\$1,50
Cola quente	4un	R\$5,00
Parafuso M8x30mm	2un	R\$0,60
Neoprene	15x280cm	R\$30,00
Total		R\$210,70

Fonte: Autoria própria (2021)

Para comprar uma prótese de cadeira de rodas com estrutura semelhante à do projeto é possível encontra-las no mercado em uma faixa de valores de R\$300,00 até R\$1.200,00 ou com valores mais altos e para a confecção da primeira prótese gastou-se muito menos, o que torna a confecção um método mais viável. Apesar de ter sido comprado 1kg de material PLA para a confecção gastou-se apenas 220g que confeccionou a prótese em aproximadamente 32h de impressão. Para a impressão da prótese número 2 é possível visualizar na Tabela 5 o valor dos materiais comprados.

Tabela 5: Materiais e preço da confecção da prótese 2.

Material	Quantidade	Valor
Alumínio	1m	R\$20,00
PLA	1kg	R\$114,00
Fita de nylon	3m	R\$4,40
Velcro	1,40m	R\$7,80
Regulador	4un	R\$0,80
Parafuso M8x70mm	2un	R\$0,80
Rodinhas	2un	R\$10,00
Esticador	1un	R\$25,00
Tubo de cola de contato	75g	R\$8,40
Ganchos	2un	R\$2,40
Super bonder	5g	R\$5,80
Fecho de engate	6un	R\$1,60
Botões de pressão	4un	R\$10,00
Total		R\$211,00

Fonte: (Autoria própria, 2022).

Nota-se que a prótese 2 ficou apenas 0,20 centavos mais caras quando comparada a prótese 1. Apesar de ambas as próteses terem apresentado um valor relativamente baixo quando comparado aos valores encontrados no mercado, é necessário levar em consideração que essas próteses se tratam de um trabalho voluntário, onde não foi cobrado a mão de obra, além de alguns materiais comprados para a prótese 1 terem sido utilizados também na confecção da prótese 2.

A prótese se mostrou eficaz e confortável ao cão, que conseguiu se locomover de maneira satisfatória para o primeiro contato. Dessa forma, o presente trabalho obteve êxito na conclusão de uma prótese para os membros pélvicos do cão do caso de estudo, entregando uma prótese eficaz e de baixo custo, onde o cão passará pelo período de adaptação.

5. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi desenvolvida uma prótese para os membros pélvicos de um cão através da impressão 3D, a fim de proporcionar uma melhor qualidade de vida ao cão do estudo de caso. Fez-se necessário utilizar de conhecimentos da Engenharia Mecânica e da Medicina Veterinária para o desenvolvimento de uma prótese eficaz.

Para confecção da prótese utilizou-se de softwares de simulação e de conhecimentos técnicos da área da mecânica, pensando sempre na resistência e eficiência que a prótese necessita para que suporte o dia a dia de um cão. No momento de projetar, foram analisadas variáveis de força e momento que o cão realizaria para se locomover e que poderiam ocasionar em impactos ou falhas na prótese. Devido ao material da prótese ser o PLA, um biopolímero, não foi possível realizar a análise de elementos finitos, pois os softwares de engenharia são adequados para materiais metálicos, dessa forma, as bibliotecas disponíveis de CAD/CAE não fornecem propriedades mecânicas que possam gerar uma análise de elementos finitos estático linear.

O presente trabalho se enquadra na área de projeto de máquinas, sendo um projeto adaptativo, entretanto, como o trabalho possui caráter experimental, pois conta com a validação de um cão real, foi possível produzir uma prótese inicial e a partir dela realizar as melhorias e ajustes necessários para obter uma prótese funcional e adequada. Foram realizados três testes até chegar a um bom resultado e, de fato, a prótese ser entregue para uso.

Devido a amputação o cão teve seu centro de massa deslocado, gerando instabilidades na marcha do animal, sendo tornar a marcha do cão estável um dos maiores desafios da produção da prótese. Para isso, foram realizadas melhorias que fazem com que a prótese fique fixa a coluna do cão para que ao se movimentar, a prótese acompanhe o movimento do corpo e não se desloque provocando desconforto e instabilidade ao animal.

Toda a montagem da prótese foi feita de maneira manual, passando por diversas aprimorações, tanto de material como de modelagem.

É possível afirmar que os objetivos foram cumpridos. Os conhecimentos de ambas as áreas de estudo (Engenharia Mecânica e Medicina Veterinária) se conectaram de modo que pudesse ser entregue uma prótese com bom desempenho

ao cão Boris, analisando todas as variáveis envolvidas na concepção de uma prótese, bem como a utilização do PLA na impressão 3D para próteses de cães de médio porte, além de que todas as melhorias realizadas puderam ser testadas e melhoradas até atingir o objetivo de estabilização da marcha canina. Também foi possível observar a importância de softwares de simulação para o desenvolvimento desse tipo de trabalho.

Mesmo que a prótese tenha atingido o objetivo, há a possibilidade de melhorias, sendo duas delas fundamentais para a adaptabilidade da prótese a outros cães: haste regulável e tubo conector de todas as partes com regulagem de altura. Pois como cada cão tem um tamanho e altura particular, essas duas melhorias tornariam a prótese adaptável a quase todos os cães de médio a grande porte, o que tornaria um projeto excelente e viável devido ao baixo custo de produção.

Trabalhos futuros podem ser desempenhados a fim de realizar: melhorias que ampliem a adaptabilidade as mais diversas raças de cães; estudo de outros materiais de impressão 3D que possam ser mais resistentes para cães de maior porte; estudo de qual a melhor direção de impressão para uma prótese mais resistente, bem como a comparação de qual o melhor material para essa finalidade (ABS versus PLA); aprimoramento de técnicas de obtenção do formato do membro residual e análise de fadiga para estimar a vida útil da prótese; otimizações desse projeto adaptativo que o tornem em um projeto alternativo para trabalhos posteriores; testes destrutivos com amostras do biopolímero (PLA) para que possam ser coletadas as propriedades mecânicas e posteriormente as bibliotecas CAD/CAE serem alimentadas com essas informações para que seja possível realizar simulações estático lineares de elementos finitos para esse tipo de material.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, J. G.; SOARES, G. V.; REZENDE, L. R.; LOSCHI, P. P.; LOPES, R. J. R. S.; BRITO, J. N. **Projeto Cadeira de Rodas para Cães**. In: XIV CONEMI, 2014, Salvador. Congresso. Salvador: Campus Integrado de Manufatura e Tecnologia do Senai/Cimatec, set. 2014. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/7418347-Projeto-cadeira-de-rodas-para-caes.html>> Acesso em: 18/10/2021.
- ANDERSON, M. A.; MANN, F. A. **Force plate analysis: A noninvasive tool for gait evaluation. Small Animal Orthopedics**. Missouri, 15(7): 857-867, 1994.
- BADOTTI, A. Avaliação do processo de metalização superficial aplicado às peças obtidas por estereolitografia. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.
- BARHAM, JN Cinesiologia Mecânica. Sant Louis: Mosby, 1978. 509 p.
- BARTENIEFF, I., LEWIS, D., **Body movement: coping with the enviroment**, New York: Gordo and Breach, 1990.
- BOMBONATO, P.; MORAES, V.V.; OLIVEIRA, M.A.R.G. Biomecânica canina. In: MIKAIL, S.; PEDRO, C.R. **Fisioterapia Veterinária**. São Paulo: Manole, 2005, p.13-17.
- Cadela ganha prótese feita em impressora 3D | Cachorros | iG**. Disponível em: <<https://canaldopet.ig.com.br/guia-bichos/cachorros/2021-08-09/cadela-usa-protese-feitas-em-impressora-3d.html>>. Acesso em: 04 nov. 2021.
- CAMPOS, D. C.; et. Al. **Impressora 3D na área da saúde**. Centro Universitário Lusíada – Núcleo Acadêmico de Estudos e Pesquisas em Educação e Tecnologia. São Paulo, 2015.
- Cão deficiente ganha prótese construída com a ajuda de impressora 3D - GKPB** - Geek Publicitário. Disponível em: <<https://gkpb.com.br/5656/cao-deficiente-ganha-protese-construida-com-ajuda-de-impressora-3d/>>. Acesso em: 04 nov. 2021.
- CARVALHO, J. A. Amputação de membros inferiores: em busca plena reabilitação. 2. Ed. São Paulo: Manole, 2002.
- Censo Pet: 139,3 milhões de animais de estimação no Brasil – Instituto Pet Brasil**. Disponível em: <<http://institutopetbrasil.com/imprensa/censo-pet-1393-milhoes-de-animais-de-estimacao-no-brasil/>>. Acesso em: 7 nov. 2021.
- CORSO, M. S. D. **Desenvolvimento de prótese para membro anterior de um canino por meio de impressão 3D**. Universidade de Caxias do Sul, p. 63, 2019.
- CRENSHAW, A.H. Amputações. In: CRENSHAW, A.H. **Cirurgia ortopédica de Campbell**. 8 ed. São Paulo: Manole, 1996. v.1, p. 400-600.
- DECAMP, C.E. **Kinetic and kinematic gait analysis and the assessment of lameness in the dog**. Veterinary Clinics of North American: Small Animal Practice.

27(4): 825-841, 1997.

DIEHL, R., **Qualidade e cinesfera do movimento de jogadores de basquete em cadeira de rodas**, 1998.

DONSKOI, D.; ZATSIORSKI, V. **Biomecânica de los ejercicios físicos**. La Habana: Pueblo y Education, 1988. 311 p.

DUARTE, T. et al. **Impressão 3D na área médica: desafios e oportunidades**. INEGI, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto - Portugal, 2015.

GILLETE, R. L; ANGLE, T. C. **Canine Rehabilitation and Physical Therapy: Canine Locomotion Analysis**. W. B. Saunders Company, p. 201-210, 2014. ISBN 9781437703092

GILLETE, R. L; ANGLE, T. C. **Recent developments in canine locomotor analysis: A review**. The Veterinary Journal 178, p. 165-176, 2008.

GOLDBERG, D. History of 3D Printing, Autodesk, 2014. Disponível em: <<https://lineshapespace.com/history-of-3d-printing/>> Acesso em: 3 de abr. 2022.

GRIMM, T. Choosing the Right RP System. A study of seven RP Systems, 2005.

GROSSMAN; SISSON. Anatomia dos animais domésticos. 5 ed. Guanabara, Rio de Janeiro, 1986.

HAY, JG & REID, JG **As bases anatômicas do movimento humano**. Rio de Janeiro: Prentice/Hall do Brasil, 1985. 281 p.

HESPEL, Adrien-Maxence; WILHITE, Ray & HUDSON, Judith. **“Invited Review-Applications for 3D Printers in Veterinary Medicine”**. Veterinary Radiology & Ultrasound, v. 55, n. 4, pp. 347-358, 2014.

INMAN, V. T.; RALSTON, H. J.; TODD, F. A locomoção humana. In: ROSE J.; GAMBLE, J. **Marcha humana**. 2. Ed. São Paulo: Premier, 1998, p.1.

KARASINSKI, V. Como funciona uma impressora 3D, TECMUNDO, 2013. Disponível em: <<http://www.tecmundo.com.br/impressora-3d/38826-como-funcionauma-impressora-3d-ilustracao-.htm>> Acesso em: 3 de abr. 2022.

KIRPENSTEIJN, J. et al. **Ground reaction force analysis of large breed dogs when walking after the amputation of a limb**. The Veterinary Record 146, p. 155-159, 2000.

LAGE, M. H. et al. **Aplicação de conceitos de biomecânica na confecção de próteses para cães**. n. Dezembro, 2018.

LEONARD, E. P. **Amputations. Orthopedic surgery of the dog and cat**. 2 ed. Philadelphia: Saunders, p. 278-287, 1971.

LE VEAU, B. **Biomechanics of human motion**. Philadelphia: Saunders, 1977. 230 p.

LOPES K. R. F.; SILVA A. R. **Considerações sobre a importância do cão doméstico (Canis Lupus Familiaris) dentro da sociedade humana.** Acta Veterinaria Brasilica, v.6, n.3, p.177-185, 2012. Acesso em: 28 mar. 2022.

MAZON, M. S. **O melhor amigo do homem: Afetos e cachorros no Brasil em perspectiva sociológica.** Estud. Sociol. Araraquara v.25 n.49 p. 57-77, jul-dez. 2020.

MULLER, L. **Derby, o cachorro de “patas impressas em 3D”, ganha novas próteses** - TecMundo. Disponível em: <<https://www.tecmundo.com.br/imprensa-3d/92286-derby-cachorro-patas-impressas-3d-ganha-novas-proteses.htm>>. Acesso em: 04 nov. 2021.

PORTO, T. M. S. **Estudo dos avanços da tecnologia de impressão 3D e da sua aplicação na construção civil.** 2016. 93 f. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, 2016.

Projeto Argos - Pineal. Disponível em: <<https://www.pineal3d.com.br/projeto-argos/>>. Acesso em: 04 nov. 2021.

Projeto Shester - Pineal. Disponível em: <<https://www.pineal3d.com.br/projeto-shester/>>. Acesso em: 04 nov. 2021.

RAULINO, B. R. **Manufatura Aditiva: Desenvolvimento de uma máquina de prototipagem rápida baseada na tecnologia FDM (Modelagem por fusão e deposição), Trabalho de Graduação em Engenharia de Controle e Automação, Universidade de Brasília, Brasília, 2011.**

REIS, D. A. L., et. Al., **Biomodelos Ósseos Produzidos por Intermédio da Impressão 3D: Uma Alternativa Metodológica no Ensino da Anatomia Veterinária.** Ver. Grad. USP, vol. 2, n.3, dez. 2017.

SCHMIDT-NIELSEN, K. **Fisiologia animal: adaptação e meio ambiente.** 5. ed. São Paulo: Santos, 2002. 611 p. ISBN 9788572880428.

SEARS, N. A.; SESHADRI, D. R.; DHAVA-LIKAR, P. S. & COSGRIFF-HERNANDEZ, E. **“A Review of Three-Dimensional Printing in Tissue Engineering”.** Tissue Engineering. Part B, Reviews, vol. 22, pp.298-310, 2016.

SILVA, Francisco da & ROSADO, Victor Orlando Gamarra. **“Biomodelagem Virtual para Diagnóstico e Planejamento Cirúrgico Usando Softwares Livres”.** Informática na Educação: Teoria e Prática, Porto Alegre, vol.17, n. 1, pp. 125-143, jan.-jun.2014.

SILVA, Gabriela Correia de Almeida. **Análise cinemática da marcha de cães da raça Golden Retriever saudáveis.** 2006. 81 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Medicina Veterinária, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

SHORES, A., **Fractures and locations of the vertebral column.,** Veterinary Clinics of North American: Small Animal Practice, v.22.

TEIXEIRA, M. F. M. **Simulação biomecânica de próteses para cães.** Dissertação

(Mestrado) - Curso de Engenharia Biomédica, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, 2021.

TOKURIKI, M. **Electromyography and joint-mechanical studies in quadrupedal locomotion: Walk**. Journal Veterinary Science, 35: 433-446, 1973.

VILICIC, F. A Nova Revolução Industrial. VEJA, São Paulo. Ano 45. Nº 52. Página 240 a Página 247. Dez de 2012.

VOLPATO, N. **Prototipagem Rápida: Tecnologias e Aplicações**. São Paulo: Editora Blücher; 2007.

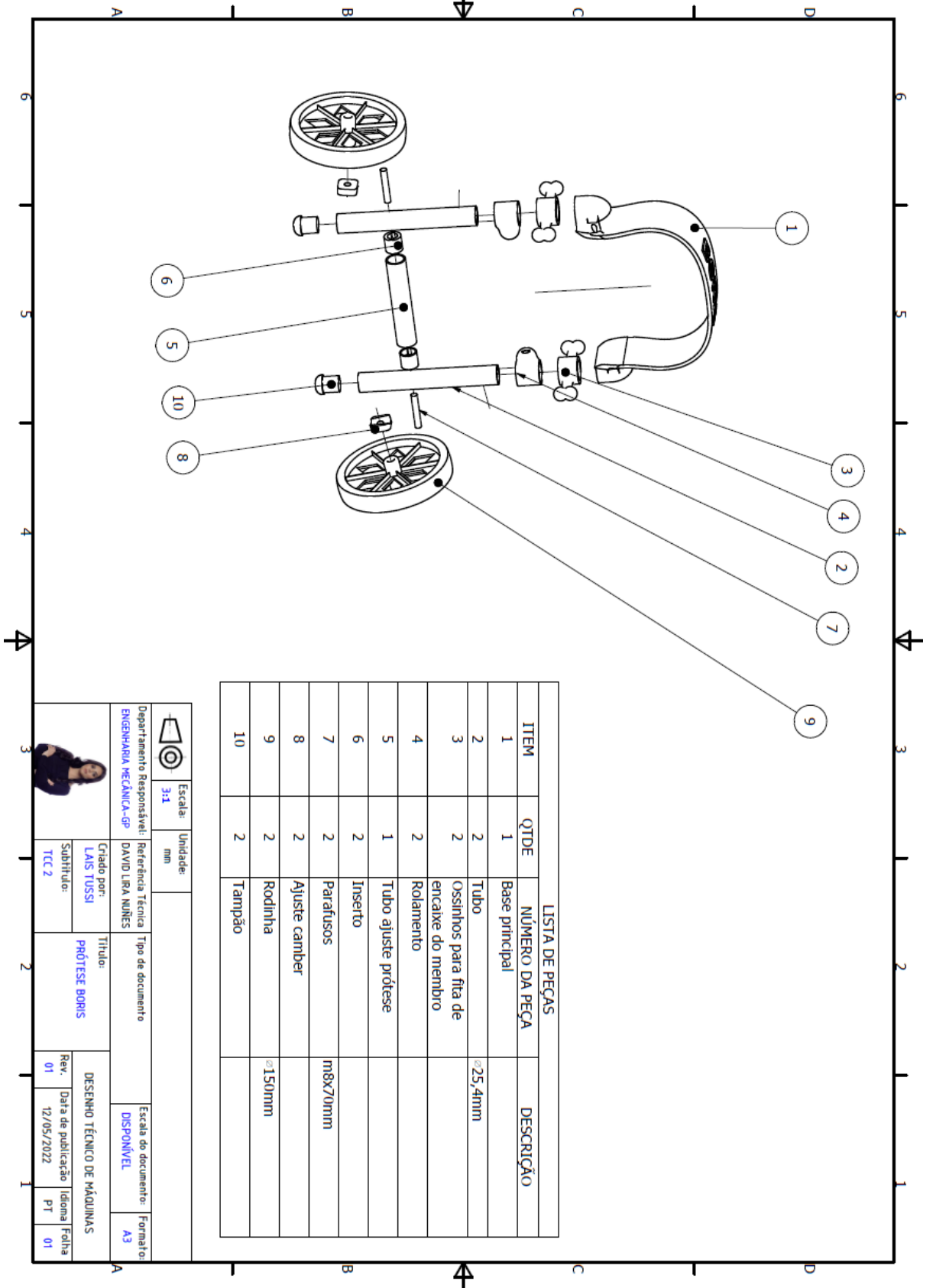
VOLPATO, Neri. **Manufatura aditiva; Tecnologias e Aplicações da Impressão 3D**. São Paulo. Editora Blucher, 2017. 9788521211518. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521211518/>. Acesso em: 04 nov. 2021.

WHEELER, J. T.; RAISER, A. G. **Artroplastia capsular de colonna modificada para cães – III Avaliação biomecânica**. Ciência Rural, Santa Maria, 22(1): 73-84, 1992.

WEIGEL, P. J. Amputações. In: SLATTER, D. **Manual de cirurgia de pequenos animais**. 3. Ed. São Paulo: Manole, 2007. v. 2, p. 2180-2190.

WEIGEL, J.P.; MILLIS, D. **Canine Rehabilitation and Physical Therapy: Biomechanics of physical rehabilitation and kinematics of exercise**. W. B. Saunders Company, p. 401- 430, 2014. ISBN 9781437703092.

ANEXO A - Vista explodida da prótese



LISTA DE PEÇAS

ITEM	QTD	NÚMERO DA PEÇA	DESCRIÇÃO
1	1	Base principal	
2	2	Tubo	∅25,4mm
3	2	Ossinhos para fita de encaixe do membro	
4	2	Rolamento	
5	1	Tubo ajuste prótese	
6	2	Inserto	
7	2	Parafusos	m8x70mm
8	2	Ajuste camber	
9	2	Rodinha	∅150mm
10	2	Tampão	

	Escala:	Unidade:	
	3:1	mm	
Departamento Responsável: ENGENHARIA MECÂNICA-GP		Referência Técnica: DAVID LIRA NUNES	
Tipo de documento: PROJETO		Escala do documento: DISPONÍVEL	
Formato: A3		Título: PRÓTESE BORIS	
Criado por: LAIS TUSSI		Rev. 01	
Substituto: TCC 2		Data de publicação: 12/05/2022	
DESENHO TÉCNICO DE MÁQUINAS		Idioma: PT	
		Folha: 01	