

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
Campus DIVINÓPOLIS
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECATRÔNICA

Nícolas Henrique Oliveira Dionísio

DESENVOLVIMENTO DE UM SUPORTE ROBÓTICO PARA SENSOR DE
ULTRASSOM PARA O MONITORAMENTO DO IMPLANTE DE SEMENTES
RADIOATIVAS PARA BRAQUITERAPIA



Divinópolis
2021

Nícolas Henrique Oliveira Dionísio

DESENVOLVIMENTO DE UM SUPORTE ROBÓTICO PARA SENSOR DE
ULTRASSOM PARA O MONITORAMENTO DO IMPLANTE DE SEMENTES
RADIOATIVAS PARA BRAQUITERAPIA

Monografia de Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Colegiado de Graduação em En-
genharia Mecatrônica como parte dos requisitos
exigidos para a obtenção do título de Engenheiro
Mecatrônico.

Áreas de integração: Mecânica, Computação e a
Eletrônica.

Orientador: Prof. Dr. Renato de Sousa Dâmaso

Co-orientador: Prof. Dr. Cláudio Parreira Lopes



Divinópolis
2021

Nícolas Henrique Oliveira Dionísio

DESENVOLVIMENTO DE UM SUPORTE ROBÓTICO PARA SENSOR DE
ULTRASSOM PARA O MONITORAMENTO DO IMPLANTE DE SEMENTES
RADIOATIVAS PARA BRAQUITERAPIA

Monografia de Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Colegiado de Graduação em En-
genharia Mecatrônica como parte dos requisitos
exigidos para a obtenção do título de Engenheiro
Mecatrônico.

Áreas de integração: Mecânica, Computação e a
Eletrônica.

Comissão Avaliadora:

Prof. Dr. Renato de Sousa Dâmaso
CEFET/MG Campus V

Prof. Me. Márcio Alves de Aguiar
CEFET/MG Campus V

Prof. Me. Marlon Henrique Teixeira
CEFET/MG Campus V



Divinópolis
2021

À MINHA FAMÍLIA E AMIGOS

Agradecimentos

Agradeço,

primeiramente aos meus pais, Marli Dionísio, que é minha referência como mulher e minha heroína, Sander Dionísio que sempre foi meu apoio e meu exemplo de trabalho e dedicação, e com humildade e honestidade, me criaram com todo amor do mundo e me fizeram ser o homem que sou hoje;

ao meu irmão, Lincoln Dionísio, por me ensinar a amar, a dividir e lutar;

aos meus avós paternos e maternos, que gostaria que estivessem vivos para celebrar comigo minha conquista;

ao Prof. Dr. Renato de Sousa Dâmaso, pelo incentivo e pela oportunidade de estar dentro deste trabalho desde o 4^o período do curso e sempre me manter ao lado, orientando durante minha caminhada e me auxiliar em todos os pontos;

aos meus amigos Gustavo (kids), Artur, Josef, Filipe, Vitor, Mateus Meireles, entre outros que estiveram presentes em todos os momentos nessa caminhada;

à todos que estiveram comigo durante minha caminhada no CEFET. À todos que sempre ofereceram sua atenção, respeito e amizade.

”Lute com determinação, abrace a vida com paixão, perca com classe e vença com ousadia, porque o mundo pertence a quem se atreve e a vida é muito bela para ser insignificante.”

-Charles Chaplin

Resumo

A braquiterapia é um tipo de tratamento contra o câncer por radioterapia interna em que fontes discretas, chamadas sementes, são inseridas no tumor ou tecido adjacente. Com a necessidade de inovar e melhorar o tratamento, estão sendo investigados pelo Núcleo de Radiação Ionizante (NRI) do Departamento de Engenharia Nuclear da UFMG sementes cerâmicas biodegradáveis e biocompatíveis. Tais sementes são menores que as sementes metálicas de I^{125} utilizadas atualmente no procedimento de braquiterapia manual, além de terem maiores taxas de dose, o que possibilita uma redução no número de sementes necessárias para um tratamento. Este trabalho de conclusão de curso propõe o desenvolvimento de um arranjo suporte e de movimentação de até dois sensores de ultrassom convexas para que possam realizar o monitoramento do posicionamento da agulha da ferramenta de implante e das sementes, enquanto são implantadas nas posições definidas na etapa de planejamento do tratamento. Isso viria a dar continuidade e complementar trabalhos anteriores que abordaram o desenvolvimento de protótipos de ferramentas para uso no robô industrial Comau Smart5 Six de forma a automatizar o implante das sementes. Assim, esse trabalho proposto deverá colaborar para o fechamento da malha de controle de posicionamento das sementes, através do desenvolvimento do dispositivo que irá monitorar o depósito das sementes nas posições definidas na etapa de planejamento do tratamento. No final deste trabalho, concretiza-se o projeto mecânico e eletrônico do dispositivo para suportar e movimentar os sensores de ultrassom transperineais convexas para futura montagem e uso na braquiterapia de próstata.

Palavras-chave: Robótica, Ultrassonografia, Braquiterapia, Leitura de posicionamento.

Abstract

Brachytherapy is a cancer treatment by internal radiotherapy with discrete sources called seeds. Those are inserted into the tumor or adjacent tissue. With the need to innovate and improve treatment, biodegradable and biocompatible ceramic seeds are activated by exposure to a neutron flux, those are being investigated by the "Núcleo de Radiação Ionizantes"(NRI) in the Nuclear Department at UFMG. Those seeds are smaller than I^{125} metallic seeds currently used in the manual brachytherapy procedure. And another point, the seeds has higher dose rates, which allows a reduction in the number of seeds needed on the treatment. This work proposes the development of a support and movement arrangement of up to two convex ultrasound sensors so that they can monitor the positioning of the implant tool needle and seeds, while they are implanted in the positions defined in the step of treatment planning. This would continue and complement previous work that addressed the development of prototype tools for use in the industrial robot Comau Smart5 Six in order to automate seed implantation. This proposed work should collaborate to close the seed positioning control mesh, through the development of a device that will monitor the seed deposit in the positions defined in the treatment planning stage. At the end of this work, it is complete the mechanical and electronic project of the fixation and movement device of the convex transperineal ultrasound sensors for future assembly and use in prostate brachytherapy.

Key-words: Robotics, Ultrasound, Brachytherapy, Planning position.

Sumário

Lista de Figuras	xii
Lista de Tabelas	xiii
Lista de Acrônimos e Notação	xv
1 Introdução Geral	1
1.1 Definição do Problema	4
1.2 Motivação	4
1.3 Objetivos	4
1.4 Escopo do Trabalho	5
2 Preliminares e Definições	7
2.1 Caracterização da Área	7
2.2 Revisão de Literatura	8
2.3 Fundamentação Teórica	9
2.3.1 Ultrassonografia	9
2.3.2 Forças Mecânicas	10
2.3.3 Teoria das Falhas	11
2.3.4 Transmissão por Parafuso	13
2.3.5 Materiais	13
2.3.6 Usinagem	16
3 Metodologia	19
3.1 Materiais	19
3.1.1 Mecânica	19
3.1.2 Eletrônica	20
3.1.3 Softwares	22
4 Desenvolvimento	27
4.1 Estudos	27
4.2 Escolha dos Materiais	29

4.2.1	Tensões Admissíveis	29
4.3	Ligações	29
4.3.1	Arduino, Ponte H e Motor de Passo	30
4.3.2	Arduino e Servo Motor	31
4.4	Acionamento	32
5	Resultados	35
5.1	Suporte Robótico para Ultrassom	35
5.1.1	Simulações no Ansys	35
5.2	Carro para Movimentação	42
5.3	Aplicação no Software Webots	43
6	Considerações Finais	45
6.1	Conclusões	45
6.2	Propostas de Continuidade	46
A	Desenhos mecânicos	47
B	Orçamento	63
C	Cronograma	65
D	Datasheets	67
E	Programação	73
	Bibliografia	84

Lista de Figuras

1.1	Henri Becquerel, Marie Curie e Pierre Curie	2
1.2	Distribuição das fontes no tecido tumoral assistido pelo ultrassom transretal [Limbergen et al., 2019]	3
1.3	Transdutores utilizados na braquiterapia de próstata.	3
2.1	Operações realizadas para o tratamento por braquiterapia guiada [Limbergen et al., 2019]	8
2.2	Sistema Euclidean [Yu et al., 2006]	8
2.3	Planejamento do agulhamento referente à imagem 1.2a [Limbergen et al., 2019] .	10
2.4	Diagrama de carga combinada adaptada de [Hibbeler, 2010]	11
2.5	Diagrama de tensões adaptado de [Hibbeler, 2010]	11
2.6	Soma de tensões adaptado de [Hibbeler, 2010]	12
2.7	Curva Elíptica da teoria de Von Mises adaptada de [Hibbeler, 2010]	13
2.8	Diagrama de ligas metálicas adaptado de [Callister et al., 2021]	14
2.9	Ensaio de tração em liga metálica adaptado de [Norton, 2013]	15
2.10	Método de torneamento adaptado de [Ferraresi, 2013]	17
2.11	Diversidade de torneamentos adaptado de [Rebeyka, 2016]	17
2.12	Método de furação adaptado de [Rebeyka, 2016]	18
3.1	Representação do motor de passo	20
3.2	Servo Motor MG996R	21
3.3	Ponte H dupla L298N [ele, 2021]	22
3.4	Ambiente Arduino IDE	22
3.5	Plataforma SolidWorks 2019	23
3.6	Plataforma Arduino Nano	24
3.7	Ambiente Proteus Design Suite	24
3.8	Ambiente Ansys	25
3.9	Ambiente Webots	25
4.1	Área de trabalho adaptado de [Yu et al., 2006]	28
4.2	Manual do usuário dos transdutores [Ultrasound and Diagnostics, 2010]	28
4.3	Oscilação para demonstração do ciclo de trabalho	30
4.4	Pinagem ponte H	30

4.5	Ligação Arduino, ponte H e motor de passo	31
4.6	Ligação Arduino e servo motor	32
4.7	Passo do fuso utilizado	32
4.8	Projeto eletrônico no Proteus Design Suite	33
5.1	Modelagem da ferramenta	36
5.2	Distribuição de forças e momento na estrutura analisada	37
5.3	Estrutura em deformação total	38
5.4	Estrutura em deformação total com referência ao eixo X	39
5.5	Estrutura em estresse total	39
5.6	Suporte em deformação total	40
5.7	Estrutura em deformação total com referência ao eixo Y	41
5.8	Suporte em estresse total	41
5.9	Modelo do metalon utilizado no projeto	42
5.10	Estrutura	43
5.11	Carro completo	43
5.12	Aplicação da estrutura no software Webots	44

Lista de Tabelas

2.1	Roscas e aplicações (adaptado de [Galdino, 2014])	13
2.2	Tabela de valores de densidade, rigidez e resistência adaptado de [Ashby and Johnson, 2013]	15
3.1	Composição química de ligas de alumínio [Davis et al., 1997]	20
4.1	Variações presentes na área de trabalho apresentados na Figura 4.1	27
4.2	Tabela para lógica das bobinas	31
5.1	Valores de força e momento na estrutura para realização de simulações	37
B.1	Relação de materiais relacionados	63
C.1	Distribuição de atividades programada	66

Lista de Acrônimos e Notação

UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
CEFET	Centro Federal de Educação Tecnológica
TCP	Ponto Central da Ferramenta, do inglês <i>Tool Center Point</i>
OMS	Organização Mundial da Saúde
WHO	Do inglês <i>World Health Organization</i>
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
DCL	Diagrama de corpo livre
SI	Sistema Internacional de Unidades
Cr	Cromo
I	Iodo
Ho	Hólmio
C	Carbono
Fe	Ferro
RPM	Rotações por Minuto
CC	Corrente Contínua
CAD	Desenho Assistido por Computador, do inglês <i>Computer-Aided Design</i>
ABS	Acrlonitrila-butadieno-estireno
PWM	Modulação por Lagura de Pulso, do inglês <i>Pulse Width Modulation</i>
DC	Ciclo de Trabalho, do inglês <i>Duty Cycle</i>

Introdução Geral

A multiplicação e o crescimento desordenado das células são conhecidas como neoplasia ou tumor, podendo ser benigno ou maligno. O tumor benigno geralmente é um crescimento ordenado, lento e com limites definidos, crescendo em uma área e não realizando uma invasão em tecidos adjacentes. Já o câncer é a junção de várias possíveis doenças, envolvendo uma proliferação desordenada e crescimento das células atingidas. Em uma neoplastia maligna, as células se propagam pelos tecidos adjacentes pelo processo da metástase, onde se desloca e se instala causando um novo tumor [WHO, 2020].

Esta doença tem apresentado um índice crescente de casos desde o início do século. Nos anos 2000, o número de tumores malignos existentes atingiram cerca de 10 milhões de pessoas [Stewart and Kleihues, 2003]. O câncer tem sido uma das principais causas de óbitos no mundo, atingindo a marca de 19 milhões de casos e 10 milhões de mortos no mundo em 2020 [Stewart and Kleihues, 2020], de acordo com a Organização Mundial da Saúde em conjunto ao *"Cancer Today"* e *"GLOBOCAN"*, sendo os principais mama, pulmão, cólon, próstata, pele e estômago.

Com o avanço da pesquisa realizada por Henri Becquerel, Marie Curie e Pierre Curie apresentados na Figura 1.1, em 1896 e 1898, foi publicado em 1909 o primeiro livro de radioterapia [Wickham and Degrais, 1909]. Após a primeira guerra mundial, foi dado início à pesquisa sobre a braquiterapia em universidades como *"Radium Hemmet"* em Estocolmo na Suécia, e no *"Memorial Hospital"* em Nova York nos Estados Unidos. Seguido por Irene Curie, filha de Marie Curie e seu marido Frederick Joliot, com a utilização de nucleotídios artificiais, abrindo as portas para o avanço da braquiterapia.



Figura 1.1: Henri Becquerel, Marie Curie e Pierre Curie

Basicamente, a braquiterapia é um tipo de tratamento contra o câncer por radioterapia interna em que fontes discretas, chamadas sementes, são inseridas no tumor ou tecido adjacente. Com a necessidade de inovar e melhorar esse tipo de tratamento, estão sendo investigados pelo Núcleo de Radiação Ionizante (NRI) do Departamento de Engenharia Nuclear da UFMG, sementes cerâmicas biodegradáveis e biocompatíveis. Tais sementes são ativadas por exposição a um fluxo de nêutrons. As dimensões dessas sementes são 1,6 mm de comprimento e 0,5 mm de largura, sendo uma opção vantajosa às sementes de I^{125} utilizadas atualmente no procedimento de braquiterapia manual, que possuem 4,5mm x 0,8mm.

Com o objetivo de colaborar com essa pesquisa, por meio da automatização do implante das sementes para braquiterapia de próstata, tem-se desenvolvido alguns estudos anteriores como Oliveira and Dâmaso [2013], Dâmaso et al. [2016], Junior et al. [2017] e Dionísio et al. [2018]. Essa automação tem sido buscada até aqui pelo desenvolvimento de protótipos de ferramentas para o robô industrial disponível no laboratório do CEFET-MG de Divinópolis. Além do desenvolvimento de programas para movimentação (posicionamento e orientação) do robô visando a realização de agulhamentos e implantes de sementes em corpos de prova de parafina balística e de tecido biológico.

Tal pesquisa vem sendo desenvolvida para utilização da braquiterapia para tratamento do câncer de próstata. Atualmente, a braquiterapia é realizada por um médico com o auxílio de uma placa guia. O profissional responsável insere as sementes linearmente ao tecido tumoral sendo auxiliado por imagens apresentadas em um ultrassom transretal, como é mostrado nas Figuras 1.2a e 1.2b

O presente trabalho busca dar continuidade e complementar a pesquisa de desenvolvimento da ferramenta de implante de sementes. Isso se daria através do desenvolvimento (projeto mecânico e eletrônico) de um suporte para acomodar e mover de forma automatizada até dois sensores de ultrassom transperineais do tipo convexos que realizem o monitoramento do tecido tumoral durante o agulhamento. A escolha desse tipo de transdutor é considerado um avanço em relação ao emprego do sensor de ultrassom transretal, tradicionalmente empregado na braquiterapia de próstata manual, tanto pela comodidade para o paciente, quanto para se reduzir a deformação e a movimentação da próstata.

Como demonstrado na Figura 1.3a, o ultrassom transretal hoje utilizado é ajustado manu-

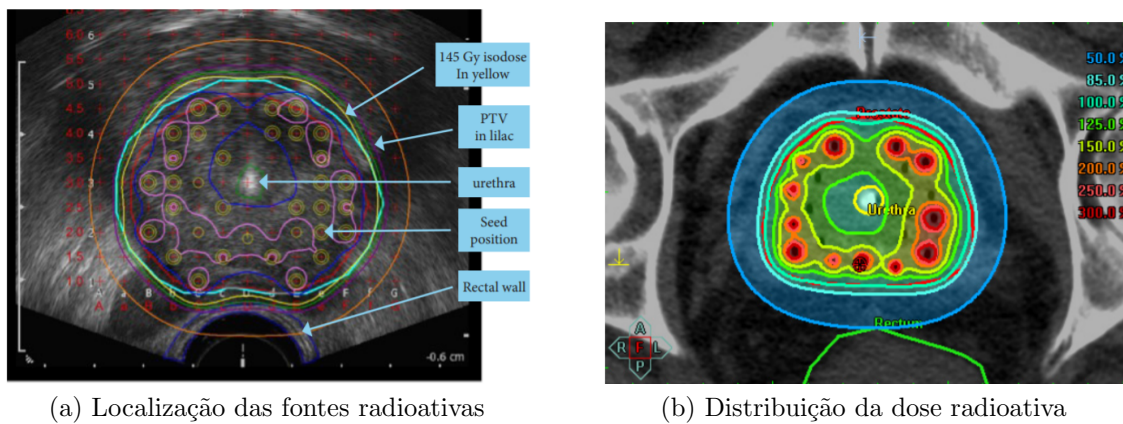


Figura 1.2: Distribuição das fontes no tecido tumoral assistido pelo ultrassom transretal [Limbergen et al., 2019]

almente para início do procedimento, além de apresentar uma visualização bastante limitada, de regiões planas com cerca de 5mm de espessura. Isso sem contar o desconforto e constrangimento característicos desse procedimento. Optou-se então pela construção de um protótipo de suporte para até dois ultrassons transperineais convexos e que tenha a capacidade de realizar suas movimentações controladas remotamente ou, até mesmo, automatizada. Assim, usando técnicas semelhantes às usadas em visão binocular com vergência, espera-se ampliar a região doente monitorada durante o procedimento de implante das sementes.



(a) Ultrassom sendo calibrado manualmente [Limbergen et al., 2019]



(b) Ultrassom Convexo 4C-RS Logiq-e [Ultrasound and Diagnostics, 2010]

Figura 1.3: Transdutores utilizados na braquiterapia de próstata.

A previsão de procedimento é que o dispositivo suporte possa ser posicionado de forma manual antes do início de um implante. Na sequência, deverão ocorrer pequenas movimentações motorizadas para angulação de até dois sensores de ultrassom convexos, como pode ser visto na Figura 1.3b. Este ultrassom utiliza um emissor de onda mecânica, que retorna para o receptor após reflexões nos diferentes tecidos. Essa onda refletida é usada para a formação de imagens internas do paciente e assim possibilitando a leitura do posicionamento da agulha da ferramenta

de implante e das sementes depositadas.

1.1 Definição do Problema

Como descrito anteriormente, no processo manual, o tratamento da braquiterapia apresenta algumas deficiências. Observando-as, se percebe que a automatização do método tende a possíveis soluções. Assim, para que o processo de inserção das sementes, com a utilização do manipulador robótico, em conjunto à montagem de imagens do agulhamento em tempo real, maior precisão será adicionada ao posicionamento necessário. Para que isso possa acontecer, torna-se essencial o emprego de um arranjo que realize o monitoramento da região prostática em tempo real. Tal fato, aliado à escolha do emprego de até dois sensores de ultrassom transperineais, torna necessário o desenvolvimento de um arranjo mecânico que suporte e movimente esses sensores de forma motorizada.

1.2 Motivação

A motivação que levou à escolha do tema estudado por este trabalho, foi o interesse pela área da robótica e a oportunidade de dar continuidade ao trabalho realizado durante 6 períodos de graduação no CEFET-MG/Unidade Divinópolis, em conjunto ao Núcleo de Radiações ionizantes da UFMG. Tendo em vista a relevância do projeto para a comunidade, se faz necessária a etapa presente neste trabalho. Assim, esse desenvolvimento deverá contribuir efetivamente com o objetivo maior da pesquisa que busca automatizar o processo da braquiterapia de próstata por meio do emprego de robô manipulador.

1.3 Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo principal o desenvolvimento dos projetos mecânico e eletrônico de um dispositivo suporte destinado à movimentação de até dois sensores de ultrassom transperineais convexos para a aquisição de imagens da região tumoral, nesse caso, na região da próstata.

Objetivos Específicos

Os objetivos específicos para o presente trabalho são:

- Desenvolver um pré-projeto da estrutura mecânica do suporte de sensores de ultrassom, afim de que ocorra a sua utilização futura em um paciente que esteja em uma maca hospitalar. A geometria do suporte deve evitar que possa ocorrer interferência no agulhamento realizado pelo manipulador robótico.
- Desenvolvimento conjunto dos projetos mecânico e eletrônico que cumpra com os requisitos do projeto, bem como a realização de seus orçamentos, preparando assim tal projeto para

submissão a editais de fomento que possam suportar a montagem física do protótipo resultante.

- Modelagem e simulação do dispositivo projetado em um simulador de parâmetros mecânicos, para avaliação de suas características estruturais e dinâmicas, como o ambiente ANSYS.
- Modelagem e motorização desse modelo em um simulador robótico 3D de código aberto, o Webots, para o teste virtual e avaliação de seu funcionamento.

1.4 Escopo do Trabalho

Este trabalho se encontra dividido em cinco capítulos. O primeiro apresenta a definição do problema a ser estudado, a motivação por trás do projeto, os objetivos do trabalho e o escopo deste documento.

No segundo capítulo é realizada uma caracterização da área e uma revisão de parte da literatura, sendo abordados os principais conceitos teóricos necessários para a compreensão deste trabalho.

O terceiro capítulo aborda as técnicas utilizadas no desenvolvimento do trabalho, tanto para a definição dos aspectos estruturais de projeto, quanto definições acerca de elementos sensores e/ou atuadores e modelagem.

O quarto capítulo apresenta a inclusão no simulador robótico 3D e caso haja tempo hábil e possibilidade de utilização dos laboratórios, a análise da construção do protótipo e resultados.

Por fim, o quinto capítulo apresenta as considerações finais a respeito do projeto e propostas de continuidade para o mesmo.

Preliminares e Definições

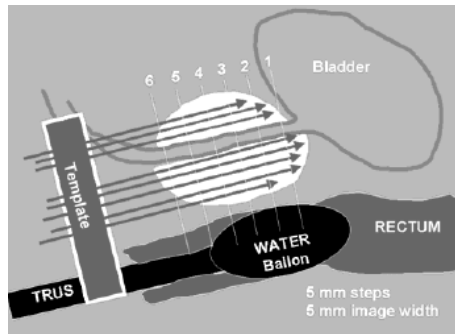
2.1 Caracterização da Área

O estudo e a possibilidade de se obter imagens com ultrassom, tomografia computadorizada e pela ressonância magnética entram em cena com o tratamento por radioterapia interna nos anos 90. Encontra-se algumas literaturas importantes ao longo do período de estudos dentro do assunto relacionado. Com a necessidade de imagens para projeção para a reconstrução do espaço do aplicador, faz-se essencial o tratamento com uso de imagens seccionais para o desenvolvimento da braquiterapia [Martel MK, 1998].

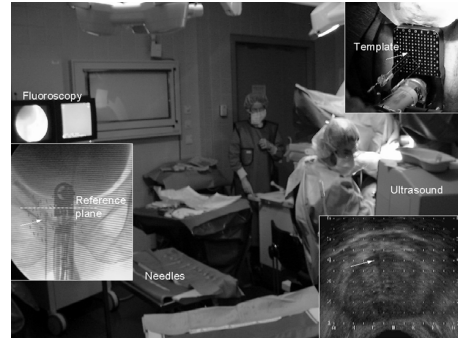
Campos clássicos da braquiterapia como colo do útero, cabeça e pescoço e como neste caso a próstata, que é considerado como novo campo de pesquisa da braquiterapia. Com a integração sistemática do ultrassom transretal no planejamento do tratamento do câncer de próstata tem demonstrado uma evolução rápida do estudo de caso [Blasko et al., 1991] [Holm et al., 1983].

A braquiterapia guiada por imagem seguem os princípios da braquiterapia tradicional, porém com a contribuição ao exame clínico por visão. Tem-se que a principal pré-condição para aplicação da técnica da braquiterapia guiada por imagem é a adequação ao suporte da aplicação e sua adaptabilidade às necessidade [Limbergen et al., 2019]. Atualmente, durante a braquiterapia guiada é utilizada uma placa guia juntamente ao ultrassom transretal, onde na ponta deste ultrassom, possui um balão com água. As localizações das sementes são previamente estabelecidas em um planejamento de tratamento em coordenadas X, Y e Z, onde X é a direção da direita para a esquerda, Y é a direção posterior para anterior do paciente e Z a profundidade dos agulhamentos auxiliados pela placa guia, como apresentado na Figura 1.2b.

Em 2006 [Yu et al., 2006], com a possibilidade de automatização e buscando uma maior qualidade de imagens para o tratamento, foi desenvolvido um robô para realizar uma assistência na etapa da inserção das sementes. Então foi iniciado o desenvolvimento do Euclidian, uma plataforma semi-automática, para assistência durante a braquiterapia de próstata representados pelas Figuras 2.2a e 2.2b, que apresentam respectivamente o desenho e seu protótipo montado. Apesar de seu elevado custo e complexidade, esse dispositivo constituiu-se na principal fonte de inspiração para o presente desenvolvimento.

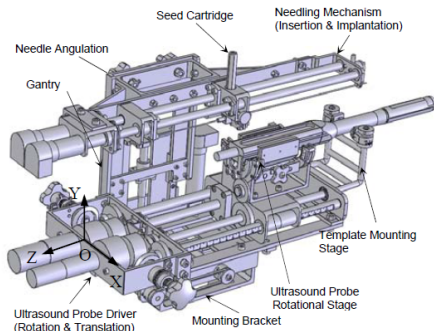


(a) Esquemático do agulhamento

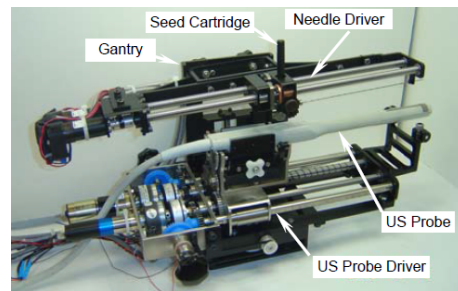


(b) Sala de operações da braquiterapia de próstata

Figura 2.1: Operações realizadas para o tratamento por braquiterapia guiada [Limbergen et al., 2019]



(a) Desenho do Euclidean [Yu et al., 2006]



(b) Sistema Euclidean montado [Yu et al., 2006]

Figura 2.2: Sistema Euclidean [Yu et al., 2006]

2.2 Revisão de Literatura

Tão antigo quanto a própria humanidade, tem-se o primeiro relato escrito no papiro de Edwin Smith, escrito por volta de 3000 a.C., onde Smith concluiu que o tumor protuberante na mama era uma doença que não havia tratamento. Médicos como Giovanni Batista Morgagni (1632-1771), na Itália, que era especialista em análises pós morte, possibilitou os maiores avanços nos séculos XVIII e XIX, na compreensão da natureza da composição macroscópica e microscópica de tumores [Hajdu, 2011].

Alguns dos principais tratamentos utilizados atualmente são: a cirurgia, a quimioterapia e a radioterapia. A cirurgia é por sua vez o principal método de tratamento de câncer sólido isolados [Hasan et al., 2003], que é geralmente acompanhado de outros tratamentos, sendo eles paliativo ou mesmo como principais. Já a quimioterapia está ligada à ministração de drogas que agem como anticâncer ou conhecido como citotóxicos, que é geralmente ligada ao início do tratamento que atuam nas células que possuem alta taxa de divisão, porém questionada quanto ao estágio do tumor e também do tipo de carcinoma a ser tratado [Lind, 2008] [Hasan et al., 2003]. A radioterapia utiliza-se de diversas possibilidade durante o tratamento podendo variar a área de tratamento até os mecanismos utilizados para tal e consiste no bombardeamento de uma

área tumoral afim de reter células malignas com uma dose de radiação pré calculada [WHO, 2020].

Durante a primeira década do século XX foi realizado o primeiro tratamento e teve o primeiro livro publicado por Wickham e Degrais [Wickham and Degrais, 1909]. A radioterapia pode variar em modalidades de tratamentos como a radiocirurgia, teleterapia e a braquiterapia. A radiocirurgia utiliza de radiação em dose única para tratamento de tumores e malformações. A teleterapia ou a radiação externa consiste no tratamento do tumor com uma distância entre o equipamento e a região cancerosa [De Lima et al., 2014]. Já na braquiterapia, fontes radioativas são inseridas para que realize o tratamento internamente, em contato com o tecido tumoral.

Nas últimas duas décadas, a possibilidade de se obter imagens durante o processo facilitou a ocorrência da braquiterapia pela localização do tecido ou até mesmo na localização das fontes que estarão adjacentes em alguns casos, trazendo assim uma maior segurança para o processo. A braquiterapia de alta taxa de dose, do inglês *High Dose Rate* (HDR), foi mais aceita nas ultimas duas décadas, no início, com sua particularidade para tratamento ginecológico e posteriormente para tratamentos para em tecidos de difícil acesso [Limbergen et al., 2019]. Atualmente, o tratamento pela braquiterapia ocorre com o auxílio de uma placa guia onde um profissional com a agulha e o embolo realiza a inserção da fontes radioativas.

As fontes radioativas ainda hoje utilizadas são as chamadas sementes de I^{125} metálicas [Dâmaso et al., 2016]. Como uma contraproposta, o Núcleo de Radiações Ionizantes ou a NRI, na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) trabalhou no desenvolvimento de sementes de Ho^{166} , que são biodegradáveis e biocompatíveis [Roberto et al., 2002].

2.3 Fundamentação Teórica

Nesta seção serão apresentados os conceitos principais dos recursos teóricos e as ferramentas empregadas no desenvolvimento deste trabalho. Esta parte tem por objetivo ser um referencial para os elementos utilizados no restante do trabalho. Dessa forma, inicialmente, serão abordados alguns aspectos da ultrassonografia. Em seguida, serão apresentados alguns dos possíveis esforços mecânicos e tensões, engrenagens, além de noções sobre o processo de fabricação de peças por meio da usinagem. Finalmente, serão apresentados alguns aspectos relacionados às propriedades dos materiais escolhidos e sobre a parte eletrônica relacionada ao presente trabalho.

2.3.1 Ultrassonografia

”A ultrassonografia computadorizada e a ressonância magnética entraram no mundo do planejamento de diversos tratamentos nas décadas de 80 e 90, e com este apoio da tecnologia levou a uma etapa de tratamento baseado em imagens 3D e cada dia se faz mais essencial no processo.”

[Glatstein E, 1985]

A braquiterapia de próstata, especialmente, foi amplamente melhorada pela braquiterapia assistida por imagens de ultrassonografia. A particularidade da próstata foi que a necessidade da melhoria do posicionamento das sementes, quer seja individualmente, quer sejam reunidas em

agulhas, levou a um considerável aumento na eficiência de sua atuação sobre o tumor e poupando seletivamente os tecidos próximos.

	A	a	B	b	C	c	D	d	E	e	F	f	G
7.0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
6.5	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
6.0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
5.5	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
5.0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
4.5	---	---	---	---	---	<5#3	---	<5#3	---	---	---	---	---
4.0	---	---	---	---	<5#3	---	---	<5#3	<5#3	---	---	---	---
3.5	---	---	---	<5#3	---	<0#2*	---	<0#4	---	<5#3	---	---	---
3.0	---	---	<5#3	---	<0#4	---	---	---	<0#4	---	<5#3	---	---
2.5	---	<10#2	---	<5#3*	---	---	---	---	---	<5#3*	---	---	---
2.0	---	---	<10#2	---	<5#3*	---	<5#4	---	<5#3*	---	<10#2	---	---
1.5	---	---	---	<5#3	---	<5#3*	---	<5#3	---	<5#3	---	---	---
1.0	---	---	---	---	<15#2	---	---	---	<15#2	---	---	---	---
	A	a	B	b	C	c	D	d	E	e	F	f	G

Figura 2.3: Planejamento do agulhamento referente à imagem 1.2a [Limbergen et al., 2019]

Com a ultrassonografia, o tratamento do câncer de próstata pôde-se planejar o tratamento, ou seja, visualizar o posicionamento das sementes por seções e por taxas de doses necessárias como demonstrado no plano de posicionamento apresentado na Figura 2.3.

2.3.2 Forças Mecânicas

Diagrama de Corpo Livre

O primeiro passo na análise do equilíbrio de um corpo é identificar todas as forças que atuam nele através de um diagrama de corpo livre (DCL). Portanto o DCL é uma representação simplificada das forças exercidas no corpo a ser analisado.

Esforços Mecânicos

Inicialmente, é necessário entender o equilíbrio de um corpo [Hibbeler, 2010]. O equilíbrio das forças impede que o corpo translate e o equilíbrio dos momentos impede que o corpo gire e podem ser representados por:

$$\begin{aligned} \sum \mathbf{F} &= 0 \\ \sum M_o &= 0 \Rightarrow \sum M_o = r \times \mathbf{F} = 0 \end{aligned} \quad (2.1)$$

Sendo \mathbf{r} um vetor de distância em relação ao centro, perpendicular ao vetor da força \mathbf{F} . Para que seja possível o dimensionamento do projeto e a escolhas dos materiais utilizados é necessário avaliar as condições de deformação e esforços presentes no processo. Através da construção do DCL pode-se analisar as cargas internas [Hibbeler, 2010].

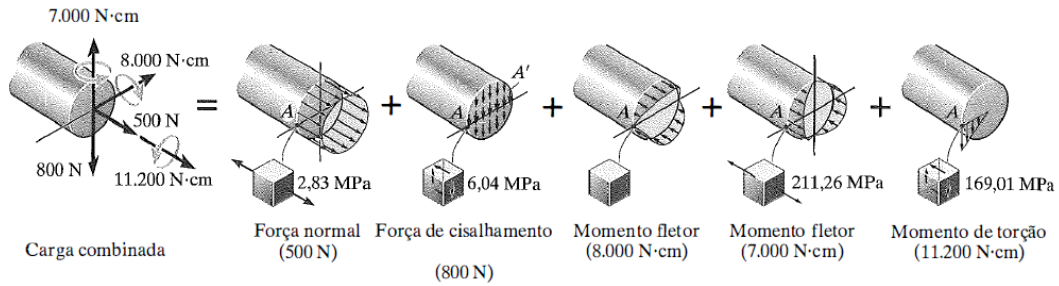


Figura 2.4: Diagrama de carga combinada adaptada de [Hibbeler, 2010]

2.3.3 Teoria das Falhas

Quando se estuda as teorias que se aplicam às falhas de um material, tende-se a analisar diversas causalidades, que neste caso, será analisado os planos de tensões aplicadas ao material. Neste trabalho, estuda-se um material dúctil, o qual quando exposto à um esforço, a falha tende à se propagar progressivamente por toda extensão da peça, deixando-a inapta a realizar a função desejada no projeto. A teoria das falhas tende à estabelecer os limites e ditar comportamentos dos materiais a partir das condições de trabalho.

Na fase de projeto deve estabelecer o coeficiente de segurança. Coeficiente este que deve-se estabelecer as margens necessária para que não inicie o processo de falha do material.

Neste trabalho será estudado a Teoria da Energia de Distorção Máxima [Hibbeler, 2010] ou também conhecida como Teoria de Von Mises, que é o método utilizado pela plataforma *ANSYS*, que é o software utilizado para demonstrar a deformações nas peças.

Teoria da Energia de Distorção Máxima

Como citado anteriormente, quando analisado um material dúctil exposto à um esforço, ele tende a armazenar esta energia internamente em toda sua extensão. Assim, criando critérios de falha com base nas distorções causadas pela energia de deformações, que estão sujeitos a 3 principais tensões σ_1 , σ_2 e σ_3 .

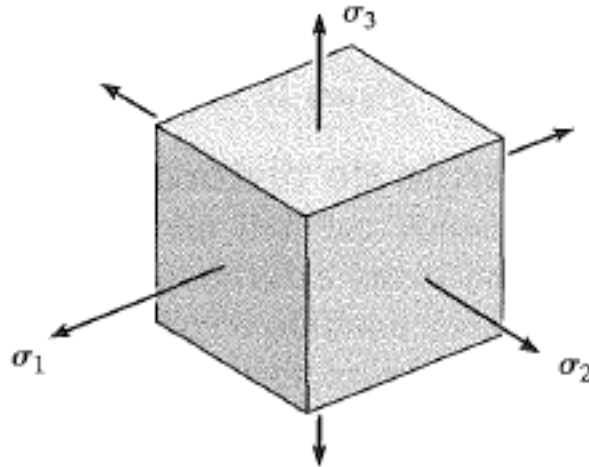


Figura 2.5: Diagrama de tensões adaptado de [Hibbeler, 2010]

Apresentado na Figura 2.5, demonstra que cada tensão contribui para a deformação total, de modo que:

$$u = \frac{1}{2}\sigma_1\epsilon_1 + \frac{1}{2}\sigma_2\epsilon_2 + \frac{1}{2}\sigma_3\epsilon_3 \quad (2.2)$$

Se o material comportar-se de maneira linear, deve-se aplicar a lei de Hooke, portanto tem-se:

$$u = \frac{1}{2E}[\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - 2\nu(\sigma_1\sigma_2 + \sigma_1\sigma_3 + \sigma_3\sigma_2)] \quad (2.3)$$

A energia de deformação é considerada como a soma de duas partes, uma que representa a energia necessária para provocar uma mudança do volume e outra para distorcer o material. A energia que resulta na modificação do volume é a tensão média das forças. Já a força remanescente provoca a distorção. Sendo assim, a Figura 2.5 é a resultantes da Figura 2.6.

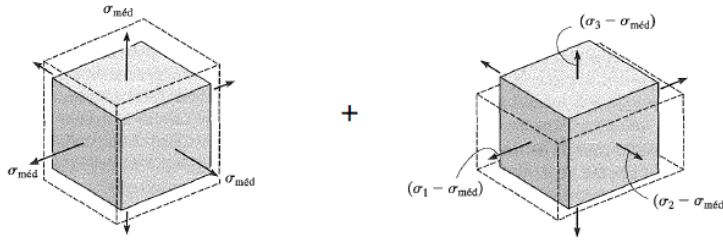


Figura 2.6: Soma de tensões adaptado de [Hibbeler, 2010]

Tem-se que o escoamento em um material dúctil ocorre quando a energia de distorção por unidade de volume é igual ou superior a energia de distorção por unidade de volume em um ensaio de tração simples, assim dada pela *Teoria de Von Mises*. Para se obter a energia de distorção por unidade de volume, pode-se substituir as tensões remanescentes na Equação 2.3, tendo assim:

$$u_d = \frac{1 + \nu}{6E}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2] \quad (2.4)$$

Como a teoria da energia da distorção máxima necessita que $u_d = (u_d)_e$, então, tem-se para as tensões no plano:

$$\sigma_1^2 - \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2^2 = \sigma_e^2 \quad (2.5)$$

Essa equação representa uma curva elíptica, Figura 2.7. Se o material, tal qual, está fora desta elipse, então é dito que o material irá falhar.

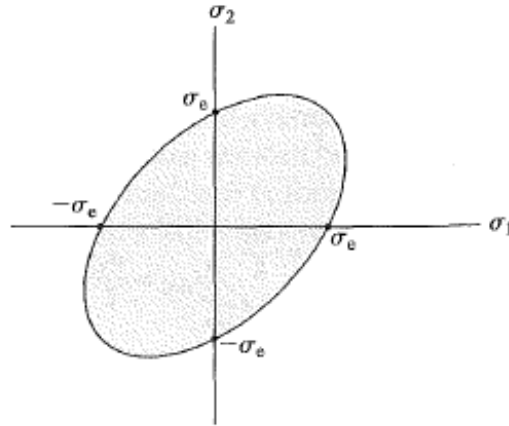


Figura 2.7: Curva Elíptica da teoria de Von Mises adaptada de [Hibbeler, 2010]

2.3.4 Transmissão por Parafuso

As roscas são conjuntos de filetes que contornam corpos cilíndricos a fim de realizar o movimento helicoidal com intuito de fixar uma determinada peça em outra ou de transmitir um movimento. As roscas existentes são empregadas em diversas atividades, como nos exemplos apresentados na Tabela 2.1.

Tabela 2.1: Roscas e aplicações (adaptado de [Galdino, 2014])

Triangular	Frequentemente utilizado para fixação
Trapezoidal	Transmissão suave e uniforme de movimento
Quadrada	Transmissão para grande esforço
Redonda	Parafusos de maiores diâmetros
Serra	Parafuso para esforço em sentido unilateral

As peças chamadas de fusos ou parafusos de transmissão linear, são dispositivos que possuem em sua distinção uma bucha roscada chamada de castanha de fuso, que realiza a transformação do torque em movimento linear.

A partir de [Galdino, 2014], para utilização de motores como fontes de torque para o sistema, é necessário para o projeto de sua quantidade de voltas (N) através da distância (ΔS) e o avanço desejado (A). Assim pela Equação 2.6, tem-se:

$$N = \frac{\Delta S}{A} \quad (2.6)$$

2.3.5 Materiais

Aços

De acordo com [Callister et al., 2021], aços são ligas de ferro carbono que possuem em sua composição elementos de uma liga distinta e ainda mantendo as propriedades mecânicas ligadas ao teor de carbono, que em sua grande maioria, mantém inferior à 1%.

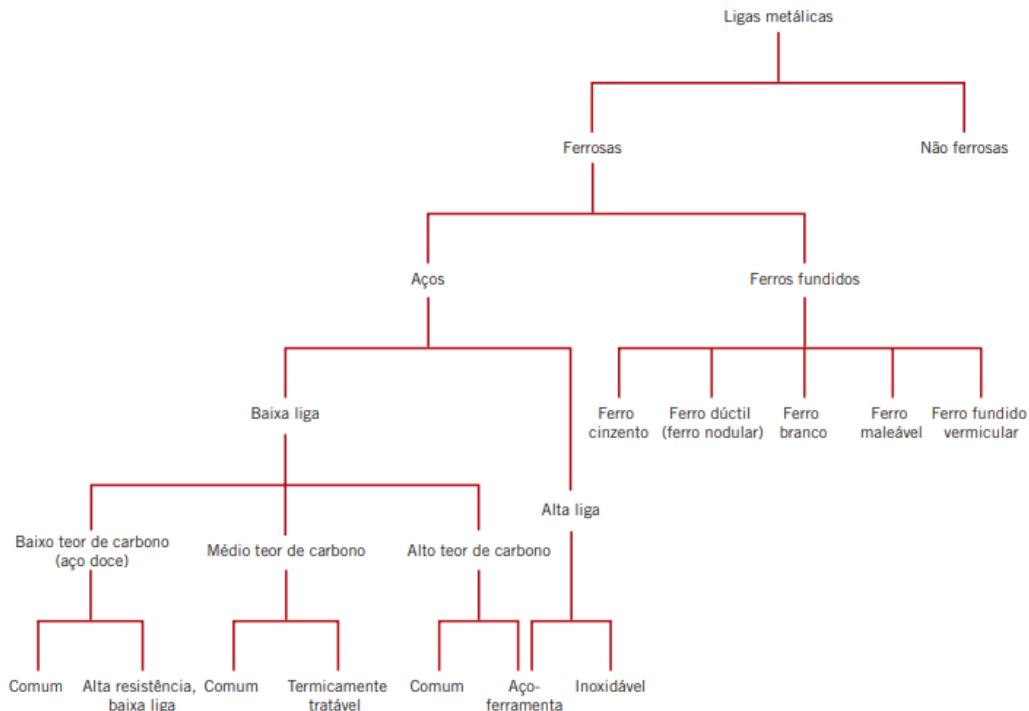


Figura 2.8: Diagrama de ligas metálicas adaptado de [Callister et al., 2021]

Aços Inoxidáveis

Os aços inoxidáveis são ligas de ferro (Fe) que possuem carbono (C) e cromo (Cr) em sua composição, com um mínimo de 11% de Cr. Os aços inoxidáveis são comumente utilizados em altas temperaturas por possuírem como características principais o teor de cromo e de níquel, que são resistentes à corrosão e às altas temperaturas.

Resistência Mecânica

Presente em [Norton, 2013], são exercidos normas e padrões para testes em materiais. O ensaio de tração é a medida mais comum desses testes de resistência estática. O diagrama de tensão-deformação ($\sigma - \varepsilon$) gerado neste tipo de ensaio é demonstrado na Figura 2.9. A inclinação da curva ($\sigma - \varepsilon$) na região elástica é chamada de módulo de elasticidade (E), ou módulo de Young, que define a rigidez do material, assim definindo sua resistência à deformação elástica sob carregamento.

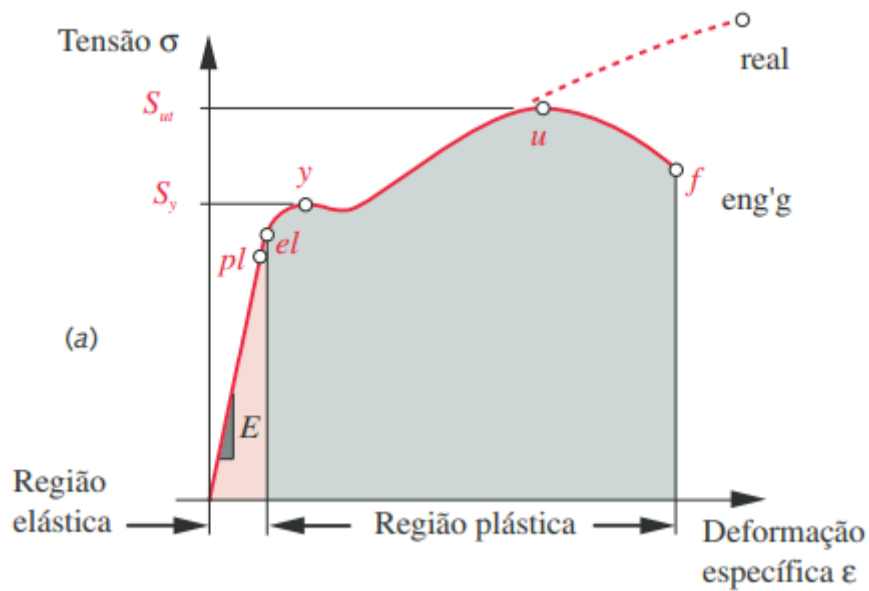


Figura 2.9: Ensaio de tração em liga metálica adaptado de [Norton, 2013]

Pode-se obter através de [Ashby and Johnson, 2013], os valores para diferentes tipos de materiais, como valores de densidade, rigidez e resistência. Os valores serão adaptados e expostos na Tabela 2.2:

Tabela 2.2: Tabela de valores de densidade, rigidez e resistência adaptado de [Ashby and Johnson, 2013]

Material	$\rho(g/cm^3)$	E(GPa)	σ_y (MPa)
Ligas de alumínio	2,5 - 2,9	68 - 82	30 - 500
Aços de baixo carbono	7,8 - 7,9	200 - 215	250 - 395
Aços inoxidáveis	7,6 - 8,1	189 - 210	170 - 1000
Nylon	1,12 - 1,14	2,62 - 3,2	50 - 94,8
ABS	1,01 - 1,21	1,1 - 2,9	18,5 - 51

2.3.6 Usinagem

A usinagem é um processo de fabricação que a partir de uma matéria prima bruta é dada forma e acabamento à mesma, removendo material que é o denominado sobrematerial ou cavaco [Rebeyka, 2016]. De acordo com [Machado, 2016], os movimentos são associados à peça e à aresta cortante da ferramenta. Dentro desse processo, ocorrem movimentos passivos e ativos, sendo passivos os que não retiram cavaco já os ativos retiram diretamente cavaco.

Os movimentos passivos são aqueles que não realizam a formação do cavaco, sendo eles:

- Movimentos de aproximação: entre a peça e a aresta de corte anterior à usinagem.
- Movimento de ajuste: consiste na aproximação da aresta de corte e a peça.
- Movimento de correção: é a distância para compensar o desgaste da ferramenta.
- Movimento de recuo: é o movimento que afasta a ferramenta de corte da peça.

Já os movimentos que causam a extração do cavaco são chamados de movimentos ativos, os quais são:

- Movimentação de corte: é realizado entre a peça da aresta de corte.
- Movimentação de avanço: é o movimento com relação à direção do corte.
- Movimento efetivo: é a movimentação de corte e avanço em conjunto.

O movimento de corte possui um dos principais parâmetros a velocidade de corte (V_c), que consiste na velocidade instantânea do ponto de referencia da aresta cortante, seguindo uma direção e sentido [Ferraresi, 2013].

O movimento de avanço (f) é a movimentação da ferramenta em relação à peça que gira, ela determina a qualidade superficial da peça, alterando também a forma do cavaco, desde a formação à espessura.

Torneamento

No processo do torneamento, impulsionado pelo rotor do torno, ao qual a peça é presa por meio da placa de castanhas, realiza-se o giro em torno com uma velocidade determinada (n). A velocidade de corte (V_c) sofrerá um aumento quando se estiver usinando a peça, a medida que se avança o carro que porta a ferramenta até o ponto do diâmetro da superfície. Em operações de faceamento, onde a ferramenta realiza a movimentação do corte com direção ao diâmetro 0, a velocidade do fuso aumenta gradadamente, isso ocorre em tornos de controle numérico computacional (CNC), porém quanto mais próximo ao centro, a velocidade tenderá à ficar impraticável, assim sendo setada até um limite máximo.

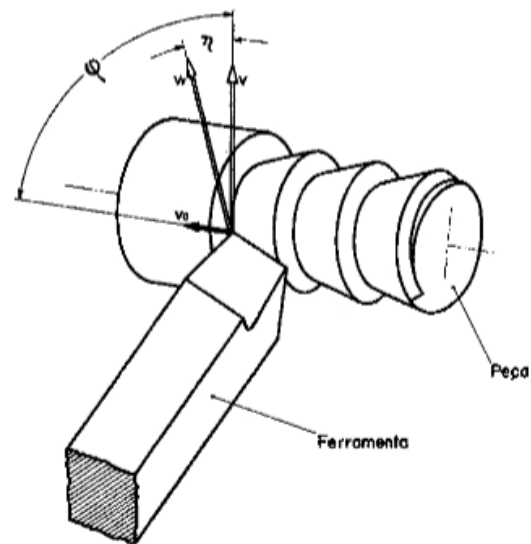


Figura 2.10: Método de torneamento adaptado de [Ferraresi, 2013]

Fresamento

O fresamento é uma operação de usinagem que utiliza uma ferramenta chamada fresa. A fresa é uma ferramenta simétrica, como é mostrada na Figura 2.11a que possui arestas cortantes em torno de seu eixo principal, com o movimento em torno desse eixo, realiza o movimento de corte do fresamento. O fresamento é um processo versátil, pois apresenta de diversas formas sua ferramenta gerando geometrias variadas, como é ilustrado na Figura 2.11b [Diniz, 2006] .

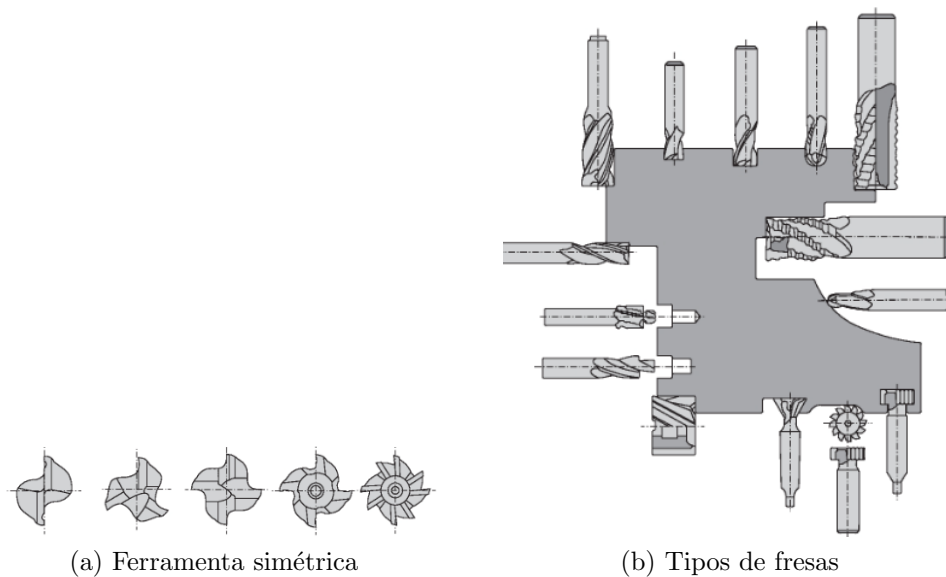


Figura 2.11: Diversidade de torneamentos adaptado de [Rebeyka, 2016]

Furação

O processo da furação é indicado para se obter furos cilíndricos em locais que seja possível a obtenção pela rotação da matéria prima ou da ferramenta. O processo pode ser utilizado para fixação, orientação, passagem de fluidos, diminuição de peso, entre outros. A furação possui como ferramenta a broca na furadeira, e que, com o movimento de corte, realizará a remoção do cavaco por meio de suas hélices para fora do furo realizado.

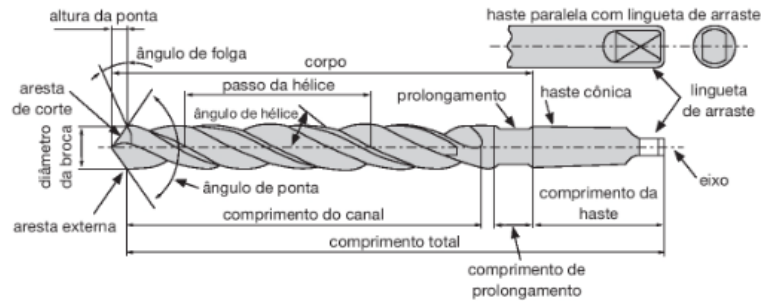


Figura 2.12: Método de furação adaptado de [Rebeyka, 2016]

Metodologia

Neste capítulo são apresentados os materiais e métodos a serem utilizados para conclusão dos objetivos propostos. Com o primeiro passo realizado, que foi proceder a revisão bibliográfica de trabalhos produzidos que possuem objetivos semelhantes, seguiu-se com a fundamentação. Seguido da fundamentação teórica, para que fosse possível um maior conhecimento dos conceitos necessários tanto para o projeto mecânico, ou seja, a parte estrutural, como para o projeto eletrônico. Em seguida, serão abordados os softwares utilizados para modelagem e simulação do dispositivo projetado para avaliação de características estruturais, bem como a motorização e teste virtual do funcionamento da estrutura.

3.1 Materiais

As subseções a seguir apresentam os materiais para o desenvolvimento da estrutura mecânica, os componentes da parte eletrônica e os softwares utilizados para o desenvolvimento deste trabalho.

3.1.1 Mecânica

Alumínio

Para a realização do projeto mecânico serão abordadas às principais as características e escolha dos materiais com boas relações custo benefício para serem utilizados dispositivo previsto para operar em um ambiente médico. O material ideal para utilização, após realização de leituras sobre temperaturas de fusão e resistência, foi o alumínio para a construção da ferramenta robótica, devido à facilidade de usinagem e conformidade. Outro material possível seria o aço inox, porém possui um alto custo de aquisição, além de dificuldade na usinagem e conformação. A liga de alumínio é um aço geralmente composto por cobre, magnésio, manganês, silício, estanho e o zinco, detalhado na Tabela 3.1. O alumínio é amplamente utilizado na indústria, quando se é necessária uma resistência à corrosão e um peso reduzido. Esta liga possui uma temperatura de fusão entre 475°C à 650°C, sendo avaliada como adequada para a posterior utilização real do protótipo projetado, já que será necessária um esterilização térmica do mesmo, além de uma esterilização química.

Tabela 3.1: Composição química de ligas de alumínio [Davis et al., 1997]

Material	Al (%)	Si (%)	Fe (%)	Cu (%)	Mn (%)	Mg (%)	Cr (%)	Zn (%)	Ti (%)	Outros (%)
AA 3003 - MB	Balanço	0,6	0,7	0,05-0,2	1-1,5			0,1		0,15
AA 1060 - MB	Balanço	0,2	0,5	0,05-0,2	0,03			0,15		0,05
ER 1100 - MBs	Balanço	0,04	0,14	0,05-0,2	0,05			0,1		0,15

3.1.2 Eletrônica

Será apresentada neste tópico a plataforma microcontrolada que realizará a integração dos sistemas e atuadores, bem como os atuadores que serão utilizados no projeto.

Motor de passo

Os motores de passo são caracterizados por um controle de posição do seu eixo simples e bastante adequados para acionamentos digitais, como por meio de microcontroladores. Os motores de passo se diferenciam pelo seu modelo, sendo que cada modelo possui um número de passos por revolução característico. Para o projeto em questão foram escolhidos dois motores: O primeiro foi o Nema 17HS8401, pela sua praticidade na aquisição, bem como seu baixo valor, custo apresentado no Apêndice B e datasheet apresentado no Apêndice D. O Nema 17HS8401 possui um torque de 52 N.cm. Será este que realizará a movimentação do carro superior, que possui uma massa de 2,5 kg. O motor por sua vez, possui uma capacidade superior a este valor, dando assim uma margem segura e para realização da movimentação para ajustes com a presença do sensor. O segundo motor utilizado será o Nema 23HS5628 que possui 130 N.cm, sendo que tal valor foi necessário visto que realizará a movimentação do carro superior que possui cerca de 7 kg, custo apresentado no Apêndice B e datasheet apresentado no Apêndice D.



Figura 3.1: Representação do motor de passo

Motor

O servo motor citado é um tipo de servo que possui uma limitação de movimentação que varia de modelo para modelo, neste modelo utilizado ele movimenta cerca de 120° . Como o motor de passo é um atuador eletromecânico utilizado para posicionar e manter uma determinada posição que é proporcional ao ciclo de trabalho, do inglês *duty cycle ou DC* do sinal *PWM*. O *PWM* ou *Pulse Width Modulation*, do inglês modulação por largura de pulso, que funciona de acordo com seu ciclo de trabalho. A técnica PWM é empregada para controle de potência ou tensão, por meio da largura de pulso de uma onda quadrada, ou seja, obtendo como exemplo uma chave, onde ela pode estar acionada por um determinado tempo e variando o tempo de acionamento deste dispositivo, pode-se então controlar a potência fornecida para o sistema. Neste projeto, será utilizado o Servo Tower MG996R, que é a versão atualizada do MG995. Possui uma precisão superior ao MG995. O servo motor possui perfurações para realizar a fixação no projeto. Possui todas suas engrenagens e rolamentos em metal. O dispositivo MG996R possui a possibilidade de funcionamento com 4,8V e 6V, para o funcionamento de 4,8V possui um torque de 9,4 kgf e para 6V possui um torque de 11 Kgf, datasheet apresentado no apêndice D.



Figura 3.2: Servo Motor MG996R

Ponte H

Será utilizada a ponte H dupla que é baseada no circuito integrado L298. Essa ponte H foi projetada para aceitar níveis lógicos, conduzir cargas indutivas como relés, solenoides, motores DC e motores de passo. O modelo L298N possui uma tensão de operação de 6 à 35V, possuindo uma corrente máxima de 4A em dois canais (2A por canal).



Figura 3.3: Ponte H dupla L298N [ele, 2021]

Arduino Nano

O Arduino Nano foi a escolha de placa microcontrolada para o projeto pela sua praticidade de tamanho reduzido, baixo custo de aquisição e fácil compra. O Arduino Nano é uma placa eletrônica microcontrolada baseada no microcontrolador ATmega328p. A plataforma possui uma tensão operacional de 5V e uma tensão de entrada de 6V a 20V. Existem 14 pinos de entrada e saída (I/O), onde 6 são PWM, além de 8 entradas analógicas.

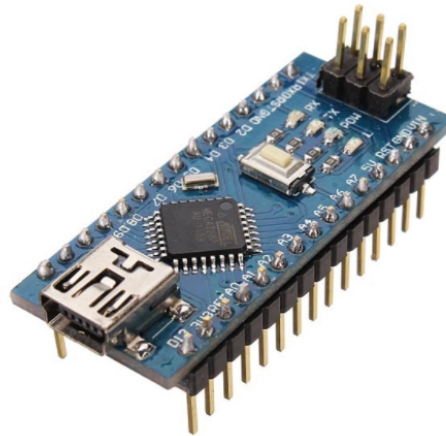


Figura 3.4: Ambiente Arduino IDE

3.1.3 Softwares

SolidWorks

O SolidWorks, apresentado na Figura 3.5, que possui a versão para estudante, é um software de CAD (do Inglês Computer-Aided Design) 3D, desenvolvido pela empresa SolidWorks Corporation. Empregado para desenvolver as modelagens das peças deste projeto. A utilização do software é devido ao conhecimento do discente com a plataforma de desenho, por cursos já

realizados e experiência adquirida ao longo do curso.

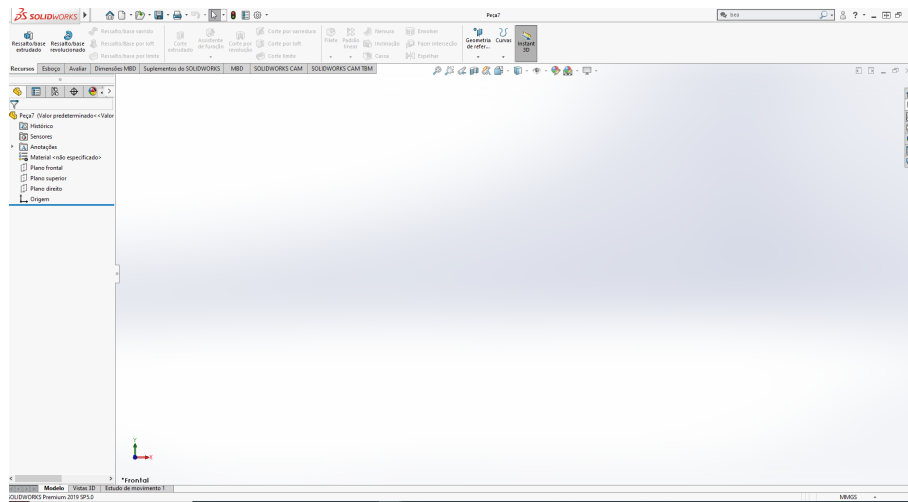


Figura 3.5: Plataforma SolidWorks 2019

Arduino IDE

O software Arduino IDE, apresentado pela Figura 3.6, é uma plataforma de código aberto que permite ao usuário online e offline, escrever e realizar upload dentro do ambiente de trabalho. É uma plataforma com programação baseada em C/C++, que possui a orientação a objeto além de métodos próprios e a comunicação entre a plataforma e o computador é realizado via cabo USB.

Proteus Design Suite

O Proteus Design Suite, apresentado na Figura 3.7, que também possui uma versão para estudantes, é um software desenvolvido para projeto de circuito integrado. A plataforma agrega a criação de circuito, o ISIS, e a parte de desenho em circuito impresso, o ARES.

Ansys

O ANSYS, bem como os softwares anteriores, apresentado na Figura 3.8, possuem a versão para estudantes, é um software que se baseia na técnica de elementos finitos, sendo utilizado em diversas áreas de problemas de engenharia. Na plataforma é necessária a definição das características do material utilizado, dimensões, forças envolvidas e apoios existentes. O sistema do software apresenta vários tipos de simulações, que com o auxílio de ferramentas operacionais é possível a modelagem da situação desejada.

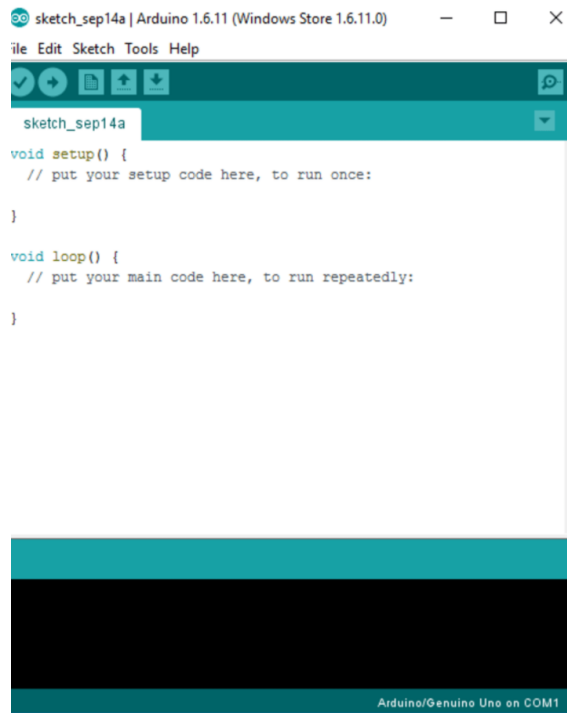


Figura 3.6: Plataforma Arduino Nano

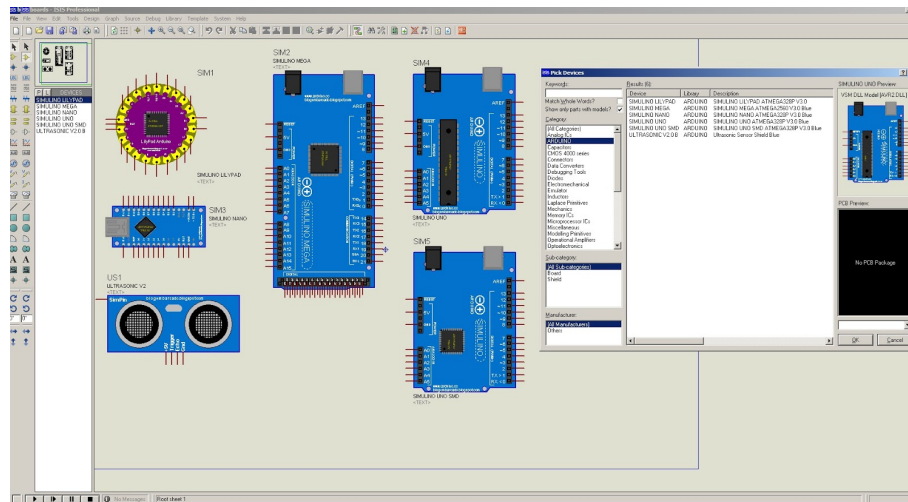


Figura 3.7: Ambiente Proteus Design Suite

Webots

O Webots, apresentado na Figura 3.9, é um aplicativo de código aberto e de múltiplas plataformas, usado para simulação de robôs e sistemas de operação. Inicialmente projetado para uso profissional, ganhou espaço também na área acadêmica, tanto na educação e pesquisa.

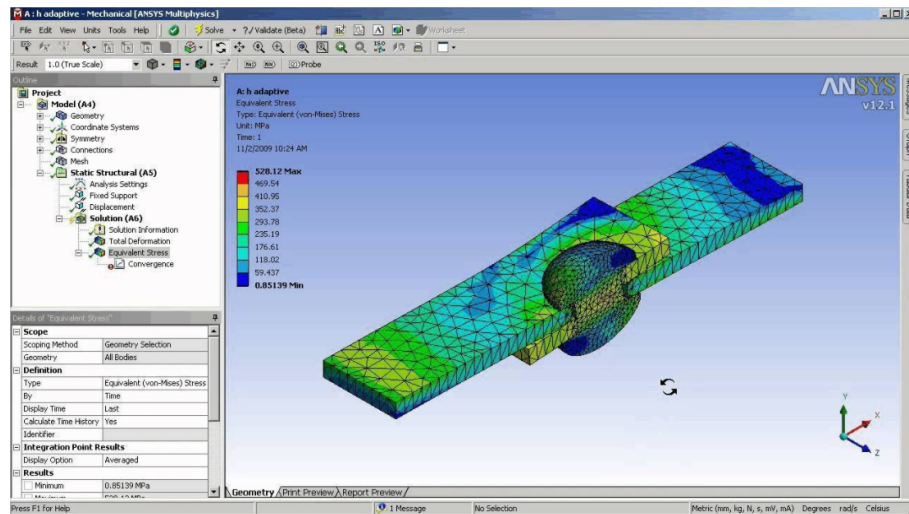


Figura 3.8: Ambiente Ansys

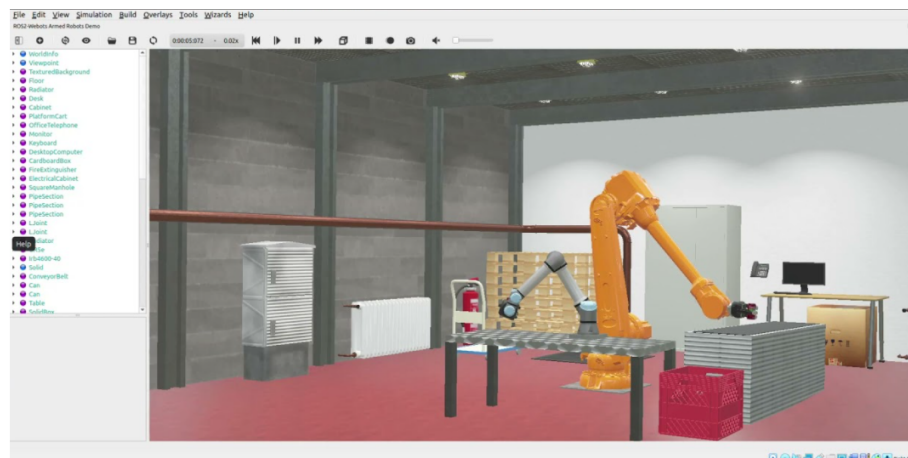


Figura 3.9: Ambiente Webots

Desenvolvimento

4.1 Estudos

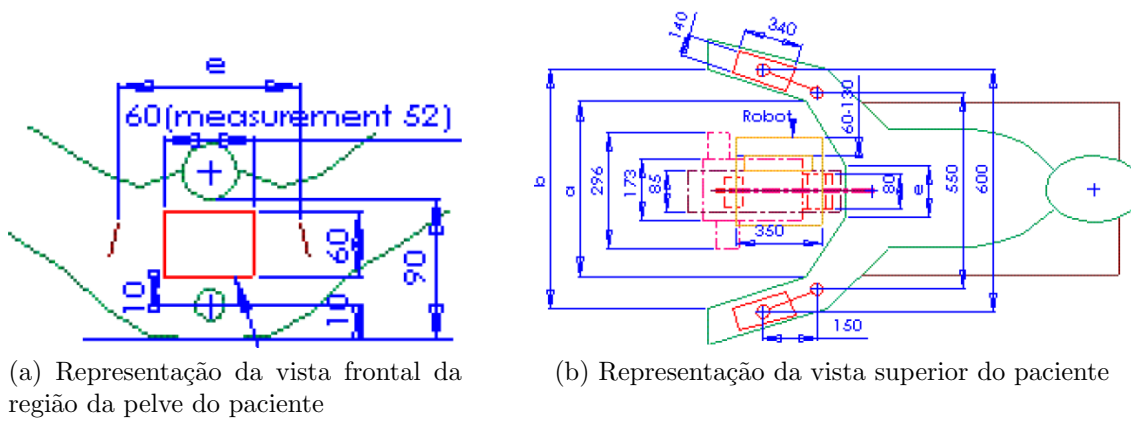
A escolha do modelo de ultrassom transperineal a ser utilizado para o desenvolvimento do projeto do suporte robótico se deu através de uma reunião realizada com o professor Tarcísio Passos Ribeiro de Campos, que coordena o Núcleo das Radiações Ionizantes (NRI) da UFMG, em que foi apontado a existência do ultrassom 4C-RS no Campus da instituição na capital mineira. Essa disponibilidade, de certa forma, guiou o desenvolvimento do suporte a ser projetado nesse trabalho de forma a suportar (fixando e movimentando) esse sensor para sua utilização. Mas é claro que outros tipos de sensores de ultrassom podem vir a ser empregados, mediante pequenas adaptações nas peças diretamente relacionadas com o acoplamento dos sensores, de forma a contemplar as características e particularidades dos mesmos. O sensor ultrassom pode ser visto na Figura 4.2, estando marcado em vermelho. A partir disto, foi decidido que seria projetada a ferramenta para realização das movimentações necessárias para realização das leituras desejadas.

Devido às variações anatômicas existentes de paciente para paciente, representado na Figura 4.1, se fazem necessárias as movimentações para realizar ajustes na altura, bem como as movimentações de aproximação nos eixos Y e Z, visto que o espaço de trabalho cirúrgico é reduzido.

Tabela 4.1: Variações presentes na área de trabalho apresentados na Figura 4.1

a (mm)	b (mm)	e (mm)
420-500	450-600	100-120

Obtendo o espaço de trabalho, foram necessária a escolha do local onde o mesmo seria acoplado, de forma a apresentar um melhor resultado de movimentações e que seja de fácil manutenção, seja troca de componentes por eventuais defeitos ou pela necessidade de intervenções no sistema. Após concluída a análise dos pontos de necessidade de atuação do suporte, foi realizado um estudo direcionado ao aprofundamento dos conceitos necessários para o desenvolvimento do projeto. As dimensões do suporte partiram de informações obtidas do manual do usuário da GE Logiq-e [Ultrasound and Diagnostics, 2010].



(a) Representação da vista frontal da região da pelve do paciente

(b) Representação da vista superior do paciente

Figura 4.1: Área de trabalho adaptado de [Yu et al., 2006]

Transducer	Description	Applications	Footprint	Bandwidth	Biopsy Guide
6S-RS	Wide-band phased array	Pediatric, cardiac, abdomen, GYN	16.8 x 23.5 mm	2.5–7.0 MHz Imaging Frequency	Not available
4C-RS	Wide-band convex array	Abdomen, OB/GYN, hip, spine, bladder, conventional musculoskeletal	18.3 x 66.2 mm	2.0–5.5 MHz Imaging Frequency	Multi angle
8C-RS	Wide-band microconvex array	Intraoperative, pediatric abdomen, neonatal cephalic, small parts	12 x 22 mm	4.0–10.0 MHz Imaging Frequency	Not available
EBC-RS	Wide-band microconvex array	Intercavitary probe, i.e. transvaginal and transectal exams	16.9 x 21.2 mm	4.0–10.0 MHz Imaging Frequency	Fixed angle
6Tc-RS	TEE	Cardiac	L45 x W14 (x H12.5) mm	2.9–8.0 MHz Imaging Frequency	Not available
i739L-RS	Wide-band linear array	Interoperative, vascular, small parts	14 x 48 mm	3.5–10.0 MHz Imaging Frequency	Not available
T739L-RS	Wide-band linear array	Vascular, interoperative, small parts	14 x 48 mm	3.5–10.0 MHz Imaging Frequency	Not available

Figura 4.2: Manual do usuário dos transdutores [Ultrasound and Diagnostics, 2010]

Como citado anteriormente, para que seja possível seguir os objetivos foi estudado as possíveis movimentações da ferramenta demonstrada por [Yu et al., 2006], apresentada nas Figuras 2.2a e 2.2b. Através destes estudos foi possível analisar melhorias no projeto desenvolvido, mantendo sua robusta movimentação para adaptação na sala de terapia.

4.2 Escolha dos Materiais

Como proposto em seções anteriores, foram definidos alguns possíveis materiais para fabricação do suporte robótico. Para que seja seguida a ideia de projeto de uma estrutura leve e de baixo custo, seguindo a partir de estudo realizado durante a elaboração deste trabalho e conhecimentos adquiridos no curso de Engenharia Mecatrônica, foi definido que o melhor material para elaboração do projeto é o alumínio, por sua fácil usinabilidade, baixo custo e fácil acesso.

Quando comparado a outros materiais, como o nylon ou ABS por exemplo, a rigidez do alumínio se sobressai, além da necessidade de esterilização para uso médico, geralmente utilizado por temperatura e umidade conhecido como esterilização por calor úmido, então através de pesquisa de acessibilidade ao material, foi decidido pela liga ABNT 5052. A liga escolhida será utilizada nas partes que serão produzidas, como paredes externas e suportes de forma a garantir a resistência mecânica e permitir a fixação através de roscas e parafusos.

4.2.1 Tensões Admissíveis

De acordo com [Hibbeler, 2010], ao se realizar um projeto, o engenheiro responsável pela estrutura deve restringir a tensão atuante no material a um nível seguro. E para que essa situação seja atendida, deve-se estipular um valor para que esta tensão máxima exercida seja menor que a tensão máxima permitida.

Um método para especificação de carga admissível no projeto ou análise de um elemento é o uso de um número denominado fator de segurança (FS). Não existem normas regulamentadoras para uma escolha de coeficiente de segurança. De acordo com [Norton, 2013], quando é realizado um projeto, é proposto de acordo com o tipo de material, podendo variar de 1,3 a 3 para materiais dúcteis.

Dito isto, utilizando de fornecedores de ensaios realizados em alumínio, onde demonstra uma tabela com propriedades físicas e mecânicas. Foi utilizado um $FS=2$. Desta forma, o alumínio que possui uma tensão de escoamento em $\sigma_{max} = 65Mpa$, passa então para uma tensão de $\sigma_{adm} = 32,5Mpa$.

4.3 Ligações

Como previamente citada e demonstrada na Figura 3.3, a ponte H L298N é um módulo driver de ponte H dupla, sendo ele capaz de trabalhar com dois motores CC ou um motor de passo, como é caso utilizado deste trabalho. Este módulo permite não apenas controlar o sentido de rotação, bem como sua velocidade utilizando o sinal PWM de um microcontrolador. O sinal PWM, ou modulação por largura de pulso como já explicado previamente, é uma técnica utilizada para obter sinais lógicos por um meio digital, a partir do tempo que a onda permanece em nível alto, este tempo é o conhecido como *Duty Cycle*. O Ciclo de trabalho é a razão do tempo em que o sinal permanece na tensão máxima, como neste caso do Arduino, no nível 5 volts. O DC pode ser calculado a partir da oscilação da onda como demonstrado na Figura 4.3.

O DC é dado em %, onde se tem a soma dos dois tempos (X e Y), ou seja, o período total da onda (T). Logo tem-se:

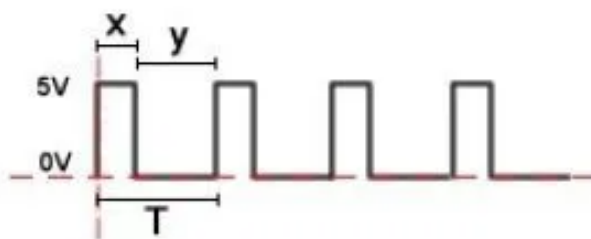


Figura 4.3: Oscilação para demonstração do ciclo de trabalho

$$DC(\%) = \frac{X}{X + Y} \times 100\% \quad (4.1)$$

$$V_{med} = V_{max} * DC(\%) \quad (4.2)$$

Tem-se que o valor do DC armazenado no sinal do PWM do Arduino é 255, sendo 255 seu 100%. Utilizando um valor exemplo de 150 no PWM, tem-se um valor em porcentagem de 58,82% e pode-se ter o valor médio da tensão:

$$V_{med} = 5V \times 58,82\% \Rightarrow V_{med} = 2,94V \quad (4.3)$$

4.3.1 Arduino, Ponte H e Motor de Passo

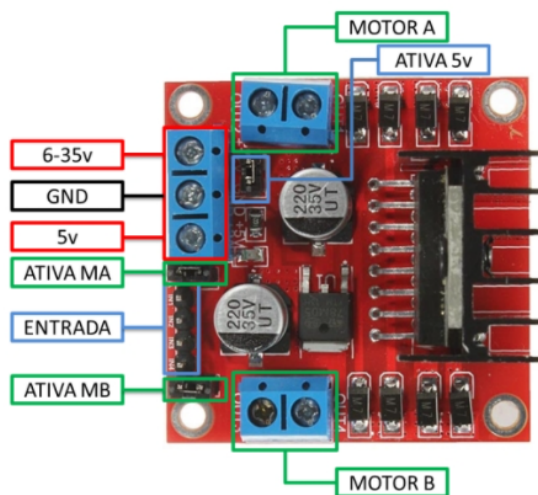


Figura 4.4: Pinagem ponte H

- **Motor A e Motor B:** estes representados, são os bornes que realizam as ligações dos motores CC ou o motor de passo, como utilizado neste caso.
- **Ativa motores:** são os pinos responsáveis pelo controle PWM dos motores A e B. Se estiver com jumper, não haverá controle de velocidade, pois os pinos estarão ligados aos 5V. Esses pinos podem ser utilizados em conjunto com os pinos PWM do Arduino.

- **6-35V e GND:** será conectado a fonte de alimentação externa quando o driver estiver controlando um motor que opere entre 6-35V. Por exemplo, se estiver usando um motor de 12V, basta conectar a fonte externa de 12V neste pino e (GND).
- **Entrada dos motores:** Este barramento é composto por IN1, IN2, IN3 e IN4. São os pinos responsáveis pela rotação do Motor A (IN1 e IN2) e Motor B (IN3 e IN4).

De forma a representar as ligações para o motor de passo, foi utilizado a imagem adaptada de [cia, 2022], utilizando uma fonte externa para alimentação do motor de passo, como será utilizado neste projeto.

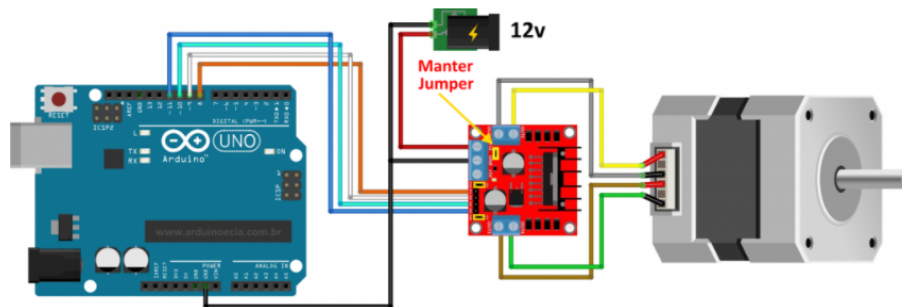


Figura 4.5: Ligação Arduino, ponte H e motor de passo

De forma a explicar como é desenvolvido os sentido do motor, depende em qual bobina a tensão será aplicada. Deste modo, foi utilizada desta lógica para realizar o programa do Arduino presente no Apêndice E.

Tabela 4.2: Tabela para lógica das bobinas

BOBINAS				
	A	B	C	D
1	1	0	0	1
2	0	1	0	1
3	0	1	1	0
4	1	0	1	0

4.3.2 Arduino e Servo Motor

Os servos motores MG995 tem como principais características o alto torque e resistência. Componente geralmente utilizados para braços e pernas de robôs em pequenos projetos e também utilizados no aeromodelismo, para controles de flaps de asas dos aviões. O esquema de ligação do servo motor é simples quando comparado ao do motor de passo, por não possuir a necessidade de um módulo para controle, podendo ser ligado diretamente à placa microcontrolada, como visto na Figura 4.6 adaptada do site [mas, 2022].

Um servo motor de corrente contínua é formado por um pequeno motor interno, um potenciômetro de realimentação, uma caixa de engrenagens e um circuito eletrônico para realizar o

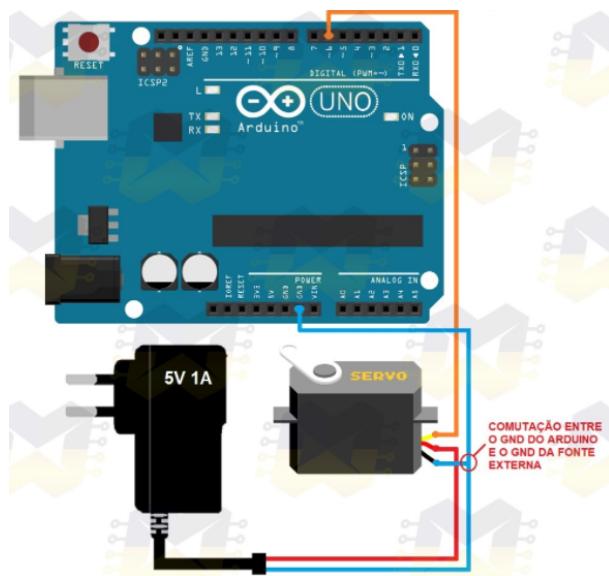


Figura 4.6: Ligação Arduino e servo motor

acionamento. No caso deste trabalho, foi utilizada a placa microcontrolada, o Arduino para gerar os sinais com precisão, afim de gerar os pulsos de tensão que servirá como referência para o servo motor.

4.4 Acionamento

Com o intuito de testes, foi elaborado um programa para movimentações dos motores presentes. Para isso foi elaborada uma lógica no Arduino para o controle dos 2 motores de passo e do servo motor. Os motores de passo possuem uma resolução de 200 passos por rotação para o acionamento em passo completo. No acionamento por meio passo, essa resolução dobra. Mas há ainda a possibilidade do acionamento por micropasso, que aumenta ainda mais a resolução de cada motor. Acredita-se que não seja o caso de adotar o acionamento por micropasso, pois a redução do fuso é bastante alta. Como o fuso projetado possui 2 mm por revolução, como demonstrado na Figura 4.7, para cada passo do motor, o sistema terá um avanço ou recuo ideal de 0,01 mm. Aqui o termo ideal se refere à existência de folgas e de certas elasticidades previstas para os acoplamentos e transmissões.

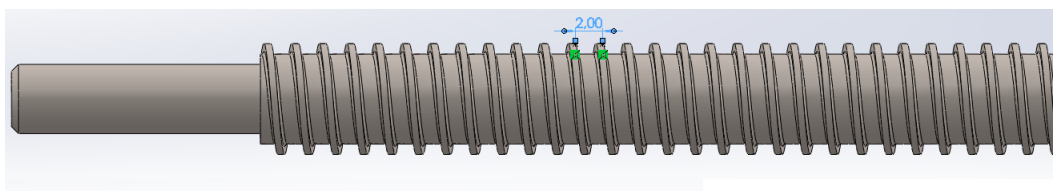


Figura 4.7: Passo do fuso utilizado

Para a elaboração do código do Arduino para movimentação, estabeleceu-se teclas que reali-

zará o número de passos definidos, como visto na lógica de programação exposta no Apêndice E. Assim como explicado, como o fuso possui o passo de 2 mm, tem-se que com uma volta completa ele avançará ou recuará 2 mm, logo, estabelecido, como exemplo, a tecla X como avançar 50 passo, o fuso realizará $\frac{1}{4}$ de volta, assim avançando 0,5 mm.

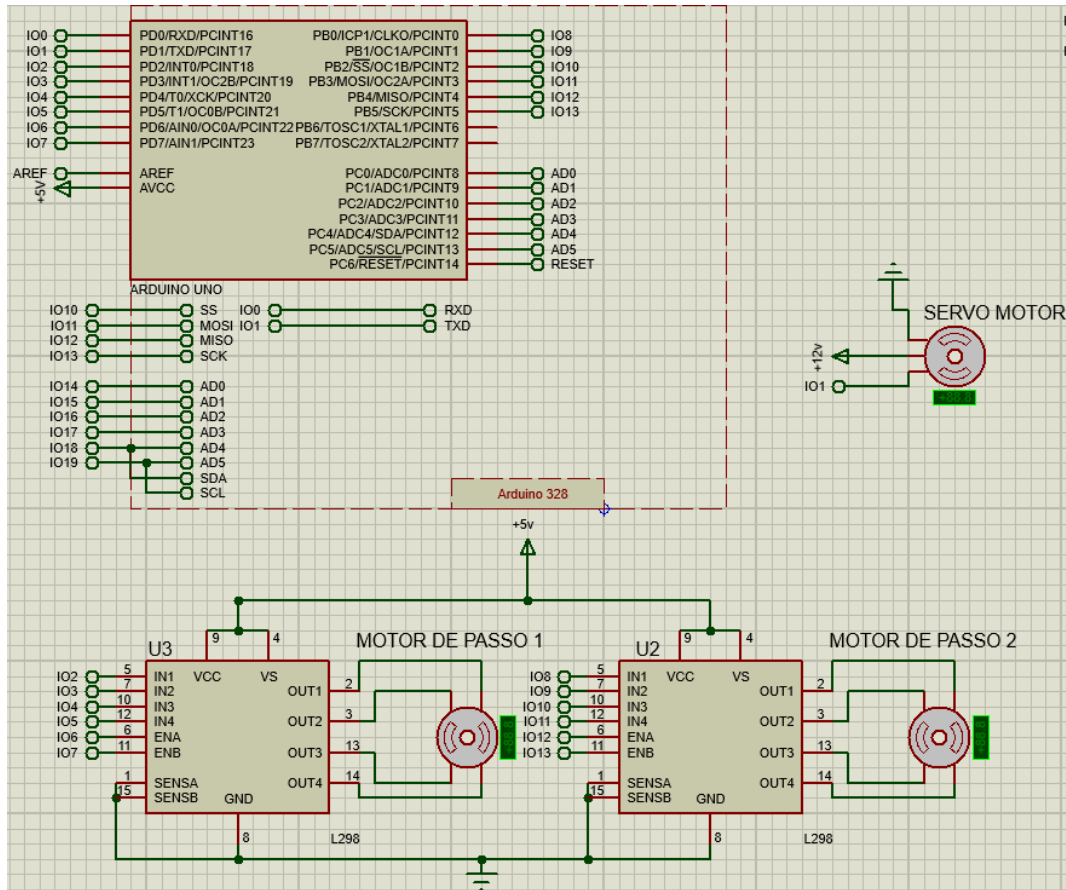


Figura 4.8: Projeto eletrônico no Proteus Design Suite

Deste modo, com o desenvolvimento do código realizado, foi possível elaborar a lógica de acionamento eletrônico e realizar testes e simulações para movimentações dos motores no ambiente do Proteus Design Suite, apresentado na Figura 4.8. Nela estão representados os componentes que irão compor o projeto para acionamento eletrônico para movimentação da estrutura. Estão representados nela, o Arduino que possui o controlador ATmega328, duas pontes H que possuem o circuito integrado L298 e os motores de passo que irão realizar as movimentações dos carros.

Resultados

5.1 Suporte Robótico para Ultrassom

O desenvolvimento do suporte robótico foi realizado passo a passo. Foi iniciado o desenvolvimento da modelagem das peças que compõem a base do sensor, etapa que realizará a movimentação angular do sensor. Em seguida foram desenvolvidas as peças do sistema de transmissão de movimento em Y e Z. No anexo A, estão representados os desenhos técnicos de cada peça. Segue na Figura 5.1, a montagem mecânica das peças.

Na Figura 5.1, são modeladas as três partes principais da montagem:

- Base da movimentação angular do sensor ultrassom.
- Base de Transmissão de movimento em Y.
- Base de Transmissão de movimento em Z.

A base do sensor para movimento angular contém os componentes de atuação e fixação do transdutor transperineal do ultrassom, que essa estrutura realizará a movimentação da estrutura que fixará o sensor. Está sendo dimensionada para que seja possível a movimentação angular de -45° à 45° . O acoplamento deste arranjo possui uma peça em formato de "L". Já nas base de transmissão de movimentos ao longo dos eixos Y e Z, são carros composto fundamentalmente por um fuso trapezoidal com o auxílio de um motor de passo em cada um deles que realizará a movimentação do mesmo.

5.1.1 Simulações no Ansys

Para realizar a análise da estrutura foi utilizado o programa Ansys, onde foram lançadas as condições iguais às apresentadas nos documentos de referência e nas estruturas analisadas foram lançadas as cargas conforme informado.

O Ansys funciona da seguinte maneira, a geometria submetida aos carregamentos e restrições é subdividida em pequenas partes, denominadas elementos, os quais passam a representar

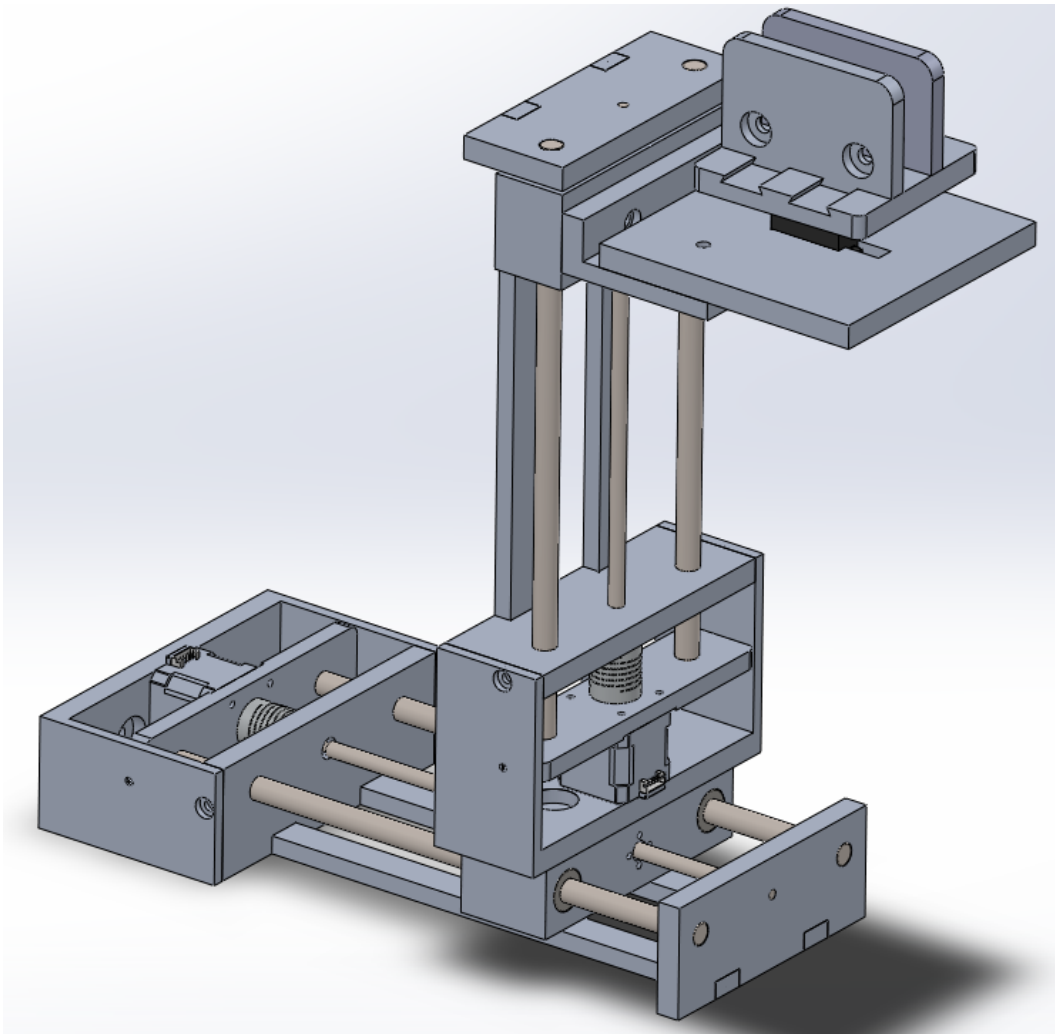


Figura 5.1: Modelagem da ferramenta

o domínio contínuo do problema. A divisão da geometria em pequenos elementos permite resolver um problema complexo, subdividindo-o em problemas mais simples, o que possibilita ao computador realizar com eficiência estas tarefas.

O método propõe que o número infinito de variáveis desconhecidas, sejam substituídas por um número limitado de elementos de comportamento bem definido. Essas divisões podem apresentar diferentes formas, tais como a triangular, quadrilateral, entre outras, em função do tipo e da dimensão do problema. Como são elementos de dimensões finitas, são chamados *elementos finitos*, termo que nomeia o método.

Os elementos finitos são conectados entre si por pontos, os quais são denominados nós ou pontos nodais. Ao conjunto de todos esses itens, elementos e nós, dá-se o nome de malha. Em função dessas subdivisões da geometria, as equações matemáticas que regem o comportamento físico não serão resolvidas de maneira exata, mas de forma aproximada por este método numérico. A precisão do método dos Elementos Finitos depende da quantidade de nós e elementos, do tamanho e dos formatos dos elementos da malha e a forma que são distribuídos na estrutura, ou seja, quanto menor for o tamanho e maior for o número deles em uma determinada malha,

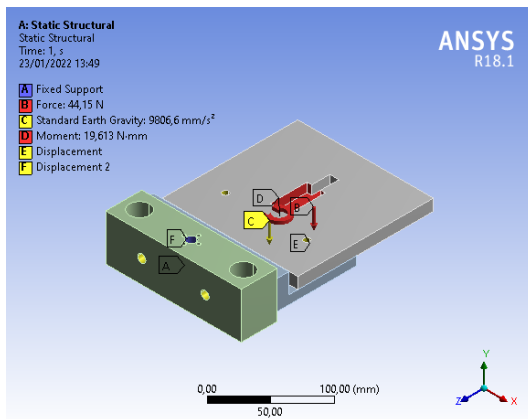
maior a precisão nos resultados da análise. Contudo, é importante ressaltar que calcular a malha com muitos elementos exige maior capacidade computacional, visto que o cálculo de influência entre elementos se torna mais complexo e o número de cálculos necessários para cada elemento aumenta.

Situações Aplicadas

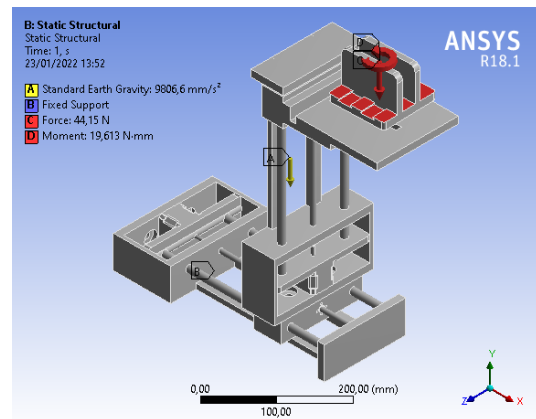
Com o intuito de realizar testes de situações aplicadas a estrutura, foi utilizado o peso da sonda convexa 4C-RS, que juntamente com o fio possui um peso de 4Kg. A parte superior de fixação da probe possui cerca de 500g. Foi aplicada uma força de 44,15N, utilizando o valor aproximado do valor de aceleração de $9,81m/s^2$. Para motivos de testes, foi utilizado também o valor de momento máximo que o servo motor irá impor sobre a estrutura em sua rotação. Os valores estão expressos na Tabela 5.1.

Tabela 5.1: Valores de força e momento na estrutura para realização de simulações

Gravidade	Força	Momento
$9,81m/s^2$	44,15N	$19,613N \cdot mm$



(a) Distribuição de forças aplicadas nas peças de suporte do ultrassom



(b) Distribuição de forças aplicadas na estrutura total

Figura 5.2: Distribuição de forças e momento na estrutura analisada

Estresse Equivalente

Um dos pontos iniciais para a análise mecânica da estrutura proposta é identificar o ponto mais crítico ao processo. Com essa identificação foi possível verificar o comportamento estrutural e validar o funcionamento correto ao longo de todas as outras possíveis operações do equipamento.

Para haver essa identificação foi realizada a simulação em elementos finitos de toda a estrutura. Como configuração para esta simulação foi posicionada a peça em balanço o mais distante possível da fixação, visto que assim podem ser alcançados maiores valores de momento e torção

para o contato da estrutura que se encontra em balanço. Além disso, é imposto a simulação todas as cargas já descritas em seu valor nominal.

Contudo, é relevante ressaltar que com a alta variação de dimensões entre arestas e faces, além da abundância de furos com baixo diâmetro para parafusação de partes da montagem, exigiu que fosse realizado uma simplificação geométrica e, além disso, utilizar uma malha de elementos não fina, de modo a garantir capacidade computacional suficiente.

Considerando as observações descritas, foram encontrados os seguintes resultados:

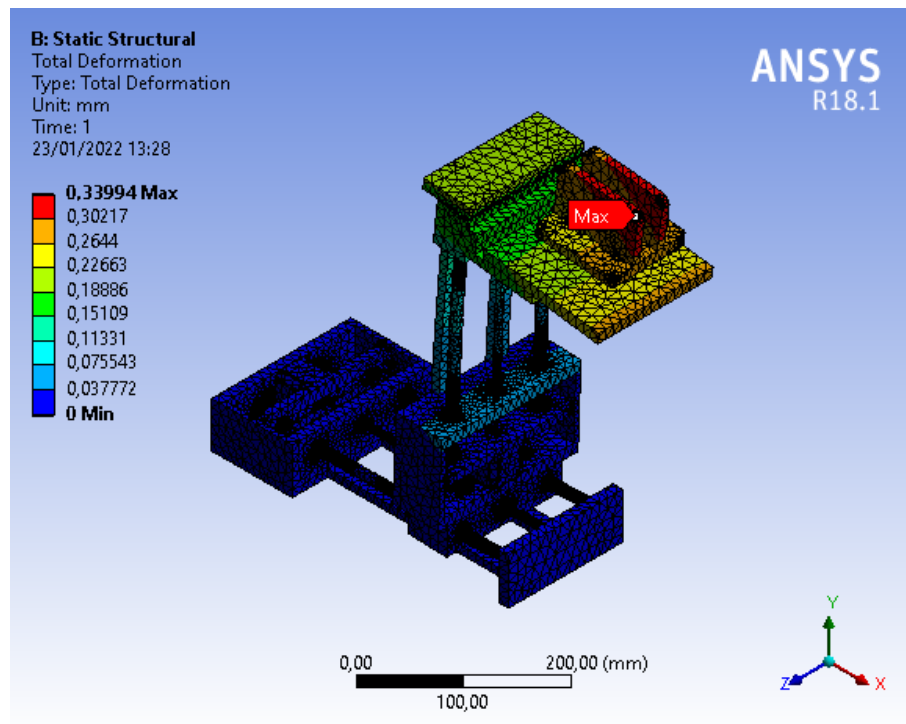


Figura 5.3: Estrutura em deformação total

A Figura 5.3 mostra a deformação total da peça sem especificação de direção. O ponto máximo de deformação apresentado na peça tem valor de deformação de 0,33994 mm.

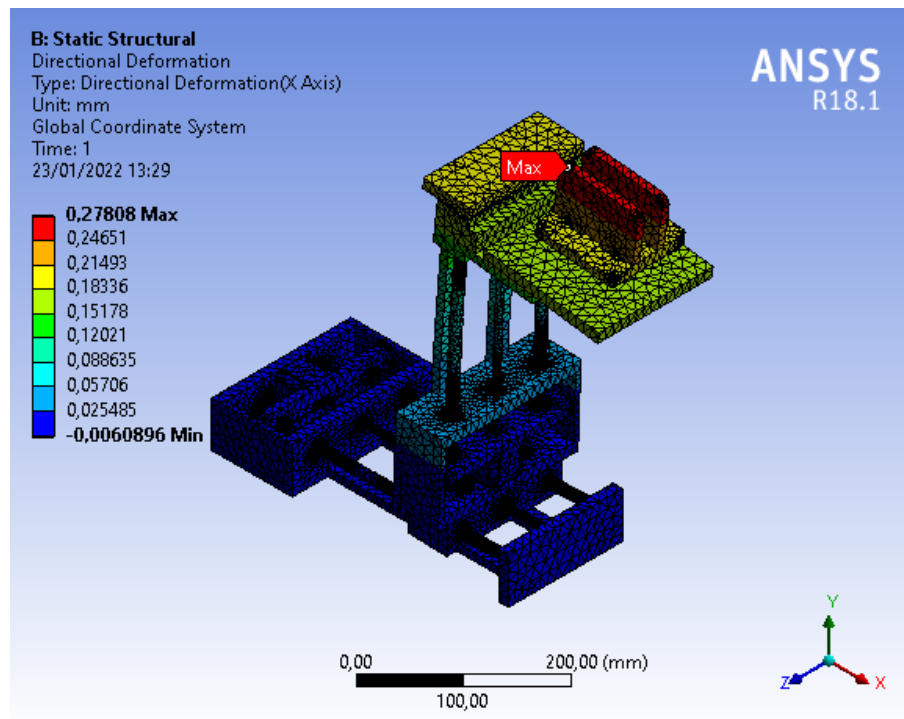


Figura 5.4: Estrutura em deformação total com referência ao eixo X

A Figura 5.4 mostra a deformação da peça em direção ao eixo X (em vermelho). O ponto máximo de deformação apresentado na peça tem valor de deformação de 0,27808mm.

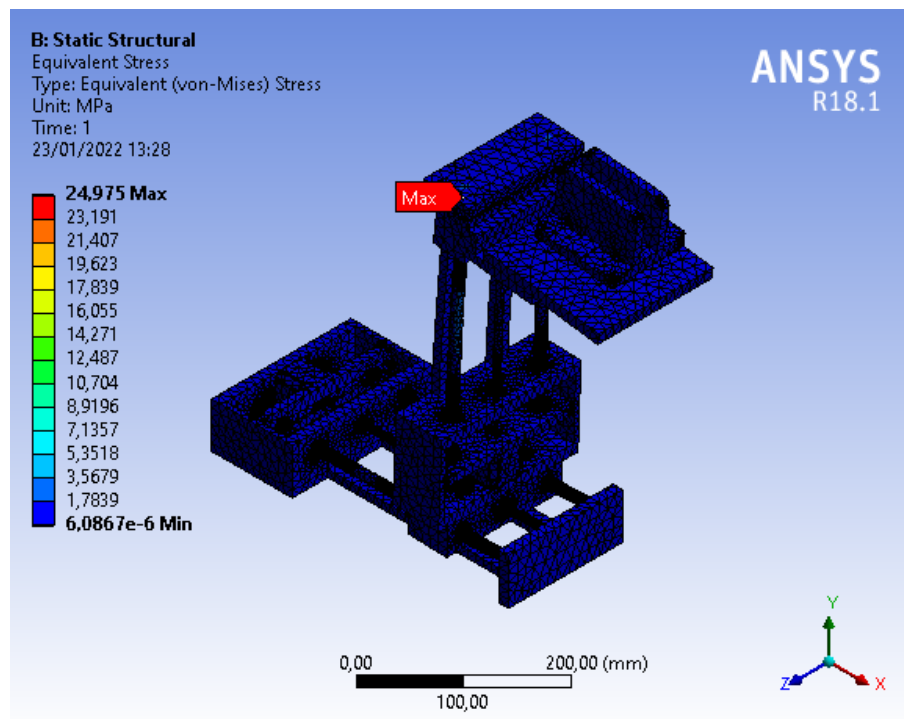


Figura 5.5: Estrutura em estresse total

A Figura 5.5 mostra as tensões máximas ao longo de toda a peça. O valor máximo de

tensão alcançado com essa análise foi de 24,975 MPa. Contudo, este valor é pontual e causado pelo baixo refinamento de malha em uma dimensão pequena devido à aproximação da estrutura móvel.

Em função dos resultados obtidos no cálculo, tem-se que o equipamento fabricado em alumínio 5052 suporta a tensão obtida em cálculo, visto que a tensão admissível ao projeto é de 32,5 MPa. Além disto, com os resultados de deslocamento, é possível afirmar que independente do posicionamento da peça de suporte do servo, o deslocamento da mesma ocorre de forma não forçada.

Por fim, para haver maior precisão nos resultados alcançados, foi modelada a estrutura em balanço projetada. O motivo de se modelar somente esse conjunto em maiores detalhes é devido ao eixo de contato, o que recebe maior carga por conta de conter o deslocamento da estrutura em balanço e ser adquirido de forma comercial e, pelos dados de fabricante, suportar com larga tranquilidade os valores de tensão calculados.

Dessa forma os seguintes resultados foram alcançados:

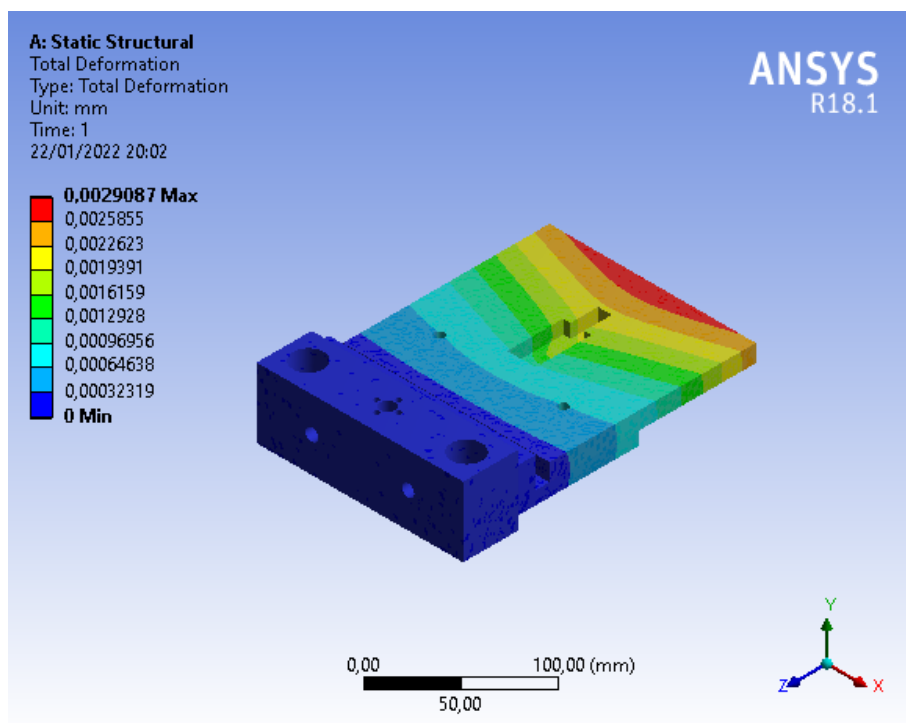


Figura 5.6: Suporte em deformação total

A Figura 5.6 mostra a deformação total da peça sem especificação de direção. O ponto máximo de deformação apresentado na peça tem valor de deformação de 0,0029087 mm.

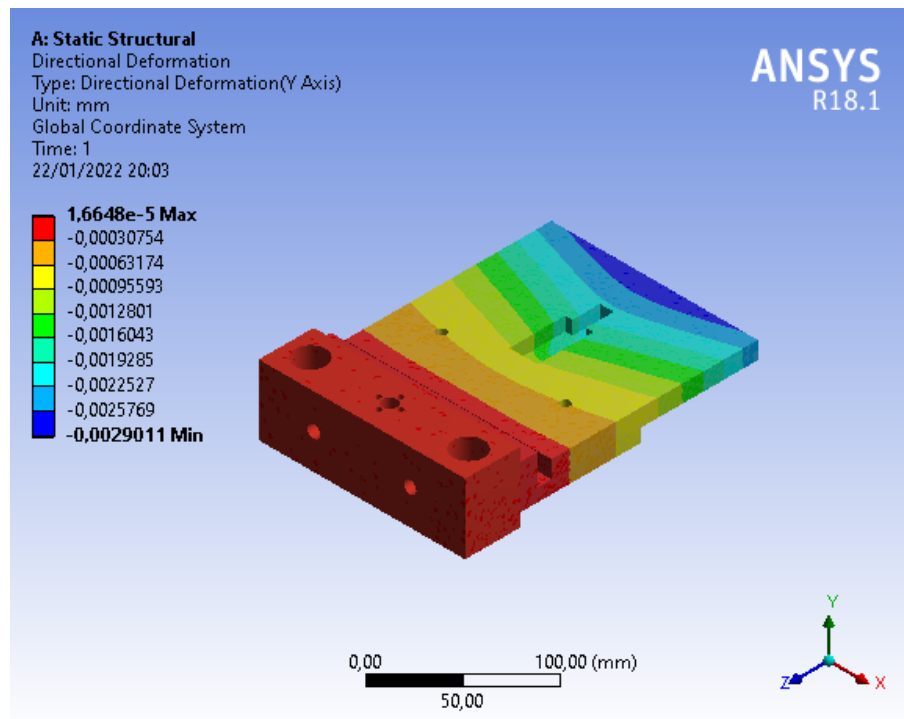


Figura 5.7: Estrutura em deformação total com referência ao eixo Y

A Figura 5.7 mostra a deformação da peça em direção ao eixo Y (em verde). O ponto máximo de deformação apresentado na peça tem valor de deformação de 0,0029011 mm.

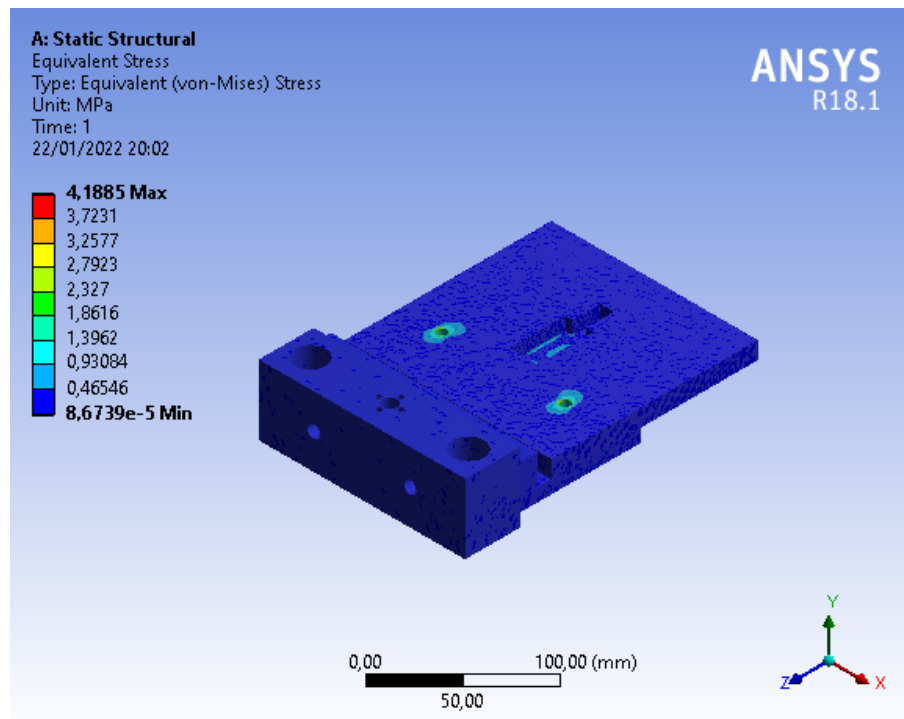


Figura 5.8: Suporte em estresse total

A Figura 5.8 mostra as tensões máximas ao longo de toda a peça. O valor máximo de tensão alcançado com essa análise foi de 4,1885 MPa.

Em função dos resultados obtidos no cálculo, tem-se que a estrutura modelada com maior precisismo, fabricada em alumínio 5052, suporta a tensão obtida em cálculo, considerando a tensão admissível do projeto já apresentada. Além disto, com os resultados de deslocamento, é possível afirmar que o deslocamento do suporte do servo motor não influenciará na tarefa do equipamento, e muito menos ser perceptível ao usuário.

Todavia vale ressaltar que as cargas de trabalho devem ser respeitadas para que os resultados apresentados aqui possam ser coerentes.

5.2 Carro para Movimentação

Foi projetado um carro para realização da movimentação dentro da sala de operações, além de possuir a possibilidade realizar uma movimentação em torno do próprio suporte robótico.

Esta base foi projetada para que fosse de baixo custo, sendo inteiramente confeccionada em aço carbono, que quando comparado ao custo do alumínio é cerca de 30% do valor, para isso foi realizado o orçamento desta base em oficinas da cidade de Divinópolis para que fosse possível analisar com maior precisão os seus preços.

A base possui internamente uma estrutura em metalon 50x30mm em chapa de 1,2mm, ou também chamada de chapa 18. O metalon é uma geometria utilizada na indústria por sua alta qualidade e ampla resistência mecânica. Outra grande vantagem desta geometria, é seu baixo peso, por ser uma espécie de geometria vazada.

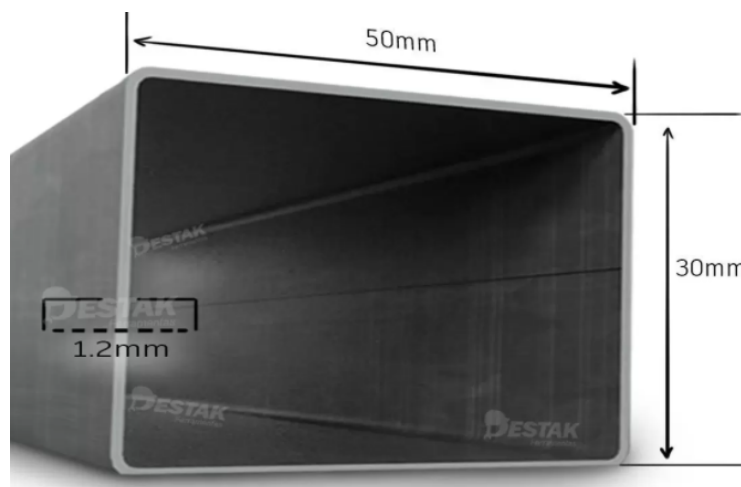


Figura 5.9: Modelo do metalon utilizado no projeto

Além da estrutura base em metalon, foi utilizado para realizar o acabamento da base a chapa de aço carbono de 1,2mm, que onde o suporte robótico realizará parte de sua fixação.

Para que fosse possível a movimentação do carro, foram acoplado rodízios GL312BP fabricados em chapa estampada e cabeçote com dupla pista de esferas, acabamento zincado e eixo da roda parafusado. Proporcionam rodagem macia e silenciosa, excelente resistência química, boa resistência ao desgaste e aos impactos, resultado em ótima relação custo benefício.

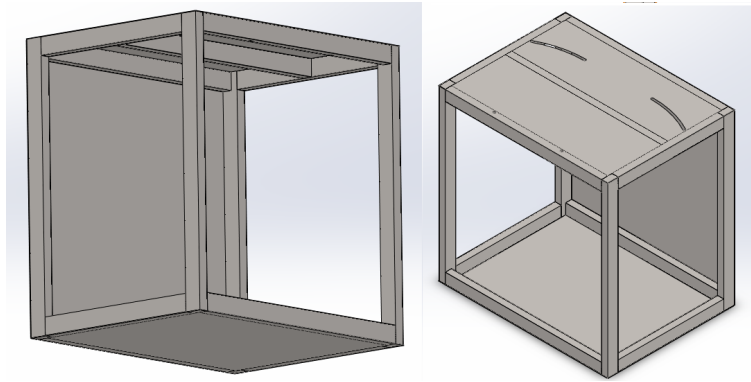


Figura 5.10: Estrutura

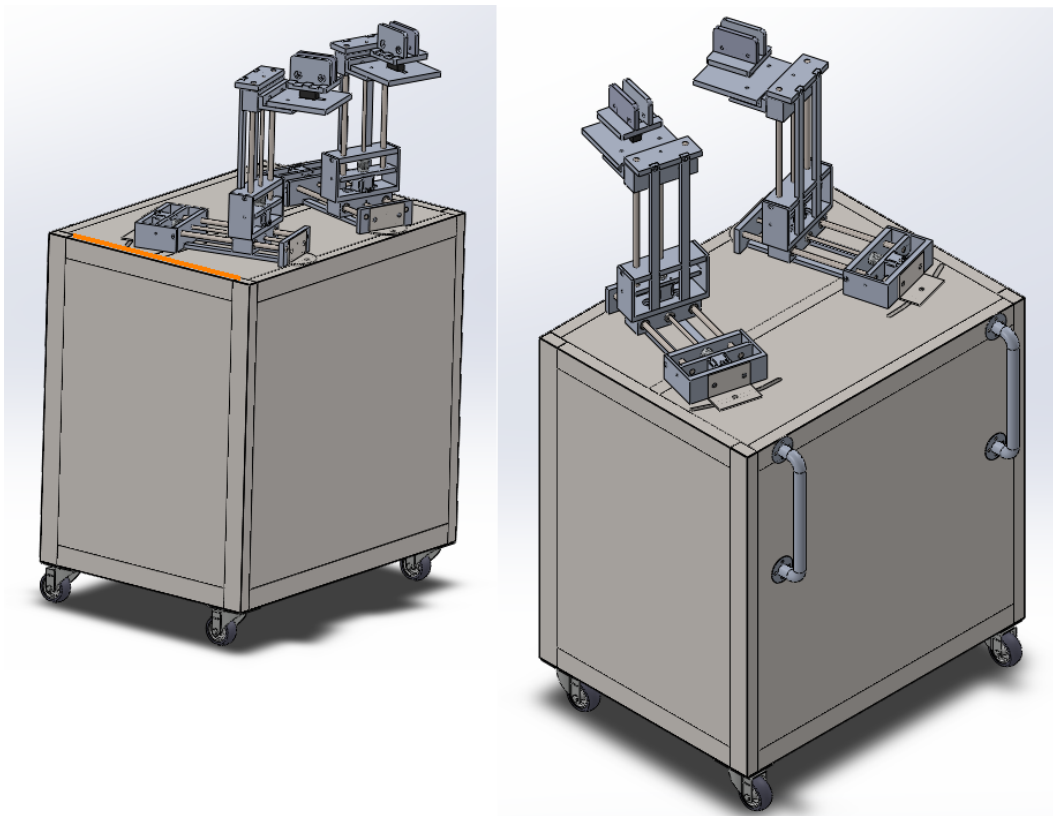


Figura 5.11: Carro completo

Para auxiliar na movimentação, o carro possui um par de corrimãos em tubo de 1", para que seja ergonômico para o médico que realizará o posicionamento do carro, e assim realize o ajuste fino final com a movimentação dos motores. Como pode-se ver na Imagem 5.11, é possível realizar uma rotação em torno do ponto de fixação frontal.

5.3 Aplicação no Software Webots

Foi adicionado no software Webots a estrutura projetada, para realização da modelagem e motorização. O Objetivo final é estar representado neste software toda a sala de operação,

o manipulador robótico, que realizará a inserção das sementes, a estrutura projetada neste trabalho de conclusão de curso, entre outros dispositivos.

Na Figura 5.12 está representada a estrutura desenvolvida inserida no software Webots versão 2019a, que possui o código aberto. Nele pode-se agregar a modelagem física do dispositivo, incluindo os efeitos gravitacionais, forças aplicadas e incidentes e demais interações com os outros elementos do ambiente de simulação.

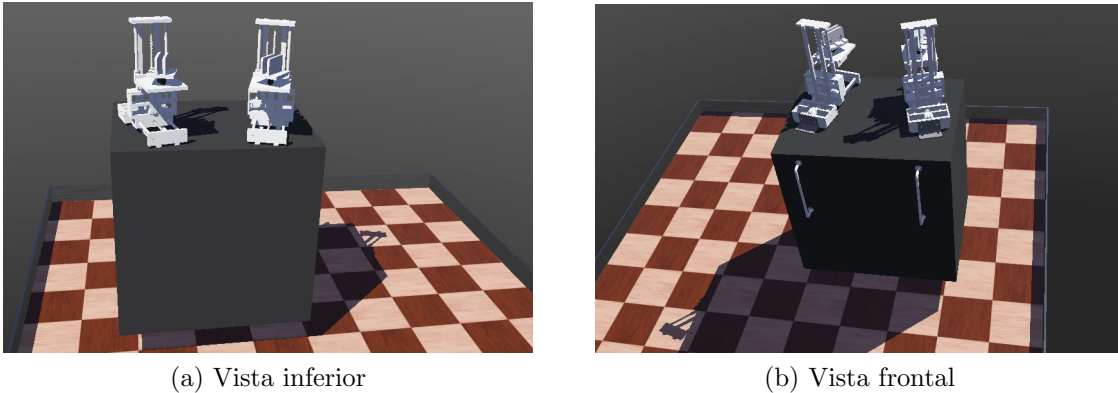


Figura 5.12: Aplicação da estrutura no software Webots

Para que fosse possível uma melhor representação no software de simulação, foi criada uma lógica para movimentação básica para o suporte, a simulação foi desenvolvida com a ajuda dos membros do PET, Getúlio Andrade, Erick Martins e Miguel Rodrigues. Para que fosse mais simples a realização da movimentação, foi simplificada a estrutura para apenas um suporte. Para trabalhos futuros, como será citado na seção 6.2, poderá ser implementado o código para os dois suportes.

Para que fosse possível a demonstração da simulação, foi criado um vídeo das movimentações, que pode ser acessado pelo link:

<https://youtu.be/V7Dbir65s-k>

Considerações Finais

Neste capítulo serão apresentadas as conclusões observadas durante o trabalho, afim de relacionar o projeto e os objetivos propostos. Em seguida, serão apresentadas as propostas de continuidade para este trabalho de conclusão de curso.

6.1 Conclusões

O presente trabalho teve por objetivo a realização do projeto da estrutura mecânica de um suporte de sensores de ultrassom, afim sua utilização em pacientes em uma maca hospitalar.

Num primeiro momento, foi necessário o levantamento de referências e fundamentações necessárias para o bom entendimento deste processo como um todo, afim de se pontuar aspectos das etapas que serão realizadas juntamente ao funcionamento da estrutura projetada, como a possibilidade de interferência no agulhamento realizado pelo manipulador robótico.

O primeiro resultado que se obteve durante o processo, foi a elaboração do projeto do carro de movimentação geral. Para que fosse exequível tal realização, foi necessário um extenso estudo a cerca de possíveis dispositivos e materiais, além da experiência já existente, adquiridas ao longo do curso e experiências fora da academia. Esta parte da estrutura projetada seria toda a base para o suporte automatizado. O carro de movimentação inferior recebeu a segunda estrutura móvel. A segunda estrutura recebeu em sua parte móvel a parte que realizará a fixação do sensor ultrassom.

Os circuitos eletrônicos projetados mostraram-se adequado para a utilização à qual se destina. Com isso, o projeto demonstrou a possibilidade de utilização dos componentes previsto anteriormente, sendo possíveis as movimentações previstas. Afim de demonstração que será possível a movimentação, foi desenvolvido um algoritmo para operação dos motores existentes no projeto.

Foi realizada a modelagem e simulação do dispositivo projetado em um simulador de parâmetros mecânicos, para avaliação de suas características estruturais e dinâmicas, foi utilizado o ambiente do sistema do ANSYS.

Enfim, ao final deste projeto parcial obteve-se uma ferramenta versátil, com a capacidade de realizar as movimentações previstas. Assim, pode-se verificar que de fato houve uma contribuição a um trabalho de maior magnitude que vem sendo desenvolvido, abrindo a possibilidade

de continuidade das pesquisas futuras visando a automação da braquiterapia de próstata.

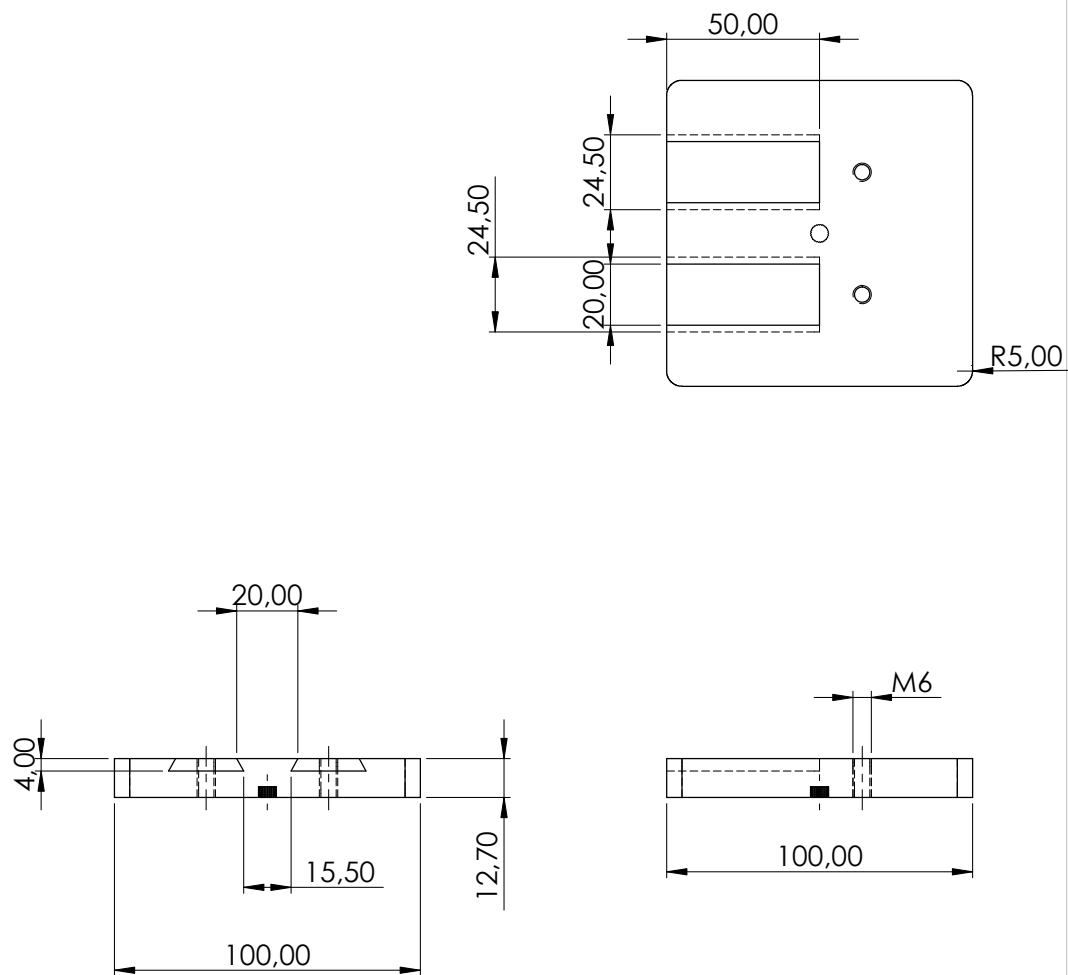
6.2 Propostas de Continuidade

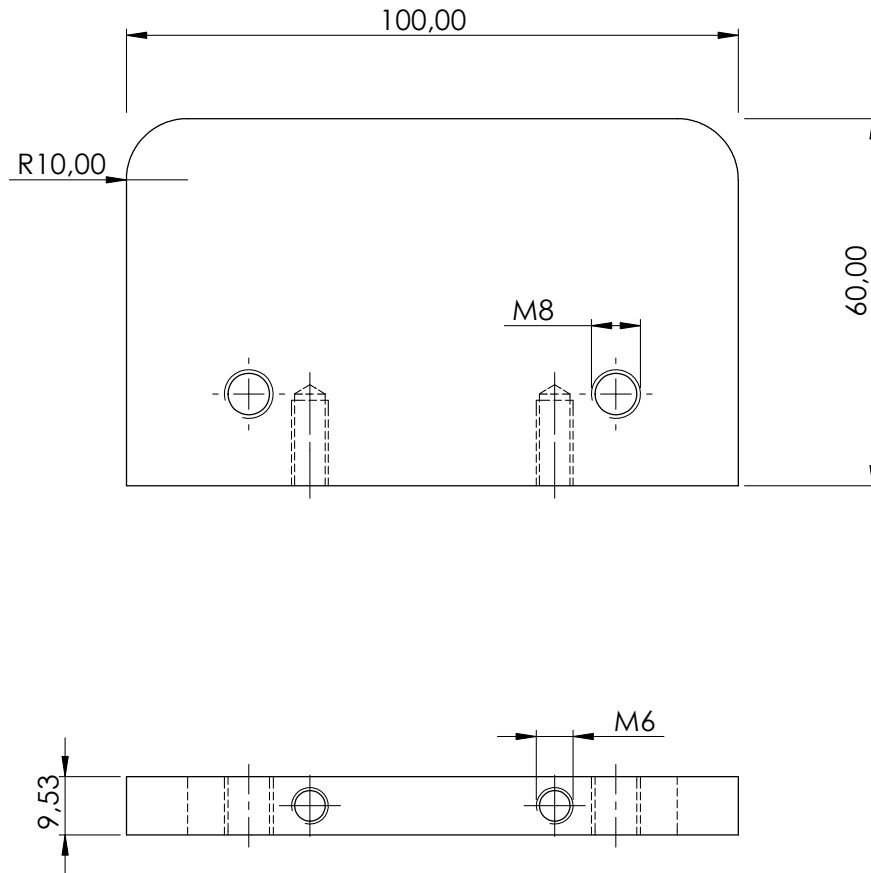
Durante o desenvolvimento deste trabalho de conclusão de curso, foram notados alguns pontos que merecem algumas atenções especiais, que podem ser sugeridos neste tópico como propostas de continuidade:

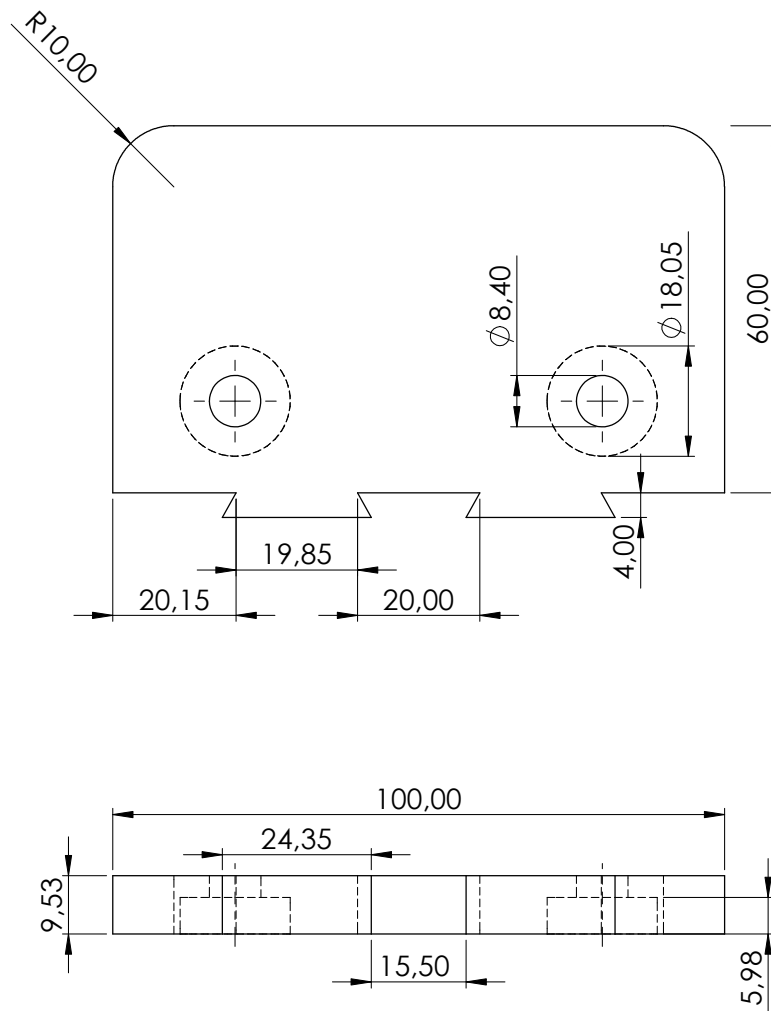
- Otimização na fabricação das peças da estrutura, para facilitar a fabricação e diminuição do peso total da estrutura, diminuindo conseqüentemente o preço final.
- Desenvolvimento da motorização e movimentações possíveis dentro da sala de operações no software Webots, podendo assim ser adicionado outros componentes da sala de terapias pretendidas.
- Elaboração da disposição final da sala de terapia com os componentes que realizarão o procedimento total de tratamento.
- Demonstração do funcionamento final do procedimento controlado.
- Montagem de um protótipo real após realizados os testes conjuntos de simulação e a conseqüente otimização do suporte de movimentação de sensores de ultrassom desenvolvido nesse trabalho

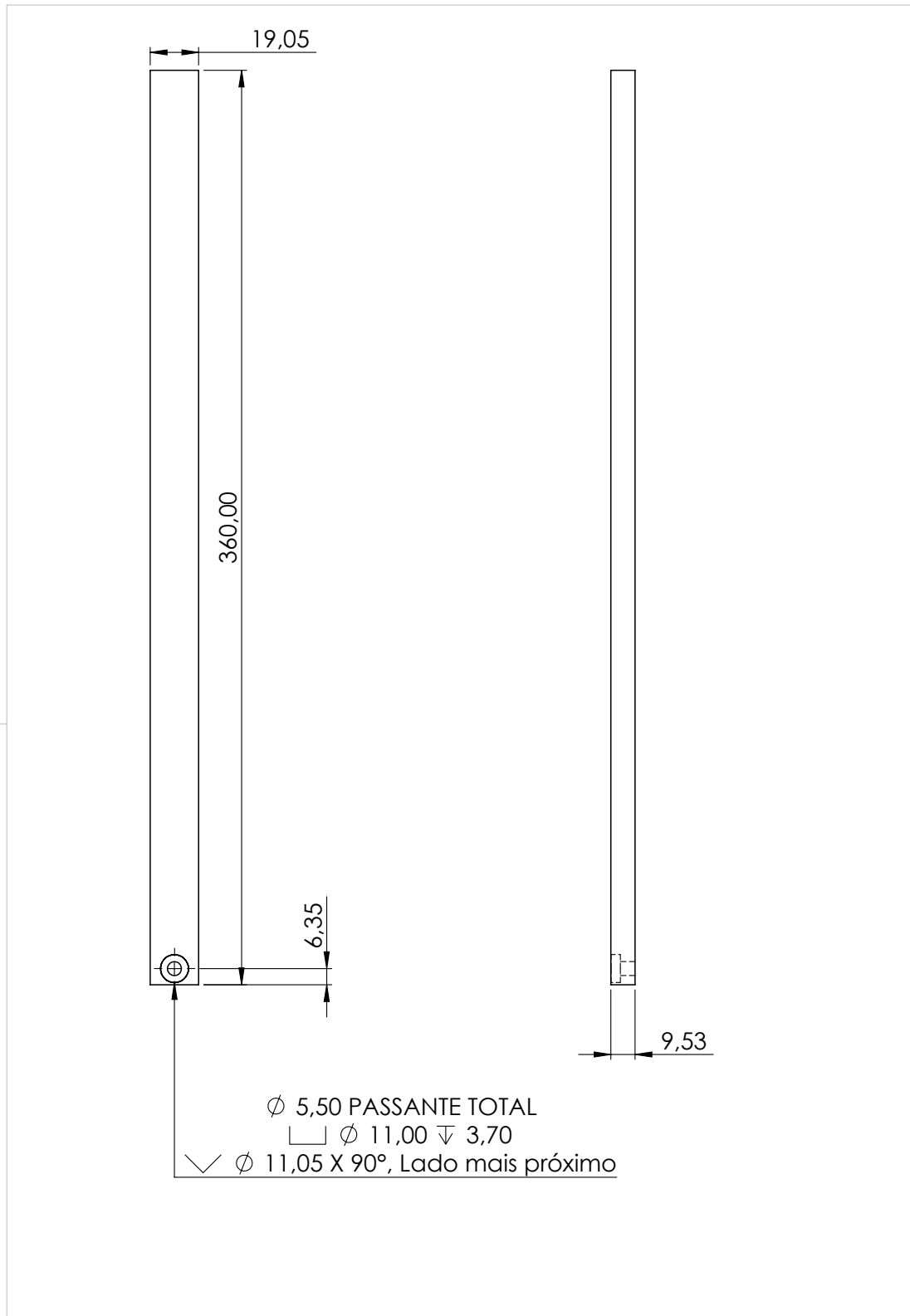
Apêndice **A**

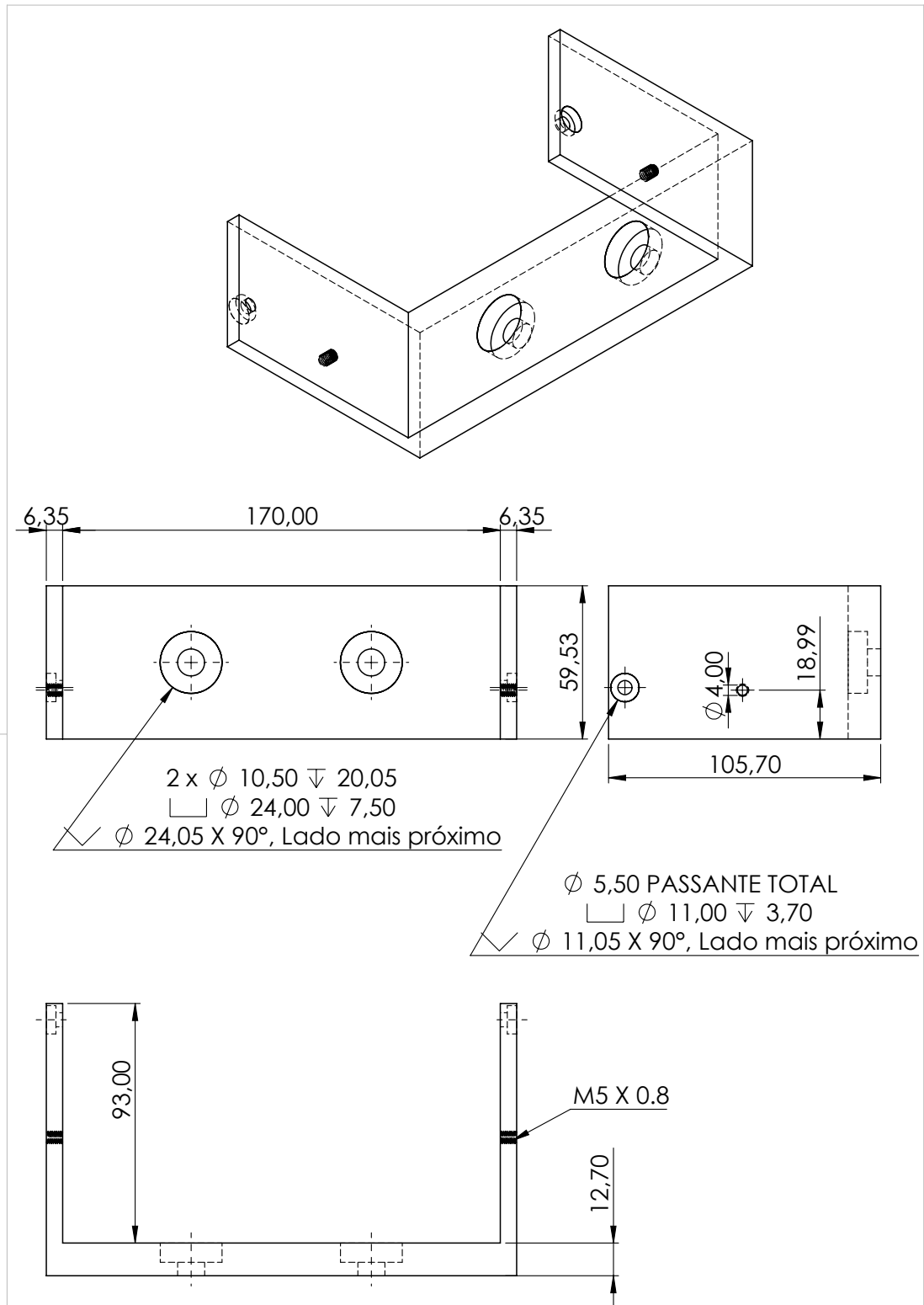
Desenhos mecânicos

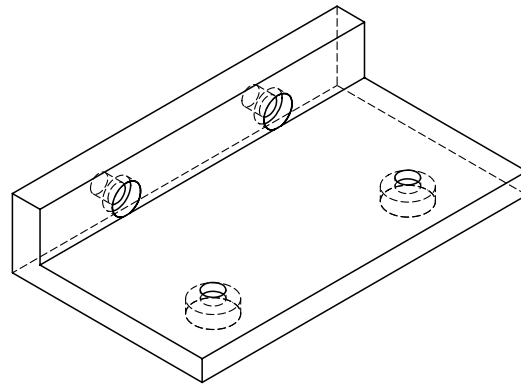








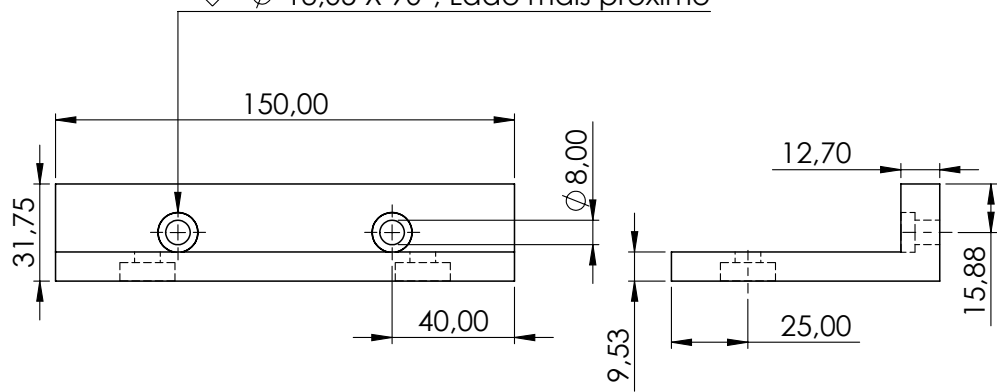




2 x ϕ 6,60 PASSANTE TOTAL

\square ϕ 13,00 ∇ 4,60

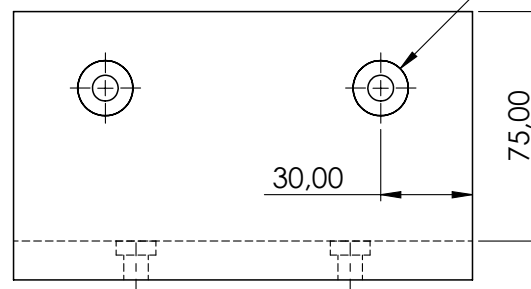
\surd ϕ 13,05 X 90°, Lado mais próximo

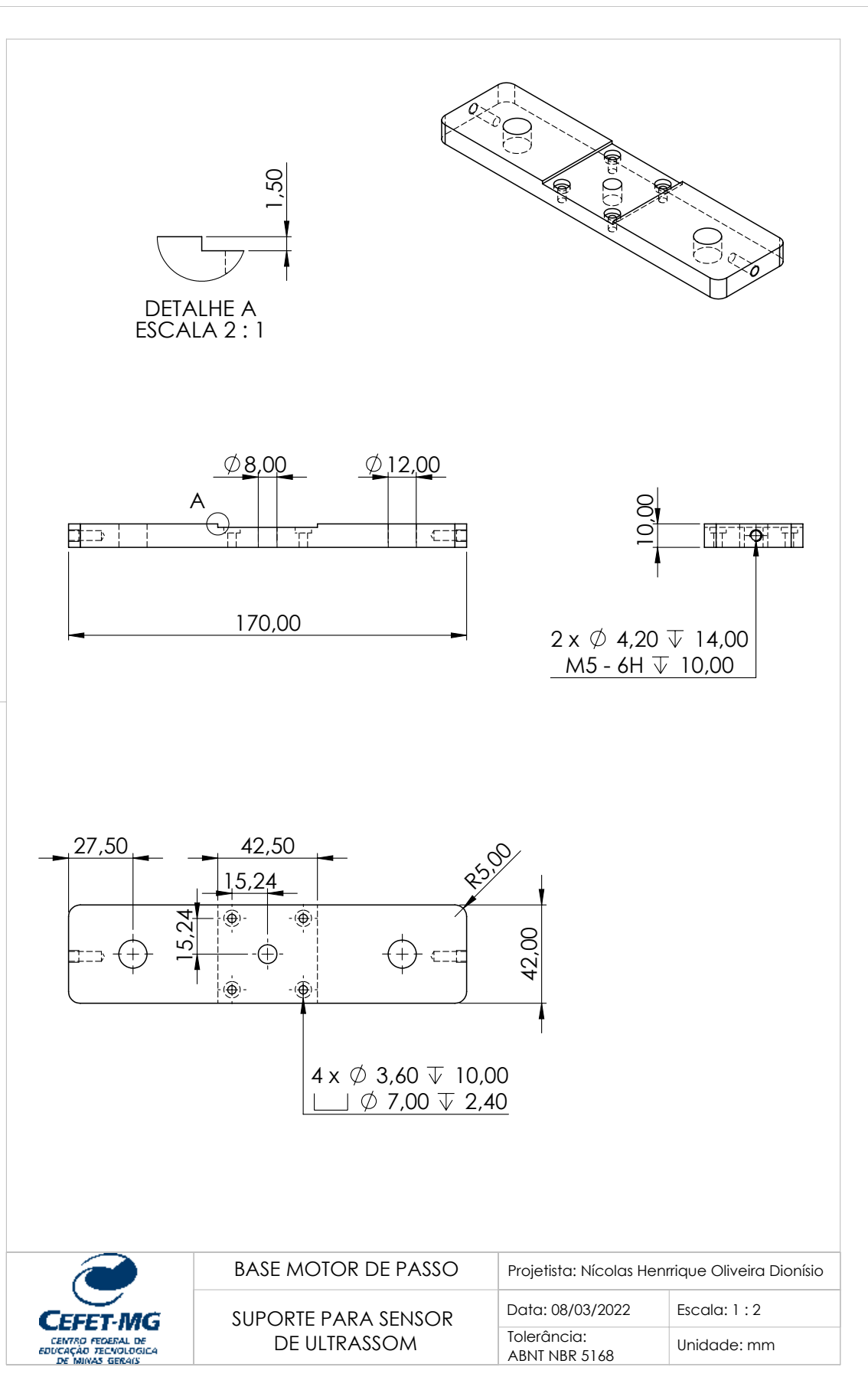


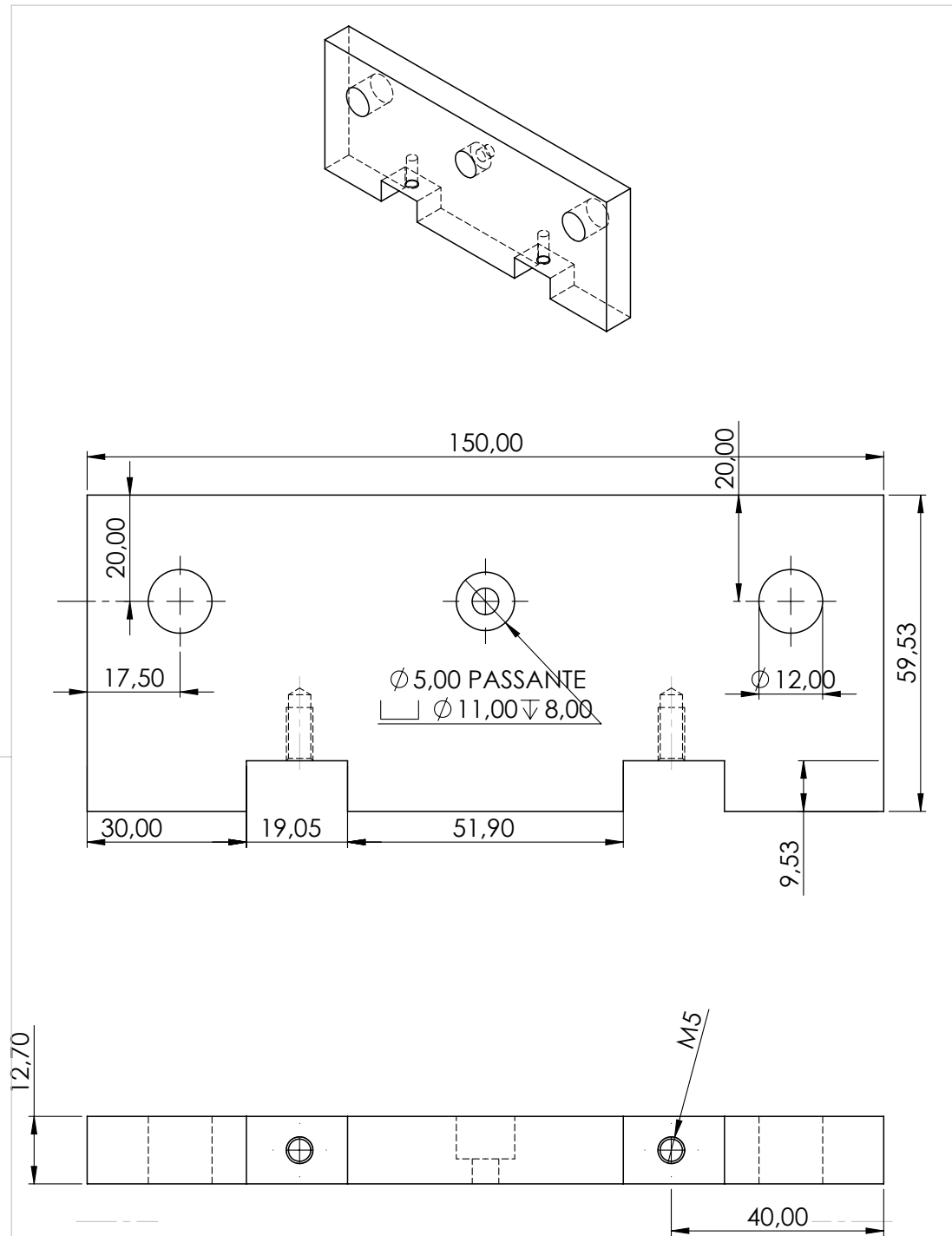
2 x ϕ 8,40 ∇ 9,53

\square ϕ 18,00 ∇ 6,00

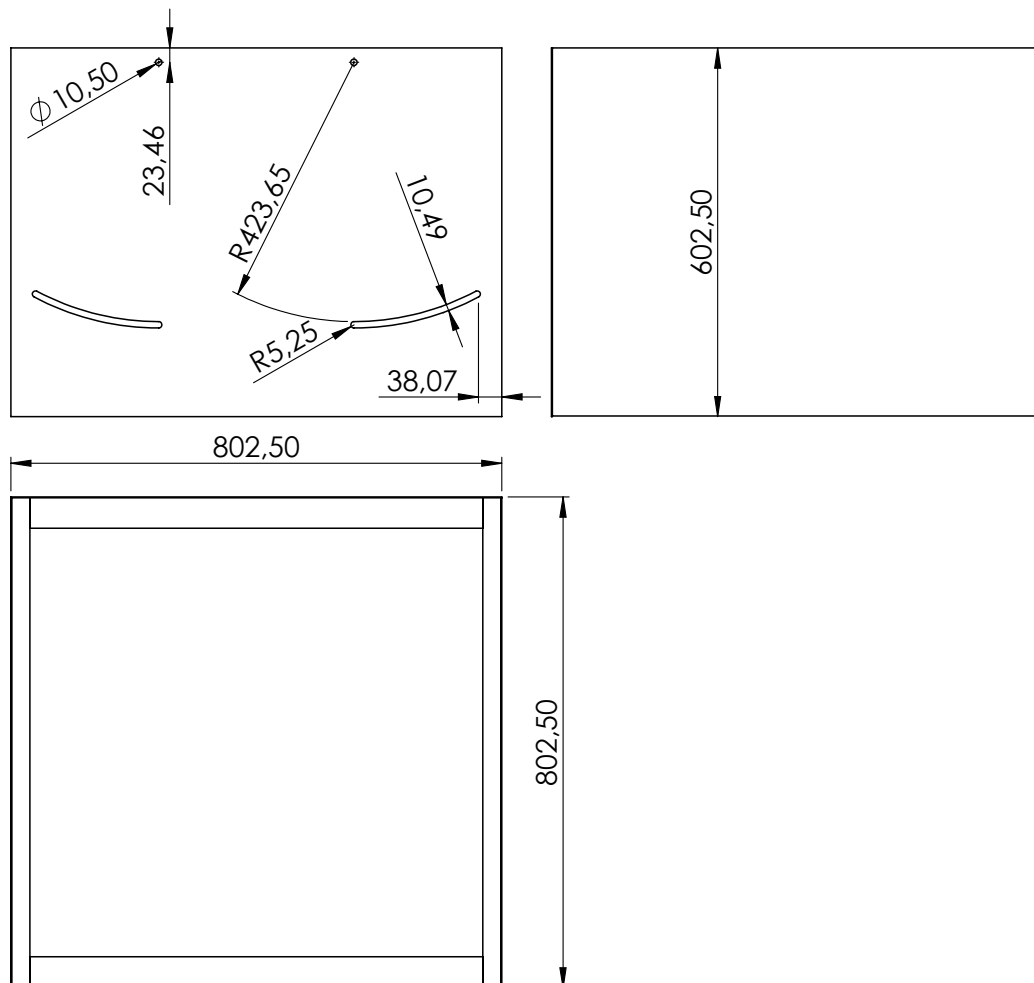
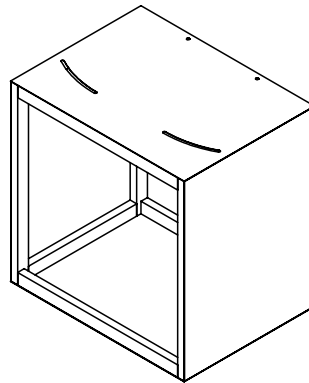
\surd ϕ 18,05 X 90°, Lado mais próximo







	BASE EIXOS LINEARES	Projetista: Nícolas Henrique Oliveira Dionísio	
	SUPORE PARA SENSOR DE ULTRASSOM	Data: 08/03/2022	Escala: 1 : 2
		Tolerância: ABNT NBR 5168	Unidade: mm



CARRINHO

Projetista: Nícolas Henrique Oliveira Dionísio

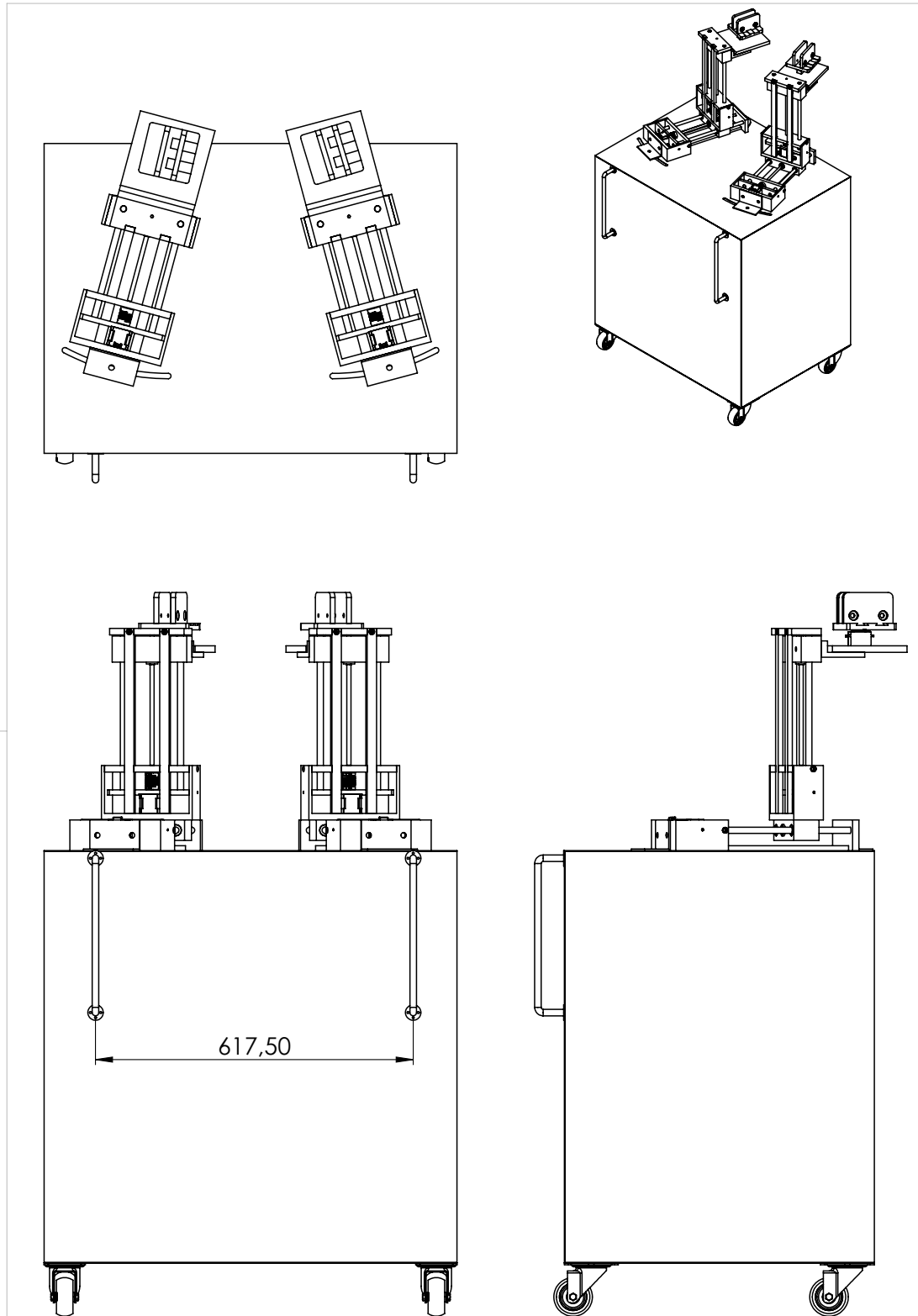
SUPORTE PARA SENSOR
DE ULTRASSOM

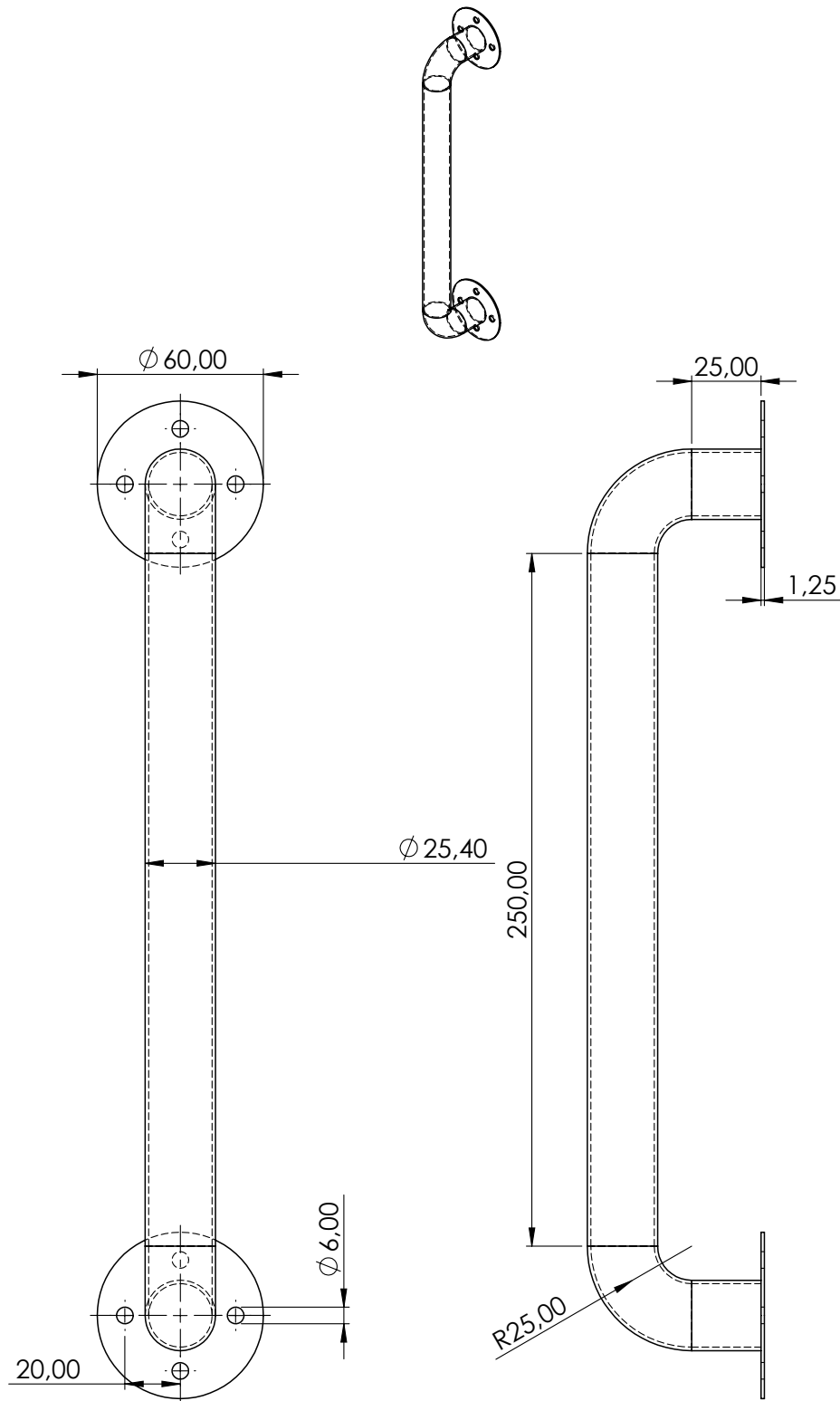
Data: 08/02/2022

Escala: 1 : 10

Tolerância:
ABNT NBR 5168

Unidade: mm





CORRIMÃO

Projetista: Nícolas Henrique Oliveira Dionísio

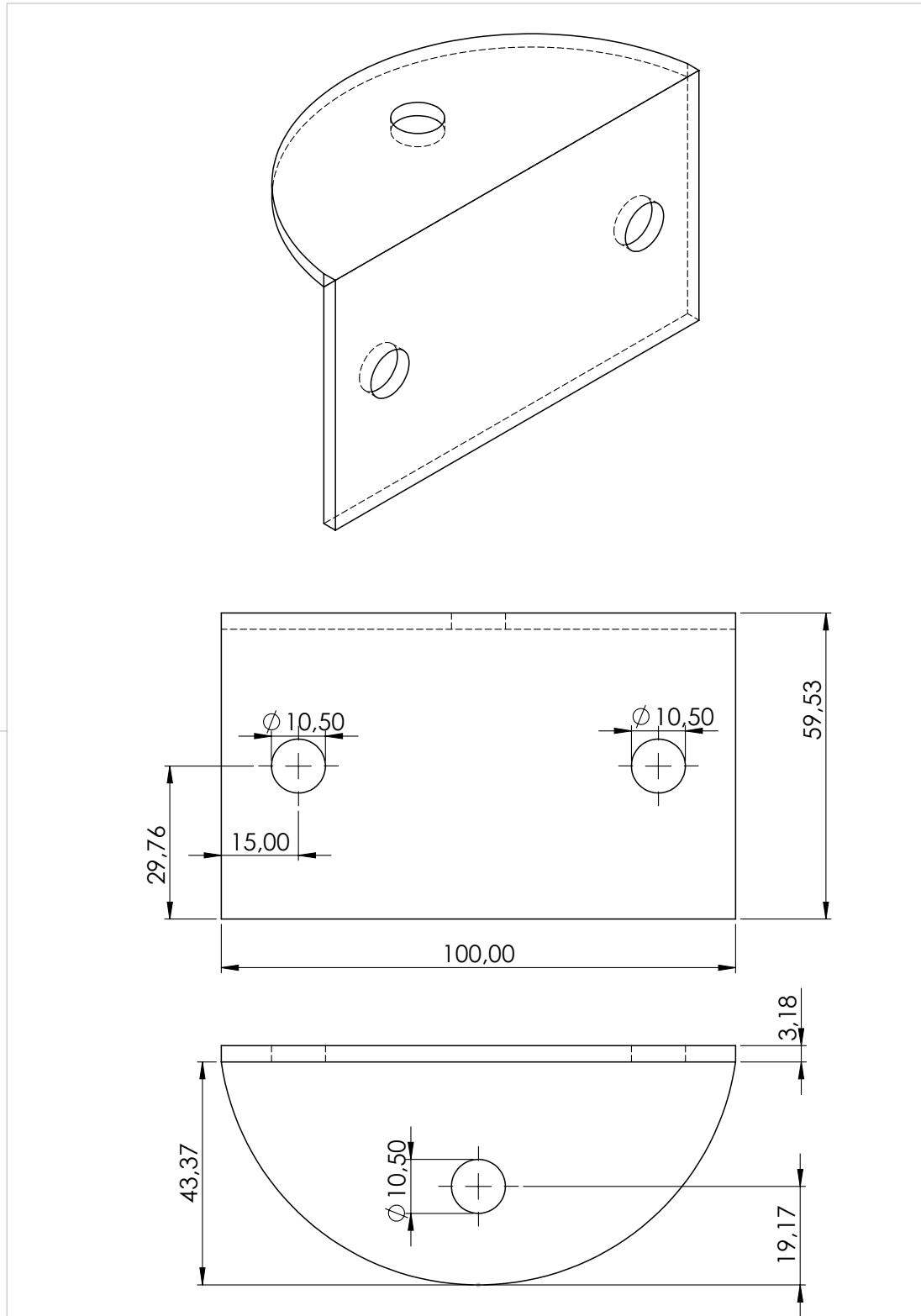
SUPORE PARA SENSOR DE ULTRASSOM

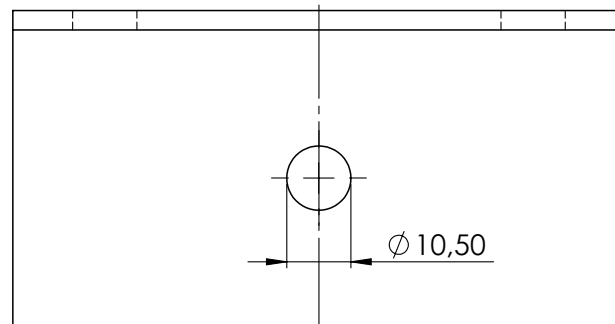
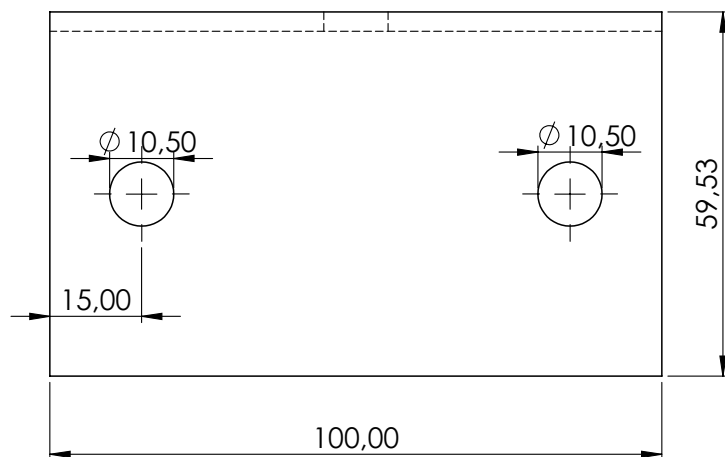
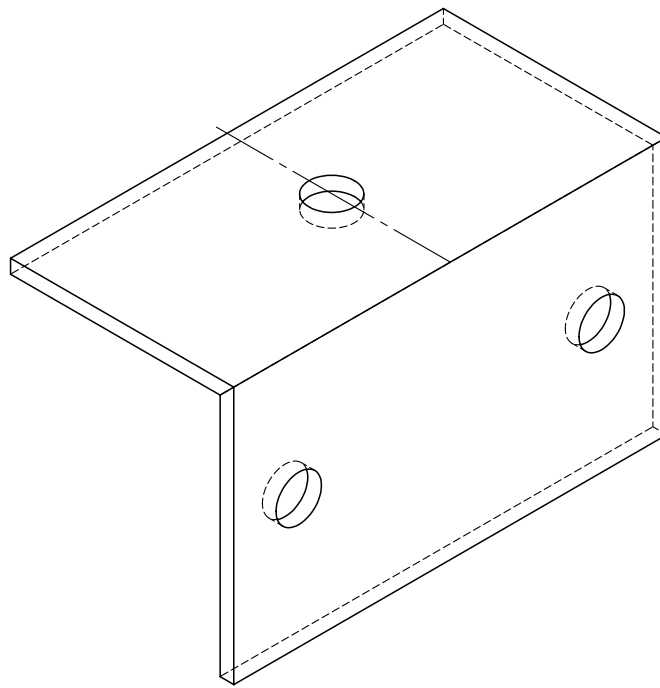
Data: 08/02/2022

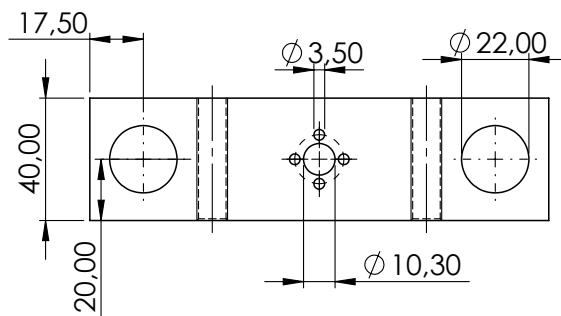
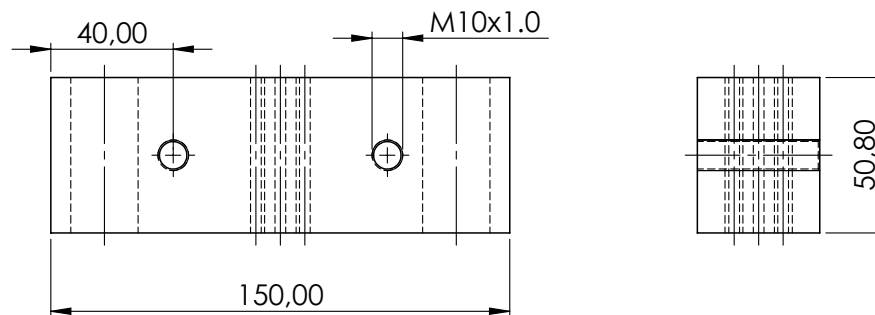
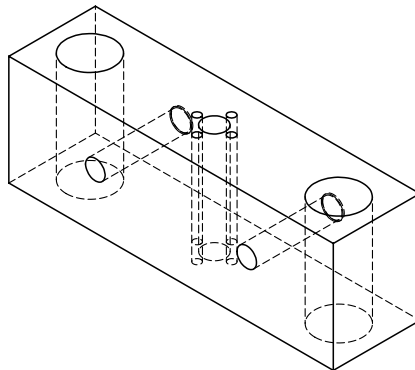
Escala: 1 : 2

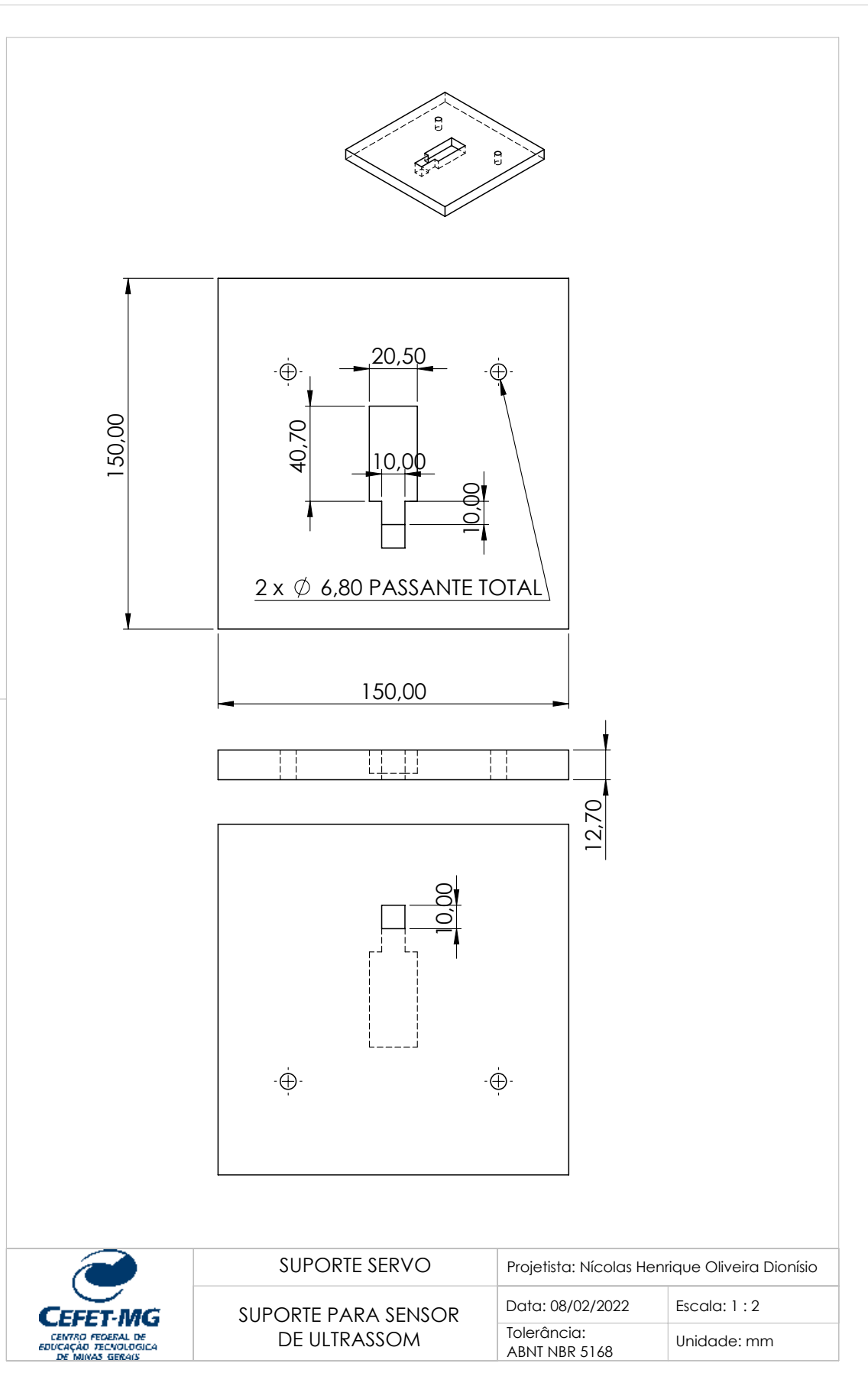
Tolerância: ABNT NBR 5168

Unidade: mm









Apêndice B

Orçamento

Material	Quantidade	Valor Unidade (R\$)	Valor Total (R\$)
Arduino Nano com suporte borne	2	R\$60,00	R\$120,00
Motor de passo nema 17	1	R\$65,00	R\$65,00
Motor de passo nema 23	1	R\$150,00	R\$150,00
Servo Motor	1	R\$60,00	R\$60,00
Ponte H L298N	2	R\$20,00	R\$40,00
Rolamento Linear 6 mm	4	R\$14,00	R\$64,00
Conjunto Trapezoidal TR8	2	R\$90,00	R\$180,00
Eixo Linear	4	R\$9,00	R\$36,00
Barra de Metalon 50x30 #18	2	R\$112,00	R\$224,00
Chapa #18 de 3,5m x 1,2m	1	R\$455,00	R\$455,00
Rodízios 312 BP	4	R\$50,00	R\$200,00
Corrimão	2	R\$40,00	R\$80,00
Total			R\$1674,00

Tabela B.1: Relação de materiais relacionados

O material especificado na Tabela B.1 está relacionado o material que será utilizado para realização do suporte e do carro base sem o alumínio que deverá ser cotado próximo da construção da estrutura.

Cronograma

A seguir, será apresentado o cronograma de atividade a serem executadas. Inicialmente, ocorrerá o estudo dos conceitos básicos referentes ao tema abordado. Assim, será possível o desenvolvimento do projeto mecânico e eletrônico de uma forma integrada. Seguidamente, haverá uma validação computacional e a simulação do funcionamento do suporte e sensores no ambiente realístico Webots. Finalmente, serão realizados os orçamentos do protótipo.

1. Estudos teóricos:

- (a) Braquiterapia: Serão pesquisados artigos e trechos de livros sobre os princípios do método e utilização do mesmo nos dias de hoje;
- (b) Atuadores necessários para realização da tarefa desejada;
- (c) Microcontrolador: Pesquisa realizada sobre o funcionamento do mesmo, para a futura comunicação entre os atuadores;
- (d) Linguagens de programações utilizadas para comunicações e realizações das simulações;

2. Projetos:

- (a) Projeto da estrutura mecânica: Será realizado um pré-projeto, seguido de um detalhamento de forma a dimensionar os diferentes componentes da estrutura mecânica, incluindo os suportes para os sensores e os atuadores para sua movimentação (angulação) a serem realizadas. Nesse projeto mecânico será realizado o dimensionamento, a escolha do material e escolha do atuador, além de serem realizadas as simulações mecânicas.
- (b) Projeto eletrônico: Serão projetados os circuitos de acionamento, de forma que os atuadores consigam realizar as movimentações previstas de forma a obter resultados satisfatórios de monitoramento da região tumoral;

3. desenvolvimento:

- (a) Realização a modelagem em um software de CAD 3D;

- (b) Modelagem e simulação no ambiente ANSYS;
- (c) Modelagem do sistema eletrônico no Proteus Design Suite;
- (d) Utilização de um simulador robótico realístico de código aberto, o Webots;

4. Relatório:

- (a) Escrita do relatório final de TCC 1 - Será realizado ao longo do primeiro semestre de 2021, a escrita do relatório final de TCC 1 e demais ajustes;
- (b) Defesa TCC 1 - Será realizada ao final do semestre a defesa do TCC 1;
- (c) Escrita do relatório final de TCC 2 - Será realizada ao longo do segundo semestre de 2021 a escrita do relatório final de TCC 2 e demais ajustes;
- (d) Defesa TCC 2 - Será realizada ao final do semestre a defesa do TCC 2.

	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Jan	Fev
1.(a)	✓	✓	✓					
1.(b)	✓	✓						
1.(c)		✓	✓	✓				
1.(d)			✓	✓				
2.(a)		✓	✓	✓				
2.(b)		✓	✓	✓				
2.(c)		✓	✓	✓				
3.(a)					✓	✓	✓	
3.(b)					✓	✓	✓	
3.(c)					✓	✓	✓	
3.(d)					✓	✓	✓	
4.(a)	✓	✓	✓	✓				
4.(b)				✓				
4.(c)					✓	✓	✓	✓
4.(d)								✓

Tabela C.1: Distribuição de atividades programada

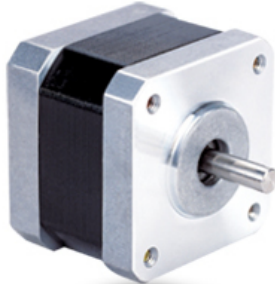
Apêndice **D**

Datasheets

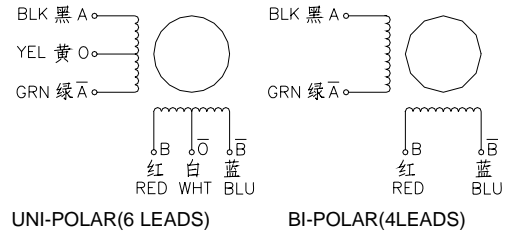


MotionKing (China) Motor Industry Co., Ltd.

2 Phase Hybrid Stepper Motor 17HS series-Size 42mm(1.8 degree)



Wiring Diagram:

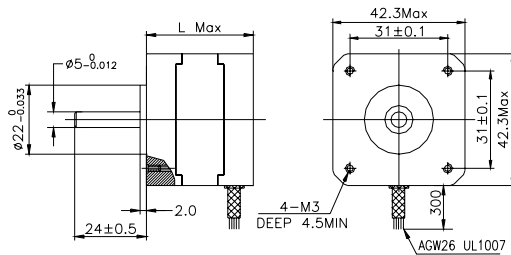


Electrical Specifications:

Series Model	Step Angle (deg)	Motor Length (mm)	Rated Current (A)	Phase Resistance (ohm)	Phase Inductance (mH)	Holding Torque (N.cm Min)	Detent Torque (N.cm Max)	Rotor Inertia (g.cm ²)	Lead Wire (No.)	Motor Weight (g)
17HS2408	1.8	28	0.6	8	10	12	1.6	34	4	150
17HS3401	1.8	34	1.3	2.4	2.8	28	1.6	34	4	220
17HS3410	1.8	34	1.7	1.2	1.8	28	1.6	34	4	220
17HS3430	1.8	34	0.4	30	35	28	1.6	34	4	220
17HS3630	1.8	34	0.4	30	18	21	1.6	34	6	220
17HS3616	1.8	34	0.16	75	40	14	1.6	34	6	220
17HS4401	1.8	40	1.7	1.5	2.8	40	2.2	54	4	280
17HS4402	1.8	40	1.3	2.5	5.0	40	2.2	54	4	280
17HS4602	1.8	40	1.2	3.2	2.8	28	2.2	54	6	280
17HS4630	1.8	40	0.4	30	28	28	2.2	54	6	280
17HS8401	1.8	48	1.7	1.8	3.2	52	2.6	68	4	350
17HS8402	1.8	48	1.3	3.2	5.5	52	2.6	68	4	350
17HS8403	1.8	48	2.3	1.2	1.6	46	2.6	68	4	350
17HS8630	1.8	48	0.4	30	38	34	2.6	68	6	350

*Note: We can manufacture products according to customer's requirements.

Dimensions: unit=mm



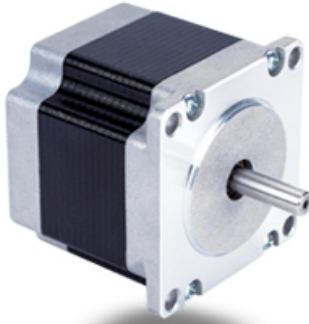
Motor Length:

Model	Length
17HS2XXX	28 mm
17HS3XXX	34 mm
16HS4XXX	40 mm
16HS8XXX	48 mm

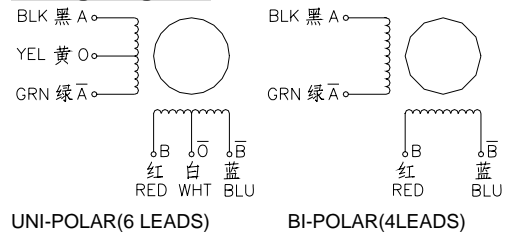


MotionKing (China) Motor Industry Co., Ltd.

2 Phase Hybrid Stepper Motor 23HS series-Size 57mm(1.8 degree)



Wiring Diagram:

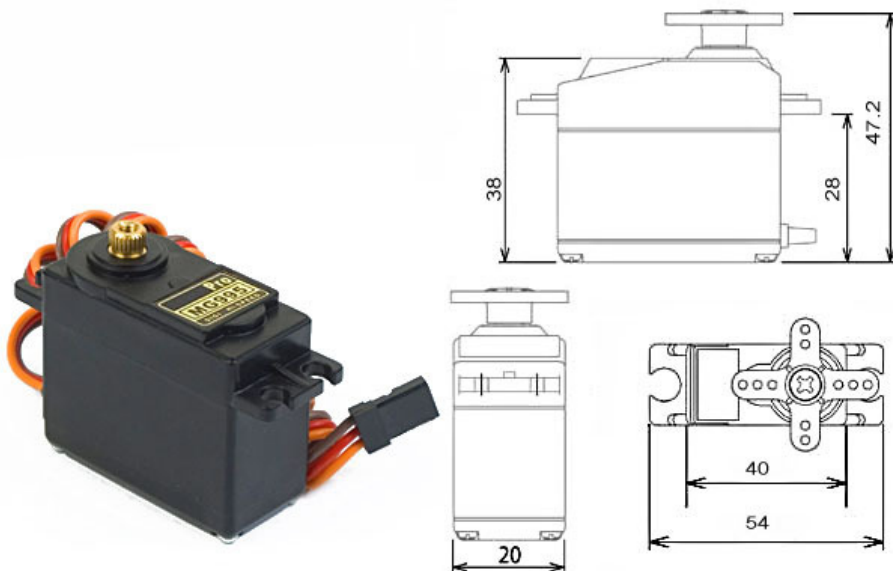


Electrical Specifications:

Series Model	Step Angle (deg)	Motor Length (mm)	Rated Current (A)	Phase Resistance (ohm)	Phase Inductance (mH)	Holding Torque (N.cm Min)	Detent Torque (N.cm Max)	Rotor Inertia (g.cm ²)	Lead Wire (No.)	Motor Weight (g)
23HS0601	1.8	41	1.0	5.2	5.5	40	2.5	150	6	470
23HS0405	1.8	41	0.62	12	24	55	2.5	150	4	470
23HS0408	1.8	41	2.0	1.2	2.5	55	2.5	150	4	470
23HS4412	1.8	45	0.62	12	26	80	2.8	190	4	520
23HS4425	1.8	45	2.5	1.0	2.2	80	2.8	190	4	520
23HS5406	1.8	51	0.62	13	28	90	2.8	190	4	520
23HS5425	1.8	51	2.5	1.2	3.2	90	2.8	190	4	520
23HS5602	1.8	51	0.8	6.8	9.2	63	3.0	230	6	590
23HS6602	1.8	56	1.5	3.2	5.5	90	3.5	280	6	590
23HS6403	1.8	56	2.5	1.3	3.6	110	3.5	280	4	680
23HS6430	1.8	56	3.0	0.8	2.4	110	3.5	280	4	680
23HS6404	1.8	56	4.2	0.4	1.2	110	3.5	280	4	680
23HS7401	1.8	64	1.0	7.5	20	150	5.0	380	4	850
23HS7425	1.8	64	2.5	1.5	4.5	150	5.0	380	4	850
23HS7430	1.8	64	3.0	0.8	2.3	150	5.0	380	4	850
23HS7404	1.8	64	4.2	0.55	1.2	150	5.0	380	4	850
23HS8603	1.8	76	1.5	4.5	10	140	6.0	440	6	1050
23HS8425	1.8	76	2.5	1.8	6.5	180	6.0	440	4	1050
23HS8430	1.8	76	3.0	1.0	3.5	180	6.0	440	4	1050
23HS8404	1.8	76	4.2	0.6	1.8	180	6.0	440	4	1050
23HS1430	1.8	100	3.0	1.4	5.5	250	10	680	4	1250
23HS1410	1.8	100	4.2	0.8	3.0	250	10	680	4	1250
23HS2430	1.8	112	3.0	1.6	6.8	280	12	800	4	1400
23HS2410	1.8	112	4.2	0.9	3.8	280	12	800	4	1400

*Note: We can manufacture products according to customer's requirements.

MG995 High Speed Metal Gear Dual Ball Bearing Servo



The unit comes complete with 30cm wire and 3 pin 'S' type female header connector that fits most receivers, including Futaba, JR, GWS, Cirrus, Blue Bird, Blue Arrow, Corona, Berg, Spektrum and Hitec.

This high-speed standard servo can rotate approximately 120 degrees (60 in each direction). You can use any servo code, hardware or library to control these servos, so it's great for beginners who want to make stuff move without building a motor controller with feedback & gear box, especially since it will fit in small places. The MG995 Metal Gear Servo also comes with a selection of arms and hardware to get you set up nice and fast!

Specifications

- Weight: 55 g
- Dimension: 40.7 x 19.7 x 42.9 mm approx.
- Stall torque: 8.5 kgf·cm (4.8 V), 10 kgf·cm (6 V)
- Operating speed: 0.2 s/60° (4.8 V), 0.16 s/60° (6 V)
- Operating voltage: 4.8 V a 7.2 V
- Dead band width: 5 μs
- Stable and shock proof double ball bearing design
- Temperature range: 0 °C – 55 °C



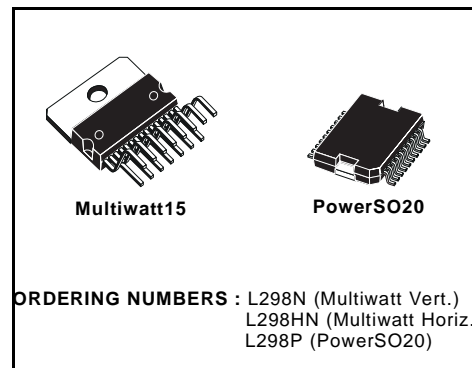
L298

DUAL FULL-BRIDGE DRIVER

- OPERATING SUPPLY VOLTAGE UP TO 46 V
- TOTAL DC CURRENT UP TO 4 A
- LOW SATURATION VOLTAGE
- OVERTEMPERATURE PROTECTION
- LOGICAL "0" INPUT VOLTAGE UP TO 1.5 V (HIGH NOISE IMMUNITY)

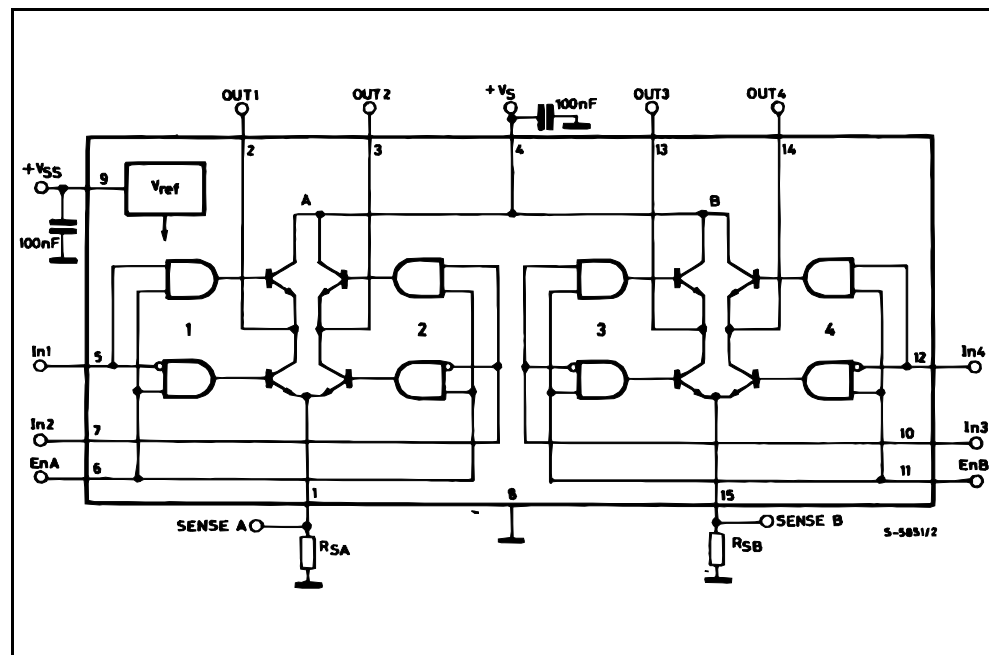
DESCRIPTION

The L298 is an integrated monolithic circuit in a 15-lead Multiwatt and PowerSO20 packages. It is a high voltage, high current dual full-bridge driver designed to accept standard TTL logic levels and drive inductive loads such as relays, solenoids, DC and stepping motors. Two enable inputs are provided to enable or disable the device independently of the input signals. The emitters of the lower transistors of each bridge are connected together and the corresponding external terminal can be used for the con-

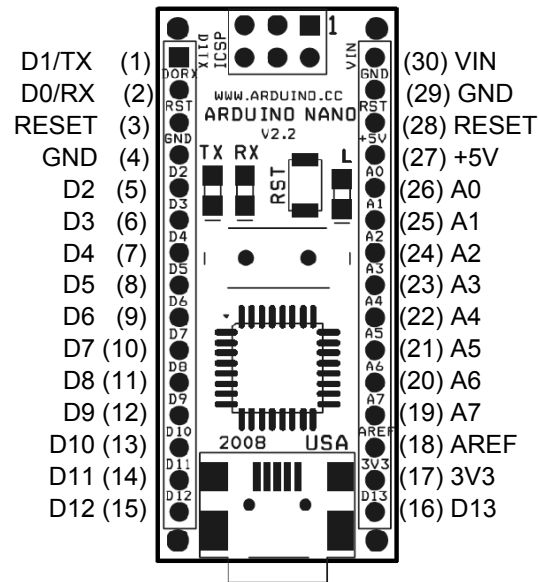


nection of an external sensing resistor. An additional supply input is provided so that the logic works at a lower voltage.

BLOCK DIAGRAM



Arduino Nano Pin Layout



Pin No.	Name	Type	Description
1-2, 5-16	D0-D13	I/O	Digital input/output port 0 to 13
3, 28	RESET	Input	Reset (active low)
4, 29	GND	PWR	Supply ground
17	3V3	Output	+3.3V output (from FTDI)
18	AREF	Input	ADC reference
19-26	A7-A0	Input	Analog input channel 0 to 7
27	+5V	Output or Input	+5V output (from on-board regulator) or +5V (input from external power supply)
30	VIN	PWR	Supply voltage

Programação

Programação para a plataforma microcontrolada Arduino

```

1
2 //---CONFIG_BEGIN---
3 #pragma GCC push_options
4 #pragma GCC optimize ("Os")
5
6 #include <core.h>
7 #include <cpu.h>
8
9 #pragma GCC pop_options
10
11 // Peripheral Constructors
12 CPU &cpu = Cpu;
13
14 void peripheral_setup () {
15 }
16
17 void peripheral_loop() {
18 }
19 //---CONFIG_END---
20
21 // Conexoes modulo - Arduino
22
23 int IN1 = 8;
24 int IN2 = 9;
25 int IN3 = 10;
26 int IN4 = 11;
27 int ENA = 12;
28 int ENB = 13;
29 int tempo = 2;
30 int IN12= 2;
31 int IN22 = 3;
32 int IN32 = 4;
33 int IN42 = 5;
34 int ENA2 = 6;

```

```
35 int ENB2 = 7;
36
37 int actstep=0;
38 int stepcount=0;
39
40 // -----FUNÇÕES
41
42 void stepforward(){
43     digitalWrite(ENA,1);
44     digitalWrite(ENB,1);
45     if (actstep==0 ){
46         // Passo 1
47         digitalWrite(IN1, 1);
48         digitalWrite(IN2, 0);
49         digitalWrite(IN3, 0);
50         digitalWrite(IN4, 1);
51         delay(tempo);
52         actstep++;
53     }else if(actstep==1){
54         // Passo 2
55         digitalWrite(IN1, 0);
56         digitalWrite(IN2, 1);
57         digitalWrite(IN3, 0);
58         digitalWrite(IN4, 1);
59         delay(tempo);
60         actstep++;
61     }else if(actstep==2){
62         // Passo 3
63         digitalWrite(IN1, 0);
64         digitalWrite(IN2, 1);
65         digitalWrite(IN3, 1);
66         digitalWrite(IN4, 0);
67         delay(tempo);
68         actstep++;
69     }else if(actstep==3){
70         // Passo 4
71         digitalWrite(IN1, 1);
72         digitalWrite(IN2, 0);
73         digitalWrite(IN3, 1);
74         digitalWrite(IN4, 0);
75         delay(tempo);
76         actstep++;
77     }
78     if(actstep==4){
79         actstep=0;
80     }
81     stepcount++;
82     delay(tempo);
83 }
84
```

```
85 void stepforward2(){
86     digitalWrite(ENA2,1);
87     digitalWrite(ENB2,1);
88     if (actstep==0 ){
89         // Passo 1
90         digitalWrite(IN12, 1);
91         digitalWrite(IN22, 0);
92         digitalWrite(IN32, 0);
93         digitalWrite(IN42, 1);
94         delay(tempo);
95         actstep++;
96     }else if(actstep==1){
97         // Passo 2
98         digitalWrite(IN12, 0);
99         digitalWrite(IN22, 1);
100        digitalWrite(IN32, 0);
101        digitalWrite(IN42, 1);
102        delay(tempo);
103        actstep++;
104    }else if(actstep==2){
105        // Passo 3
106        digitalWrite(IN12, 0);
107        digitalWrite(IN22, 1);
108        digitalWrite(IN32, 1);
109        digitalWrite(IN42, 0);
110        delay(tempo);
111        actstep++;
112    }else if(actstep==3){
113        // Passo 4
114        digitalWrite(IN12, 1);
115        digitalWrite(IN22, 0);
116        digitalWrite(IN32, 1);
117        digitalWrite(IN42, 0);
118        delay(tempo);
119        actstep++;
120    }
121    if(actstep==4){
122        actstep=0;
123    }
124    stepcount++;
125    delay(tempo);
126 }
127
128 void stepbackward(){
129     digitalWrite(ENA,1);
130     digitalWrite(ENB,1);
131     if (actstep==0){
132         // Passo 4
133         digitalWrite(IN1, 1);
134         digitalWrite(IN2, 0);
```

```
135     digitalWrite(IN3, 1);
136     digitalWrite(IN4, 0);
137     delay(tempo);
138     actstep--;
139 }else if(actstep==1){
140     // Passo 1
141     digitalWrite(IN1, 1);
142     digitalWrite(IN2, 0);
143     digitalWrite(IN3, 0);
144     digitalWrite(IN4, 1);
145     delay(tempo);
146     actstep--;
147 }else if(actstep==2){
148     // Passo 2
149     digitalWrite(IN1, 0);
150     digitalWrite(IN2, 1);
151     digitalWrite(IN3, 0);
152     digitalWrite(IN4, 1);
153     delay(tempo);
154     actstep--;
155 }else if(actstep==3){
156     // Passo 3
157     digitalWrite(IN1, 0);
158     digitalWrite(IN2, 1);
159     digitalWrite(IN3, 1);
160     digitalWrite(IN4, 0);
161     delay(tempo);
162     actstep--;
163 }
164 if(actstep==-1){
165     actstep=3;
166 }
167 stepcount--;
168 delay(tempo);
169 }
170
171 void stepbackward2(){
172     digitalWrite(ENA2,1);
173     digitalWrite(ENB2,1);
174     if (actstep==0){
175         // Passo 4
176         digitalWrite(IN12, 1);
177         digitalWrite(IN22, 0);
178         digitalWrite(IN32, 1);
179         digitalWrite(IN42, 0);
180         delay(tempo);
181         actstep--;
182     }else if(actstep==1){
183         // Passo 1
184         digitalWrite(IN12, 1);
```

```
185     digitalWrite(IN22, 0);
186     digitalWrite(IN32, 0);
187     digitalWrite(IN42, 1);
188     delay(tempo);
189     actstep--;
190 }else if(actstep==2){
191     // Passo 2
192     digitalWrite(IN12, 0);
193     digitalWrite(IN22, 1);
194     digitalWrite(IN32, 0);
195     digitalWrite(IN42, 1);
196     delay(tempo);
197     actstep--;
198 }else if(actstep==3){
199     // Passo 3
200     digitalWrite(IN12, 0);
201     digitalWrite(IN22, 1);
202     digitalWrite(IN32, 1);
203     digitalWrite(IN42, 0);
204     delay(tempo);
205     actstep--;
206 }
207 if(actstep==--1){
208     actstep=3;
209 }
210 stepcount--;
211 delay(tempo);
212 }
213
214 void freio(){
215     digitalWrite(ENA,0);
216     digitalWrite(ENB,0);
217 }
218
219 void freio2(){
220     digitalWrite(ENA2,0);
221     digitalWrite(ENB2,0);
222 }
223
224
225
226 //
-----
227     SETUP
228 char incomingByte = '-';
229 void chart_SETUP()
230 {
231     // Define os pinos como saida
232     pinMode(IN1,OUTPUT);
```

```
233   pinMode(IN2,OUTPUT);
234   pinMode(IN3,OUTPUT);
235   pinMode(IN4,OUTPUT);
236   pinMode(ENA,OUTPUT);
237   pinMode(ENB,OUTPUT);
238   digitalWrite(ENA,1);
239   digitalWrite(ENB,1);
240   pinMode(IN12,OUTPUT);
241   pinMode(IN22,OUTPUT);
242   pinMode(IN32,OUTPUT);
243   pinMode(IN42,OUTPUT);
244   pinMode(ENA2,OUTPUT);
245   pinMode(ENB2,OUTPUT);
246   digitalWrite(ENA2,1);
247   digitalWrite(ENB2,1);
248   s.attach(SERVO);
249   Serial.begin(9600);
250   s.write(0); // Inicia motor posição zero
251 }
252
253
254 void chart_LOOP()
255 {
256
257     // send data only when you receive data:
258     if (Serial.available() > 0) {
259         // read the incoming byte:
260         incomingByte = Serial.read();
261
262         // say what you got:
263         Serial.print("I received: ");
264         Serial.println(incomingByte);
265     }
266     switch (incomingByte)
267     {
268 case 'e':
269         Serial.println("Ok e= ajuste para frente 0,1mm");
270         incomingByte='-';
271         for(int i=0;i<25;i++){
272             stepforward();
273         }
274         freio();
275         Serial.println(stepcount);
276 break;
277
278 case 'f':
279         Serial.println("Ok f=ajuste para traz 0,1mm");
280         incomingByte='-';
281         for(int i=0;i<25;i++){
282             stepbackward();
```

```
283     }
284     freio();
285     Serial.println(stepcount);
286 break;
287
288 case 'z':
289     Serial.println("Ok Z= ajuste para frente 0,1mm");
290     incomingByte='-';
291     for(int i=0;i<25;i++){
292         stepforward2();
293     }
294     freio();
295     Serial.println(stepcount);
296 break;
297
298 case 'x':
299     Serial.println("Ok X=ajuste para traz 0,1mm");
300     incomingByte='-';
301     for(int i=0;i<25;i++){
302         stepbackward2();
303     }
304     freio();
305     Serial.println(stepcount);
306 break;
307
308 case 'p':
309     Serial.println("Ok P=ajuste para traz 0,1mm");
310     incomingByte='-';
311     for(pos = 0; pos < 10; pos++)
312     {
313         s.write(pos);
314         delay(15);
315     }
316 break;
317
318 case 'o':
319     Serial.println("Ok O=ajuste para traz 0,1mm");
320     incomingByte='-';
321     for(pos = 0; pos < -10; pos--)
322     {
323         s.write(pos);
324         delay(15);
325     }
326 break;
327     }
328 }
329
330
331 // Entry Points and Interrupt Handlers
332 void setup () { peripheral_setup(); chart_SETUP(); }
```

```
333 void loop () { peripheral_loop(); chart_LOOP(); }
```

Programação para o Software Webots

```
1
2 #include <webots/robot.h>
3 #include <webots/supervisor.h>
4 #include <webots/receiver.h>
5
6 #include <time.h>
7 #include <stdlib.h>
8 #include <malloc.h>
9 #include <string.h>
10
11 #define TIME_STEP 8
12
13 int rand_int(int min, int max) {
14     return (rand() % (max - min + 1)) + min;
15 }
16
17 double ab(double x) {
18     if (x < 0) {
19         return x * -1;
20     }
21
22     return x;
23 }
24
25 double move_block(WbFieldRef ref, double target, double kp) {
26     const double *current_pos = wb_supervisor_field_get_sf_vec3f(ref);
27
28     double *new_pos = malloc(sizeof(double) * 3);
29
30     new_pos[1] = current_pos[1];
31     new_pos[2] = current_pos[2];
32
33     double current_x = current_pos[0];
34
35     double err = (target - current_x);
36
37     if (ab(err) > 0.0001) {
38         double u = err * kp;
39
40         new_pos[0] = current_x + u;
41     } else {
42         new_pos[0] = current_x;
43     }
44
45     wb_supervisor_field_set_sf_vec3f(ref, new_pos);
46
47     free(new_pos);
```



```
48
49     return err;
50 }
51
52 double move_blocky(WbFieldRef ref, double target, double kpy) {
53     const double *current_poss = wb_supervisor_field_get_sf_vec3f(ref)
54         ;
55     double *new_poss = malloc(sizeof(double) * 3);
56
57     new_poss[0] = current_poss[0];
58
59     double current_y = current_poss[1];
60
61     new_poss[2] = current_poss[2];
62
63     double erry = (target - current_y);
64
65     if (ab(erry) > 0.0001) {
66         double n = erry * kpy;
67
68         new_poss[1] = current_y + n;
69     } else {
70         new_poss[1] = current_y;
71     }
72
73     wb_supervisor_field_set_sf_vec3f(ref, new_poss);
74
75     free(new_poss);
76
77     return erry;
78 }
79 int main(int argc, char **argv) {
80     wb_robot_init();
81
82     srand(time(NULL));
83
84     double mid_x_values[3] = {0.45, 0.31, 0.27};
85     double up_x_values[3] = {0.45, 0.31, 0.27};
86
87     double up_y_values[3] = {-0.07, -0.09, 0.08};
88
89     int pos = rand_int(0, 2);
90
91     unsigned int time_interval = (unsigned int) rand_int(1, 2);
92     double current_time,
93         x_kp = .005,
94         mid_tx = mid_x_values[pos],
95         last_mid_tx = mid_tx,
96         up_tx = up_x_values[pos],
```

```
97
98     y_kpy = .005,
99     up_ty = up_y_values[pos],
100     last_up_ty = up_ty;
101
102 unsigned int state = 0;
103
104 WbNodeRef mid_ax_ref = wb_supervisor_node_get_from_def("eixo_meio"
105     );
106 WbFieldRef mid_ax_tf_ref = wb_supervisor_node_get_field(mid_ax_ref
107     , "translation");
108
109 WbNodeRef up_ax_ref = wb_supervisor_node_get_from_def("
110     eixo_superior");
111 WbFieldRef up_ax_tf_ref = wb_supervisor_node_get_field(up_ax_ref,
112     "translation");
113
114 WbDeviceTag data_receiver = wb_robot_get_device("receiver");
115
116 wb_receiver_enable(data_receiver, TIME_STEP);
117 wb_receiver_set_channel(data_receiver, 2);
118
119 while (wb_robot_step(TIME_STEP) != -1) {
120     current_time = wb_robot_get_time();
121
122     if (current_time > 1 && (unsigned int) current_time %
123         time_interval == 0 && state == 2) {
124         while (mid_tx == last_mid_tx) {
125             pos = rand_int(0, 2);
126
127             mid_tx = mid_x_values[pos];
128
129             up_ty = up_y_values[pos];
130         }
131
132         up_tx = up_x_values[pos];
133
134         last_mid_tx = mid_tx;
135
136         last_up_ty = up_ty;
137
138         state = 0;
139     }
140
141     if (state == 0) {
142         double err_m = move_block(mid_ax_tf_ref, mid_tx, x_kp);
143         double err_u = move_block(up_ax_tf_ref, up_tx, x_kp);
144
145         double erry_uy = move_blocky(up_ax_tf_ref, up_ty, y_kpy);
```

```
142
143     if (ab(err_m) < 0.001 && ab(err_u) < 0.001 && ab(erry_uy)
144         < 0.001) {
145         state = 1;
146     }
147     } else if (state == 1) {
148         time_interval = rand_int(1, 2);
149         state = 2;
150     }
151 };
152
153 wb_supervisor_simulation_reset_physics();
154 wb_robot_cleanup();
155
156 return 0;
}
```


Bibliografia

World health organization, 2020. URL <https://www.who.int/health-topics/cancer>.

Eletrogate, 2021. URL <https://www.eletrogate.com/ponte-h-dupla-1298n>.

Arduino e cia, 2022. URL <https://www.arduinoecia.com.br/ponte-h-1298n-motor-de-passo/>.

Master walker, 2022. URL <https://blogmasterwalkershop.com.br/arduino/como-usar-com-arduino-servo-motor-mg995>.

Michael Ashby and Kara Johnson. *Materiais e design: A arte e ciência da seleção de materiais no projeto do produto*. Elsevier Brasil, 2013.

JC Blasko, H Ragde, and PD Grimm. Transperineal ultrasound-guided implantation of the prostate: morbidity and complications. *Scandinavian journal of urology and nephrology. Supplementum*, 137, 1991.

William D Callister, David G Rethwisch, A Blicblau, K Bruggeman, M Cortie, John Long, J Hart, Ross Marceau, M Ryan, Reza Parvizi, et al. *Materials science and engineering: an introduction*. wiley, 2021.

Renato Dâmaso, Flávia Aparecida Fernandes de Sousa, and Tarcísio Passos Ribeiro de Campos. Estudo de punções em tecido biológico para braquiterapia realizadas por um robô industrial com sistema de controle aberto. *Congresso Brasileiro de Automática, CBA 2016, UFES, Vitória, ES*, 2016.

Joseph R Davis et al. *ASM specialty handbook: heat-resistant materials*. Asm International, 1997.

Bruna Cristina De Lima, Camila Alves Rezende Lopreto, and Luiz Correia Lima Junior. Modalidades da radioterapia: teleterapia, braquiterapia e radiocirurgia. *Três Lagoas: Bruna Cristina de Lima*, 2014.

Anselmo Diniz. *Tecnologia da usinagem dos materiais*. Editora Artliber, 2006.

- Nícolas H. O. Dionísio, Renato de S. D., and Tarcísio P. R. de Campos. Automação do implante de sementes radioativas para braquiterapia. *Mostra Nacional de Robótica*, 2018.
- Dino Ferraresi. *Fundamentos da usinagem dos metais*. Editora Blucher, 2013.
- Luciano Galdino. Cálculo da rotação, do torque e da potência de motores elétricos para transmissão por parafusos de potência. *Augusto Guzzo Revista Acadêmica*, (14):215–227, 2014.
- Fraas B Glatstein E, Lichter A. The imaging revolution and radiation oncology: use of ct, ultrasound and nmr for localization, treatment planning and treatment delivery. *International Journal of Radiation Oncology, Biology and Physics*, 16, 1985.
- Steven I. Hajdu. A note from history: Landmarks in history of cancer, part 1. *Wiley Online Library*, 2011.
- Tayyaba Hasan, Bernhard Ortel, N Solban, and B Pogue. Photodynamic therapy of cancer. *Cancer medicine*, 7:537–48, 2003.
- R.C. Hibbeler. *Resistencia dos materiais*. Pearson Education do Brasil, 2010.
- Holm, Juul N, Pedersen JF, Hansen H, and Stroyer I. Transperineal 125iodine seed implantation in prostatic cancer guided by transrectal ultrasonography. *J Urol.*, 130, 1983.
- Paulo J. Junior, Renato de S. D., Mauricio F. S., Jefferson V. F., and Tarcísio P. R. de Campos. Desenvolvimento de uma ferramenta robótica para implante de sementes radioativas para braquiterapia. *Mostra Nacional de Robótica*, 2017.
- Limbergen, Hoskin P. Pötter R., and Baltas D.. *The GEC ESTRO Handbook of Brachytherapy*. ESTRO, 2019.
- MJ Lind. Principles of cytotoxic chemotherapy. *Medicine*, 36(1):19–23, 2008.
- et al Machado. *Princípios dos Processos de Fabricação por Usinagem*. Editora Intersaberes, 2016.
- Narayana V. Martel MK. Brachytherapy for the next century: use of image-based treatment planning. *Radiat Res.*, 150, 1998.
- Robert L Norton. *Projeto de máquinas*. bookman editora, 2013.
- Lucas S. Oliveira and Renato Dâmaso. Automação da técnica de braquiterapia de alta dose por agulhamento utilizando uma mesa xy orientada por imagem radiográfica. *Trabalho de Conclusão de Curso, CEFET-MG / Campus Divinópolis*, 2013.
- Claudimir José Rebeyka. *Princípios dos Processos de Fabricação por Usinagem*. Editora Intersaberes, 2016.
- Wanderley S. Roberto, Tarcísio P. R. de Campos, and Marivalda M. Pereira. Análises de vidros bioativos e radioativos para braquiterapia de câncer de próstata. *Revista Bras. de Pesquisa e Desenvolvimento*, 2002.

Bernard W. Stewart and Paul Kleihues. World cancer report. *IARCPress*, 2003.

Bernard W. Stewart and Paul Kleihues. World cancer report. *IARCPress*, 2020.

GE Medical Systems Ultrasound and Primary Care Diagnostics. *Instruções de Uso: Sistema de Ultra-som LOGIQ e*. GE Healthcare, 2010.

Louis Frederic Wickham and Paul Marie Degrais. *Pionier Leczenia Radem*. Nowotwory, 1909.

Yan Yu, Tarun Podder, Yongde Zhang, Wan-Sing Ng, Vladimir Misic, Jason Sherman, Luke Fu, Dave Fuller, Edward Messing, Deborah Rubens, et al. Robot-assisted prostate brachytherapy. pages 41–49, 2006.