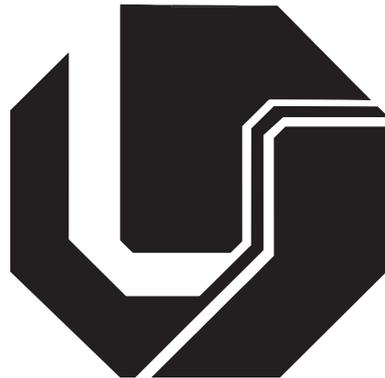


UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA BIOMÉDICA



**Desenvolvimento de um dispositivo para acionamento de
joystick de cadeira de rodas motorizada**

Thiago Sá de Paiva

UBERLÂNDIA
SETEMBRO 2020

Thiago Sá de Paiva

Desenvolvimento de um dispositivo para acionamento de joystick de cadeira de rodas motorizada

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Ciências.

Área de Concentração: Engenharia de Reabilitação e Tecnologias Assistivas

UBERLÂNDIA

SETEMBRO 2020

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

P149 Paiva, Thiago Sá de, 1981-
2020 Desenvolvimento de um dispositivo para acionamento de joystick de cadeira de rodas motorizada [recurso eletrônico] / Thiago Sá de Paiva. - 2020.

Orientador: Eduardo Lázaro Martins Naves.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Pós-graduação em Engenharia Biomédica.
Modo de acesso: Internet.
Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2020.44>
Inclui bibliografia.
Inclui ilustrações.

1. Engenharia biomédica. I. Naves, Eduardo Lázaro Martins, 1970-, (Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Pós-graduação em Engenharia Biomédica. III. Título.

CDU: 62:61

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
 Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica
 Av. João Naves de Ávila, 2121, Bloco 3N, Sala 115 - Bairro Santa Mônica, Uberlândia-MG, CEP 38400-902
 Telefone: (34) 3239-4761 - www.ppegb.feelt.ufu.br - ppegb@feelt.ufu.br



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Engenharia Biomédica				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico, 065, PPGEB				
Data:	vinte e nove de setembro de dois mil e vinte	Hora de início:	14h30min	Hora de encerramento:	17h15min
Matrícula do Discente:	11812EBI008				
Nome do Discente:	Thiago Sá de Paiva				
Título do Trabalho:	Desenvolvimento de um dispositivo para acionamento de joystick de cadeira de rodas motorizada				
Área de concentração:	Engenharia Biomédica				
Linha de pesquisa:	Engenharia de Reabilitação e Tecnologias Assistivas				
Projeto de Pesquisa de vinculação:	Sistema multimodal para treinamento a distância em ambiente virtual ou de realidade aumentada destinado aos usuários de cadeiras de rodas motorizadas				

Reuniu-se em web conferência pela plataforma Google Meet em conformidade com a PORTARIA Nº 36, DE 19 DE MARÇO DE 2020 da COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR - CAPES, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Biomédica, assim composta: Professores Doutores: Adriano de Oliveira Andrade - FEELT/UFU; Rogério Sales Gonçalves - FEMEC/UFU; Teodiano Freire Bastos Filho - UFES; Eduardo Lázaro Martins Naves - FEELT/UFU orientador do candidato.

Iniciando os trabalhos o(a) presidente da mesa, Dr. Eduardo Lázaro Martins Naves, apresentou a Comissão Examinadora e o candidato(a), agradeceu a presença do público, e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(às) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

Aprovado

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Eduardo Lazaro Martins Naves, Professor(a) do Magistério Superior**, em 29/09/2020, às 17:14, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **TEODIANO FREIRE BASTOS FILHO, Usuário Externo**, em 29/09/2020, às 17:14, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Rogério Sales Gonçalves, Professor(a) do Magistério Superior**, em 29/09/2020, às 17:14, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Adriano de Oliveira Andrade, Professor(a) do Magistério Superior**, em 29/09/2020, às 17:14, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2282337** e o código CRC **44CB6DFF**.

Thiago Sá de Paiva

Desenvolvimento de um dispositivo para acionamento de joystick de cadeira de rodas motorizada

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Ciências.

Área de Concentração: Engenharia de Reabilitação e Tecnologias Assistivas

Prof. Eduardo Lázaro Martins Naves, PhD.
Orientador

Prof. Adriano de Oliveira Andrade, PhD.
Coordenador do curso de Pós-Graduação

UBERLÂNDIA
SETEMBRO 2020

Thiago Sá de Paiva

Desenvolvimento de um dispositivo para acionamento de joystick de cadeira de rodas motorizada

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Ciências.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Eduardo Lázaro Martins Naves - Orientador (UFU)

Prof. Dr. Adriano de Oliveira Andrade - (UFU)

Prof. Dr. Teodiano Freire Bastos Filho - (UFES)

Prof. Dr. Rogério Sales Gonçalves - (UFU)

UBERLÂNDIA
SETEMBRO 2020

Agradecimentos

Agradeço a Deus pela vida, pela minha família, pelas oportunidades e momentos proporcionados durante a jornada da existência.

Aos meus pais, Regina e Hélio, por serem suporte, incentivo, exemplo, amor e tudo o mais que um filho possa desejar. Tudo que sou devo a vocês.

Aos meus irmãos, Daniela e Marco Túlio, pela ajuda, companheirismo, alegria e amor que compartilhamos.

À minha namorada Renata, pelo carinho, companhia, suporte, apoio, amor, compreensão e por estar comigo. Encontrar você foi a melhor coisa que me aconteceu durante essa caminhada.

Ao meu orientador prof. Dr. Eduardo, por ter me aceitado como seu orientando, pelo auxílio durante o desenvolvimento do trabalho, pelo incentivo e por me ajudar a crescer como pesquisador.

Aos colegas do NTA e do NIATS, pessoas muito especiais que fizeram o dia a dia de pesquisa o melhor possível, contribuindo com seu talento enorme, com sua generosidade e amizade e proporcionando momentos que ficarão guardados na minha memória com carinho e gratidão.

Aos meus amigos dos tempos de São Carlos, a quem carrego comigo no coração onde quer que eu vá.

À toda a minha família, pelo amor e por serem meu porto seguro.

Aos funcionários da Faculdade de Engenharia Elétrica, em especial ao Edson, por todo o auxílio e disponibilidade.

Aos funcionários da Agência Intelecto, por toda a orientação e suporte no trato com o INPI.

Agradeço também as instituições CAPES e CNPq pelo apoio financeiro a pesquisa.

“Seja a mudança que você quer ver no mundo.”
(Mahatma Gandhi)

Resumo

De acordo com a Organização Mundial de Saúde(OMS), por volta de 15% da população global (acima de 1 bilhão de pessoas) vive com alguma forma de deficiência, e 2-4% vivenciam dificuldades significativas em suas atividades diárias. Na Pesquisa Nacional de Saúde (PNS), estimou-se que no Brasil um total de 1,3% da população possuía deficiência física, sendo que aproximadamente metade destes relatou possuir elevado grau de limitação. A tetraplegia é uma condição altamente incapacitante, definida como paralisia parcial ou total de membros inferiores e superiores e do tronco. Possui múltiplas causas, sendo a mais frequente lesão medular traumática. Sua incidência na população brasileira foi estimada como 71 novos casos por milhão de habitantes em estudo recente e encontra-se acima da média mundial. Tendo em vista este cenário, percebe-se uma grande necessidade de tecnologias assistivas (TAs) pelo Brasil e por todo o mundo. Infelizmente, a OMS aponta que apenas uma em cada dez pessoas tem acesso a estas tecnologias. Medidas vêm sendo tomadas nos últimos anos buscando impulsionar o desenvolvimento de tecnologias assistivas tanto nacional como internacionalmente, podendo-se destacar iniciativas de pesquisa como o Programa de Apoio à Pós-Graduação e à Pesquisa Científica e Tecnológica em Tecnologia Assistiva no Brasil (PGPTA) da CAPES e iniciativas globais como o programa da OMS denominado GATE (do inglês Global Cooperation on Assistive Technology). Adicionalmente, o Desenho Universal desempenha importante papel no desenvolvimento de produtos em geral, não só de tecnologias e produtos assistivos, através de seus princípios que buscam abarcar todas as pessoas na concepção destes produtos e tecnologias, resultando em melhores soluções. Este trabalho tem por objetivo prover um equipamento capaz de adaptar Cadeiras de Rodas Motorizadas (CRMs) convencional a comandos alternativos sem interferir no projeto original da cadeira, emulando por controles alternativos o que seria executado pelos membros superiores do usuário, sendo assim utilizável por indivíduos tetraplégicos e ampliando o público que faz uso da CRM convencional. A proposta consiste de uma solução hardware e software para adaptação a comandos alternativos de joystick de CRMs. A partir de uso do cursor de um computador pessoal (PC), usando a movimentação X e Y e a função de clique, seleciona-se através de botões de uma interface qual função do joystick se deseja acionar, seja ela apertar um botão ou mover o manípulo na direção de interesse para movimentação da cadeira. Um teste de funcionalidade usando um programa gratuito de acesso aberto de controle de mouse alternativo por rastreamento da cabeça pela webcam foi executado, podendo-se atestar que a solução é capaz de executar todas as tarefas. Considerações a respeito dos tempos de execução foram feitas, destacando-se a preocupação com os tempos de acionamento. Ao final, sugestões de trabalhos futuros foram apresentadas.

Palavras-chave:Cadeira de Rodas Motorizada. Tecnologia Assistiva. Joystick.

Abstract

According to the World Health Organization (WHO), about 15% of the world's population (above one billion people) live with some form of disability, and 2-4% live with extreme difficulty. The National Health Survey (from the portuguese acronym PNS) estimates that in Brazil 1.3% of country's population live with physical disability, and about half of them with severe limitation. Tetraplegia is a highly incapacitating condition, defined as partial or total paralysis of all limbs and torso. It has multiple origins, and the most common is spinal cord injury. Regarding the Brazilian population, its incidence rate was estimated as being 71 new cases per million inhabitants in a recent study, finding itself above the world average. Taking all of the above into account, it is noticeable a great need for assistive technology both in Brazil and worldwide. Unfortunately, as pointed out by WHO only one in every ten people have access to these technologies. Actions were taken in the last few years seeking to boost assistive technology development, both nationally and internationally, where we can highlight national research programs like PGPTA (from the portuguese Programa de Apoio à Pós-Graduação e à Pesquisa Científica e Tecnológica em Tecnologia Assistiva no Brasil) and global initiatives like WHO's GATE (Global Cooperation on Assistive Technology). Additionally, Universal Design performs an important role on product development in general, not only on assistive technologies and products, through its principles that aim to include all potential users on technology and product conception, resulting in better solutions. The purpose of this work is to provide an equipment capable of adapting a conventional EPW (Electrically Powered Wheelchair) to alternative commands without interfering with EPW's original design, emulating through alternative inputs what would be performed by user's upper limbs, making it usable for tetraplegic users and broadening the public that utilizes a conventional EPW. The proposal consists of a hardware and software solution to adapt a conventional EPW joystick to alternative inputs. From the use of a Personal Computer (PC) mouse cursor, making use of X and Y movement coupled with click function, the user selects through buttons on an interface which joystick function he/she wants, like the press of a button or movement of the handle in the direction of interest for driving. A functionality test was executed using a free, open source, webcam based mouse emulator program, and it was possible to verify that the solution was capable of executing all tasks. Considerations regarding execution time were made, highlighting some concern with activating time. In the end, future work suggestions were presented.

Keywords: Electric-Powered Wheelchair. Assistive Technologies. Joystick.

Lista de ilustrações

Figura 1 – OMS 5Ps GATE logo	22
Figura 2 – Descascador de vegetais Oxo	30
Figura 3 – Braço robótico montado em Cadeira de Rodas KINOVA JACO®	33
Figura 4 – Braço robótico montado em Cadeira de Rodas EDAN	34
Figura 5 – Joystick de CRMs modelo VR2	35
Figura 6 – CRM Invacare com joystick para cuidador	35
Figura 7 – Controle mentoniano para CRM	36
Figura 8 – Controle por movimento labial	36
Figura 9 – Controle por movimento da cabeça	37
Figura 10 – Interface sopro e sucção	37
Figura 11 – Controle por sopro e sucção	37
Figura 12 – Controle por movimento da língua Tongue Drive System (TDS)	38
Figura 13 – CRM controlada por vídeo oculografia	39
Figura 14 – CRM controlada por ICM utilizando SSVEP	39
Figura 15 – Hardware e software do Eyedrivomatic.	40
Figura 16 – Eyedrivomatic em operação numa CRM	40
Figura 17 – Wheelie montado em uma CRM	41
Figura 18 – Principais partes do dispositivo da patente US 8,622,166 B1.	42
Figura 19 – Sistema microcontrolado para controle de CRM por movimento de cabeça	42
Figura 20 – Sistema para controle de CRM por sEMG	43
Figura 21 – Diagrama Geral MUA-CRM	45
Figura 22 – Representação CAD MUA-CRM	46
Figura 23 – Modelo CAD renderizado da Base	48
Figura 24 – Base Parte 1.1	48
Figura 25 – Base Parte 1.2	49
Figura 26 – Base Parte 1.3	49
Figura 27 – Base Parte 1.4	50
Figura 28 – Peça 2 (Braço Posicionador)	50
Figura 29 – Peça 3 (Plataforma do Motor de Passo Atuador)	51
Figura 30 – Peça 4 (Atuador do Manipulo do Joystick)	51
Figura 31 – Peça 5 (Parafuso de Movimento Linear)	52
Figura 32 – Peça 6 (Trilho Guia do Atuador do Manipulo)	52
Figura 33 – Suportes Motores de Passo Botões (Peças 7 e 8) Fonte: O autor (2020)	53
Figura 34 – Peças 9 e 11 (Foto motor de passo NEMA 11)	53
Figura 35 – Acoplamentos Motores de Passo (Peças 10 e 12) Fonte: O autor (2020)	54
Figura 36 – Motor de Passo Botões e Driver (Peças 13 e 15)	54

Figura 37 – Modelos CAD renderizados dos Atuadores dos Botões (Peças 14 e 16) .	55
Figura 38 – Rolamento Axial de Esferas (Peça 17)	55
Figura 39 – Placa de Desenvolvimento Mega 2560 R3 (Peça 18)	56
Figura 40 – Módulo Regulador de Tensão LM2596	56
Figura 41 – Driver Motores de Passo	57
Figura 42 – Módulo Chave Fim de Curso	57
Figura 43 – Interface IAMu-CRM	58
Figura 44 – Movimentações do mecanismo	59
Figura 45 – Posições CoMU-CRM Braço Posicionador	59
Figura 46 – Telas de calibração do Enable Viacam	61
Figura 47 – Direções C# (1-8) e C++(ASCII, 49-58)	63
Figura 48 – Conjunto montado MUA-CRM	63

Lista de tabelas

Tabela 1 – Produtos e Tecnologias de amplo uso derivados de Tecnologia Assistiva	30
Tabela 2 – Métodos de Entrada/Comando em Cadeira de Rodas Inteligente	32
Tabela 3 – Modos de Operação Cadeira de Rodas Inteligente	33
Tabela 4 – Tabela de Comandos para o CoMU-CRM	60
Tabela 5 – Tabela de resumo de tempos das tarefas	64
Tabela 6 – Tabela de tarefas dos botões	64
Tabela 7 – Tabela de tarefas de acionamento manípulo	65
Tabela 8 – Tempo de Posicionamento Peça 2 (Braço Posicionador)	65
Tabela 9 – Resumo dos Tempos	66
Tabela 10 – Custo de material do dispositivo para acionamento do joystick de CRM	67

Lista de abreviaturas e siglas

ABS	Acrilonitrila Butadieno Estireno
AIS	ASIA Impairment Scale
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
ASIA	American Spinal Injury Association
CAD	Computer Aided Design
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CIF	Classificação Internacional de Funcionalidade
CoMU-CRM	Software para Comando de Mecanismo Universal de Acionamento de Cadeira de Rodas Motorizada
CRI	Cadeira de Rodas Inteligente
CRM	Cadeira de Rodas Motorizada
DC	Direct Current
EDAN	EMG-controlled Daily-Assistant
EOG	Electrooculogram
EPW	Electrically Powered Wheelchair
GATE	Global Cooperation on Assistive Technology
GPL	General Public License
IAMu-CRM	Interface para Acionamento Multimodal de Cadeira de Rodas Motorizada
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICM	Interface Cérebro Máquina
IMU	Inertial Measurement Unit
IRR	Infrared Reflectance

ISO	International Standards Organization
MS	Ministério da Saúde
MUA-CRM	Mecanismo Universal de Acionamento de Cadeira de Rodas Motorizada
NEMA	National Electrical Manufacturers Association
NSF	National Science Foundation
OMS	Organização Mundial de Saúde
PC	Personal Computer
PETG	Tereftalato de Polietileno Glicol
PGPTA	Programa de Apoio à Pós-Graduação e à Pesquisa Científica e Tecnológica em Tecnologia Assistiva
PID	Proporcional integral derivativo
PNS	Pesquisa Nacional em Saúde
sEMG	surface electromiography
SNPD	Secretaria Nacional de Promoção dos Direitos da Pessoa com Deficiência
SSC	Scleral search coil
SSVEP	Steady state visual evoked potential
TA	Tecnologia Assistiva
TCU	Tribunal de Contas da União
TDS	Tongue Drive System
VOG	Video-oculography
WHO	World Health Organization
WHO-FIC	World Health Organization Family of Classifications
WHOQOL	World Health Organization Quality of Life

Sumário

1	INTRODUÇÃO	20
1.1	Motivação	22
1.2	Definição do Problema	23
1.3	Objetivos	23
1.3.1	Objetivo Geral	23
1.3.2	Objetivos Específicos	23
1.3.3	Estrutura da Dissertação	24
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	25
2.1	Tetraplegia ou Quadriplegia	25
2.2	Tecnologia Assistiva	27
2.2.1	Desenho Universal	29
2.2.2	Cadeiras de Rodas Inteligentes	31
2.2.3	Braços Robóticos Montados em Cadeiras de Rodas	33
2.2.4	Dispositivos de controle de cadeira de rodas motorizada	34
2.2.4.1	Joysticks e controles tradicionais	35
2.2.4.2	Controle mentoniano	35
2.2.4.3	Controle por movimento labial	36
2.2.4.4	Controle por movimento da cabeça	36
2.2.4.5	Controle por sopro e sucção	37
2.2.4.6	Controle por movimento da língua	38
2.2.4.7	Controle por rastreamento do olhar	38
2.2.4.8	Controle por Interface Cérebro Máquina	39
2.2.5	Dispositivos com manipulação de joystick	40
2.2.5.1	Eyedriveomatic	40
2.2.5.2	Wheelie	41
2.2.5.3	Outros dispositivos encontrados na literatura	41
2.2.6	Considerações Finais	43
3	MATERIAIS E MÉTODOS	44
3.1	Prova de Conceito	44
3.2	Visão Geral do Mecanismo Universal de Acionamento de Cadeira de Rodas Motorizada (MUA-CRM)	44
3.3	Hardware MUA-CRM	46
3.3.1	Base (Peça 1)	48
3.3.2	Braço Posicionador (Peça 2)	50

3.3.3	Plataforma do Motor de Passo Atuador (Peça 3)	50
3.3.4	Atuador do Manípulo (Peça 4)	51
3.3.5	Parafuso de Movimento Linear (Peça 5)	51
3.3.6	Trilhos Guia do Atuador do Manípulo (Peças 6)	52
3.3.7	Suportes Motores de Passo Botões (Peças 7 e 8)	52
3.3.8	Motores de Passo Posicionador e Atuador (Peças 9 e 11)	53
3.3.9	Acoplamentos Motores de Passo (Peças 10 e 12)	54
3.3.10	Motores de Passo Botões (Peças 13 e 15)	54
3.3.11	Atuadores dos Botões (Peças 14 e 16)	55
3.3.12	Rolamento Axial de Esferas (Peça 17)	55
3.3.13	Placa de Desenvolvimento Mega 2560 R3 (Peça 18)	55
3.3.14	Módulo Regulador de Tensão LM2596 (Peça 19)	56
3.3.15	Drivers dos Motores de Passo (Peças 20 e 21)	57
3.3.16	Matriz de Contatos (Peça 22)	57
3.3.17	Módulo Chave Fim de Curso (Peça 23)	57
3.4	Software MUA-CRM	58
3.4.1	Interface para Acionamento Multimodal de Cadeira de Rodas Motorizada (IAMu-CRM)	58
3.4.2	Comando de Mecanismo Universal de Acionamento de Cadeira de Rodas Motorizada (CoMU-CRM)	58
3.5	Controle do Cursor	60
3.6	Protocolo Experimental	61
4	RESULTADOS	63
5	DISCUSSÃO	68
6	CONCLUSÃO	70
6.1	Limitações do Estudo	70
6.2	Trabalhos Futuros	70
	REFERÊNCIAS	72
	ANEXOS	81
	ANEXO A – PEDIDO DE DEPÓSITO DE PATENTE	82
	ANEXO B – REGISTRO DE PROGRAMA DE COMPUTADOR	89
	ANEXO C – PUBLICAÇÕES	94

ANEXO D – ARTIGOS ACEITOS	95
ANEXO E – DESENHOS	96

1 Introdução

A Pesquisa Nacional em Saúde, ou PNS (IBGE (2015)), realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em convênio com o Ministério da Saúde (MS) publicou em 2015 dados populacionais relativos à saúde da população brasileira, obtidos por meio de pesquisa domiciliar por amostragem realizada em 2013. Dentre os dados coletados, aspectos relacionados à pessoa com deficiência são de especial interesse a este trabalho, em particular os relacionados à mobilidade e deficiência física.

A pesquisa estimou que 6,2% dos residentes no Brasil possuíam pelo menos uma dentre quatro deficiências: intelectual, auditiva, física e visual. Ainda de acordo com IBGE (2015), um total de 1,3% da população possuíam deficiência física, sendo que 0,3% nasceram nesta condição e 1,0% a adquiriram por meio de doença ou acidente. Adicionalmente, 46,8% da população com deficiência física possuíam elevado grau de limitações e 18,4% frequentavam serviços de reabilitação.

A relevância do tema não é restrita somente ao Brasil. De acordo com análises sobre a *World Health Survey* (Pesquisa Mundial de Saúde) apontadas em WHO (2011), em relação ao domínio *deslocar-se*, 5,9% dos respondentes da pesquisa realizada relataram possuir dificuldades severas (escore 4 de 5), e 1,3% relataram possuir extrema dificuldade de locomoção (escore 5 de 5, que inclui os que não conseguem realizar a tarefa), relativo a um público de 69 países (Brasil incluso).

Reconhecendo a necessidade de inclusão social e a relevância dos impactos da deficiência no Brasil, o poder público tem trabalhado em políticas públicas para tratar do tema. A I Conferência Nacional dos Direitos da Pessoa com Deficiência, ocorrida em 2006, definiu três eixos temáticos para discutir e apresentar propostas: Eixo Saúde e Reabilitação, Eixo Acessibilidade e Eixo Educação e Trabalho. A II Conferência Nacional dos Direitos da Pessoa com Deficiência, ocorrida em 2008, propôs ações resultantes do debate entre governo e sociedade civil. Os avanços nestas ações podem ser consultados em *Secretaria Nacional de Promoção dos Direitos da Pessoa com Deficiência - SNPD (2012a)*, muitos deles decorrentes do *Plano Nacional dos Direitos da Pessoa com Deficiência (Secretaria Nacional de Promoção dos Direitos da Pessoa com Deficiência - SNPD (2013))*. A III Conferência Nacional dos Direitos da Pessoa com Deficiência resulta em várias propostas aprovadas conforme *Secretaria Nacional de Promoção dos Direitos da Pessoa com Deficiência - SNPD (2012b)*.

A IV Conferência Nacional dos Direitos da Pessoa com Deficiência articulou sugestões de ações estratégicas ao poder executivo, organizadas por diretriz e pertencentes a três eixos: I - Gênero, raça e etnia, diversidade sexual e geracional; II - Órgãos gestores

e instâncias de participação social; III - A interação entre os poderes e os entes federados. O conteúdo destas sugestões pode ser consultado em [Secretaria Nacional de Promoção dos Direitos da Pessoa com Deficiência - SNPDP \(2016\)](#).

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) instituiu o Programa de Apoio à Pós-Graduação e à Pesquisa Científica e Tecnológica em Tecnologia Assistiva no Brasil (PGPTA), visando o fomento destas pesquisas e a formação de pessoal capacitado nesta área, além da cooperação entre instituições. Através do Edital 59/2014 - Tecnologia Assistiva, selecionou 15 projetos voltados a tecnologias assistivas nas universidades brasileiras em 2015 ([Edital... \(2014\)](#)).

Ainda há muitos desafios a serem superados tanto na implementação de políticas públicas voltadas ao tema como na criação de soluções tecnológicas que avancem na inclusão e na melhoria da qualidade de vida das pessoas com deficiência. Relatório de acompanhamento do Tribunal de Contas da União (TCU), através de auditoria, mostra nível de maturidade avançado na institucionalização do Plano Viver sem Limite, porém aponta níveis intermediários de maturidade referentes a Planos, Objetivos, Monitoramento e Avaliação, conforme [Tribunal de Contas da União \(2018\)](#). Sendo assim, pode-se observar que houve grandes avanços na articulação de ações governamentais, em diferentes esferas (pesquisa inclusa) ao longo dos anos, mas ainda há bastante progresso a ser feito.

Em relação a mobilidade, vários esforços de pesquisa têm sido feitos no sentido de possibilitar novamente a locomoção independente de indivíduos com tetraplegia. Cadeiras de Rodas Robóticas e Exoesqueletos são alguns dos itens de pesquisa que têm se destacado na literatura, como pode ser verificado em revisões da literatura de [Leaman e La \(2017\)](#) e [Chaparro-Cárdenas et al. \(2018\)](#).

Entretanto, fora do âmbito de pesquisa este público ainda não é atendido pelas soluções tecnológicas atuais. Pessoas com restrição de mobilidade e que também não possuem movimentação dos braços não são atualmente contempladas com soluções convencionais que possam devolver parte de sua independência, necessitando de equipamentos especializados de alto custo. Adicionalmente, indivíduos com doenças progressivas podem eventualmente perder suas capacidades motoras nos membros superiores e necessitar de Cadeiras de Rodas Motorizadas (CRMs) especiais (também de elevado custo), podendo perder sua independência de locomoção caso não possam arcar com estes custos.

Há grande necessidade no mundo todo por tecnologias assistivas. Entretanto, mesmo com essa grande necessidade, apenas uma em cada dez pessoas tem acesso a estas tecnologias ([WHO \(2020a\)](#)). Dado esse contexto, a OMS estabeleceu uma iniciativa global, denominada GATE (Global Cooperation on Assistive Technology, ou Iniciativa Global em Tecnologia Assistiva). Ela possui um único objetivo: aprimorar o acesso a produtos assistivos de custo acessível e de alta qualidade globalmente, focando em cinco áreas interligadas (5Ps): pessoas, políticas, produtos, provisões e pessoal ([WHO \(2020c\)](#)), como

mostrado na Figura 1.

Figura 1 – OMS 5Ps GATE logo



Fonte: (WHO, 2020d)

1.1 Motivação

Pesquisas populacionais como a PNS e relatórios mundiais como o World Report on Disability da OMS evidenciam a crescente relevância do tema deficiência, com população significativa enfrentando dificuldades severas nas atividades de sua vida diária. Com isso, o esforço de políticas públicas para inclusão de pessoas com deficiência é crescente, assim como o esforço científico na busca por novas tecnologias assistivas. Iniciativas de ampliação de acesso a TAs e pesquisas visando a resolução de problemas complexos ganham cada vez mais espaço nas agendas de governos, órgãos internacionais e no debate público em geral.

O envelhecimento populacional também torna relevante o estudo sobre tecnologias assistivas, uma vez que essa parcela da população pode vivenciar a deficiência com o passar dos anos e, desta forma, intensificar a necessidade por estas tecnologias. Existem muitos tipos de produtos assistivos, cada um destinado a atender uma parcela dos usuários com deficiência, solucionando parcial ou totalmente suas necessidades de auxílio em busca de um cotidiano mais independente. A Cadeira de Rodas Motorizada (CRM) é um dos produtos assistivos de destaque nas tecnologias assistivas para mobilidade, criando a possibilidade de locomoção independente para seus usuários ((Ding; Cooper, 2005)).

Entretanto, nem todas as pessoas com deficiência que precisam de auxílio de mobilidade conseguem operar uma CRM. Uma parte dos indivíduos com tetraplegia não dispõe de condições de manusear um joystick, uma vez que não contam com os movimentos dos membros superiores, além de não deterem os movimentos dos membros inferiores ((Thorp et al., 2016)). Desta forma, na impossibilidade de operar uma CRM convencional e readquirir algum nível de independência de mobilidade, muitas vezes precisam recorrer a

soluções customizadas de alto custo ou necessitam de outras pessoas para auxiliá-los no seu dia a dia.

1.2 Definição do Problema

O acesso a tecnologias assistivas depende em grande parte de seu custo e não somente de sua disponibilidade. Indivíduos com tetraplegia ainda não estão contemplados com soluções de mobilidade de custo acessível que lhes devolva parte de sua independência em suas atividades diárias. Além disso, pessoas com doenças progressivas podem gradualmente perder a habilidade de condução de uma CRM, necessitando de equipamentos novos e especializados, além de perder o seu equipamento anterior.

Existem diferentes modelos de CRM ((Ding; Cooper, 2005)) e diferentes modelos de Joystick (Cooper et al., 2000), cada um adequado ao seu próprio modelo de equipamento, muitas vezes não intercambiáveis. Adaptar uma CRM pode ser um trabalho custoso, pois dependeria de intervenções no projeto do equipamento, que além de não garantidas ou aprovadas pelo fabricante, necessitariam ser realizadas por pessoal especializado. Cadeiras especializadas para comandos alternativos tornam-se então de alto custo, inacessíveis para uma grande parte de seu potencial público de usuários.

Deste modo, como tornar CRMs convencionais em CRMs adaptadas a comandos alternativos de maneira acessível e sem interferir em seu projeto? Este trabalho vem ao encontro desta questão, buscando o desenvolvimento de tecnologia assistiva que possa ampliar o acesso às CRMs a um público atualmente não atendido por estes equipamentos, ao mesmo tempo em que se mantenha dentro de faixa de custo acessível.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

O Objetivo Geral deste trabalho é desenvolver um atuador capaz de acionar o Joystick de uma CRM de maneira a torná-la acessível também a pessoas com deficiência que não conseguem realizar essa tarefa.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Desenvolver mecanismo de atuação de manípulo de Joystick;
- Desenvolver mecanismo de atuação de botões de Joystick;
- Desenvolver circuito de acionamento dos motores dos mecanismos;

- Desenvolver interface gráfica acionada por cursor e clique, software de comando dos motores e comunicação entre interface e software de comando;
- Prototipar mecanismos em manufatura aditiva e testar seu funcionamento.

1.3.3 Estrutura da Dissertação

A estrutura da Dissertação de Mestrado aqui apresentada está organizada em 6 capítulos. O capítulo 2 contém a fundamentação teórica deste trabalho, englobando uma revisão da tetraplegia e suas causas, tecnologias assistivas, breve revisão da literatura sobre pesquisas com cadeira de rodas inteligentes e braços robóticos montados em cadeira de rodas. Ao final do capítulo 2, apresenta-se uma revisão dos dispositivos de controle de CRMs percorrendo desde os tradicionais joysticks até controles alternativos e dispositivos manipuladores de joystick. O capítulo 3 apresenta o dispositivo desenvolvido e explica o seu funcionamento. O capítulo 4 exhibe os resultados alcançados. O capítulo 5 discute estes resultados e o capítulo 6 indica as conclusões derivadas do desenvolvimento e dos resultados do trabalho além de apontar as limitações e direcionar estudos futuros.

2 Fundamentação Teórica

A fundamentação teórica contida neste capítulo aborda brevemente o tema Tetraplegia, suas causas, incidência no Brasil, e qualidade de vida associada ao uso de Tecnologias Assistivas. Em seguida, o tema de Tecnologias Assistivas é abordado de forma mais ampla, citando seu contexto na regulamentação brasileira e aspectos normativos relacionados a suas classificações e terminologias. O tema de Desenho Universal também é abordado, incluindo um breve histórico sobre a criação do termo e enumerando seus princípios e sua importância em relação à Acessibilidade e Tecnologias Assistivas. Novas tendências em pesquisa são apresentadas nos temas de Cadeira de Rodas Inteligentes ("Smart Wheelchairs") e Braços Robóticos Montados em Cadeiras de Rodas. Ao fim, uma revisão dos dispositivos utilizados para controle da navegação de CRM é realizada.

2.1 Tetraplegia ou Quadriplegia

Segundo [Kirshblum et al. \(2011\)](#), Tetraplegia ou Quadriplegia é definida como diminuição ou perda motora e/ou de função sensorial nos segmentos cervicais na medula espinhal causado por danos aos elementos neurais do canal espinhal. De acordo com [Wohlauer, Conner e Beauchamp \(2012\)](#) pode ter múltiplas origens conforme abaixo:

- Lesão traumática na medula espinhal (causa mais comum);
- Congênita: Doença de Werdnig-Hoffman (Atrofia Muscular Espinhal Tipo I), estenose cervical, estenose espinhal, siringomielia (malformação de Arnold-Chiari);
- Adquirida: Neoplasma, esclerose múltipla, hérnia discal, artrite reumatóide, osteoartrite, esclerose lateral amiotrófica, espondilite anquilosante;
- Metabólica: Intoxicação por tálcio, mielinólise pontina central, doença sistêmica combinada (deficiência de vitamina B12), doença de descompressão;
- Infeciosa: Abscesso intramedular, mielite transversa, poliomielite;
- Vascular: infarto pontomedular agudo (síndrome do enclausuramento), infarto medular (síndrome da artéria espinhal anterior, malformação vascular, mielopatia após irradiação), hematoma epidural.

O coeficiente de incidência de lesão medular no Brasil foi estimado por [Masini \(2018\)](#) em 71 novos casos por 1 milhão de habitante/ano, acima da estimativa média

mundial, reforçando a importância de medidas de prevenção, reabilitação e melhoria da qualidade de vida destas pessoas.

O diagnóstico é realizado por exame neurológico de acordo com a padronização internacional estabelecida pela American Spinal Injury Association - ASIA (disponível em <https://asia-spinalinjury.org/wp-content/uploads/2016/02/International_Std_Diagram_Worksheet.pdf>).

Ela segue etapas em sua classificação, citadas brevemente a seguir:

1. Determinar níveis de sensibilidade para os lados direito e esquerdo;
2. Determinar níveis motores para os lados direito e esquerdo;
3. Determinar o nível neurológico da lesão;
4. Determinar se a lesão é completa ou incompleta;
5. Determinar o nível da Escala de Restrições da ASIA (ASIA Impairment Scale, AIS).

De acordo com (SAÚDE, 2015) exames complementares de radiografia ântero-posterior e perfil da coluna (nível ósseo da lesão), tomografia computadorizada (lesão óssea - melhor avaliação que radiografia) e ressonância magnética (quando há discrepância entre o exame neurológico e os exames de radiografia e tomografia, dentre outras indicações) também devem ser realizados para um melhor diagnóstico da lesão medular.

Bromley (2006) menciona que o maior objetivo da reabilitação é possibilitar o maior nível de independência, equilíbrio e controle que a lesão do paciente permita. Isso é atingido por reeducação e o uso máximo de cada músculo sobre o qual o paciente tenha controle. Além de restabelecer o máximo nível de função e independência, é importante focar na qualidade de vida dos indivíduos com lesão medular.

Mesmo sendo um tema difícil e de diferentes percepções entre indivíduos, instrumentos de avaliação da qualidade de vida vêm sendo desenvolvidos e usados em diferentes situações. O World Health Organization Quality of Life (WHOQOL-bref) é aplicado por Fleck et al. (2000), sendo um instrumento derivado do World Health Organization Quality of Life-100 (WHOQOL-100) para ser utilizado como instrumento de avaliação e comparação de resposta a diferentes intervenções, em relação a serviços de saúde, em pesquisas e na avaliação de políticas de saúde. Ele possui 26 questões (em contraste com as 100 questões do WHOQOL-100), e já foi avaliado em Kluthcovsky e Kluthcovsky (2009), sendo considerado adequado como instrumento de avaliação tanto de populações com algum tipo de doença como em populações hígdas, além de ter experimentado progressivo crescimento de seu uso.

O uso de tecnologias assistivas pode ser importante em atingir maiores níveis de qualidade de vida quando adequadamente utilizado, conforme estudo realizado por [Baldassin et al. \(2018\)](#). Neste estudo, conduzido com 100 pacientes com tetraplegia, é possível observar que usuários de Tecnologia Assistiva (TA) de acesso a computadores obtiveram médias mais altas de qualidade de vida quando comparados a não usuários relacionados aos domínios físico e psicológico do WHOQOL-bref, evidenciando assim o importante papel da TA para a qualidade de vida de indivíduos com tetraplegia.

2.2 Tecnologia Assistiva

A Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Estatuto da Pessoa com Deficiência), Lei Nº 13.146 de julho de 2015 estabelece que:

III - tecnologia assistiva ou ajuda técnica: produtos, equipamentos, dispositivos, recursos, metodologias, estratégias, práticas e serviços que objetivem promover a funcionalidade, relacionada à atividade e à participação da pessoa com deficiência ou com mobilidade reduzida, visando à sua autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social; [BRASIL \(2002\)](#)

A regulamentação brasileira segue a tendência internacional de considerar como Tecnologia Assistiva tanto produtos quanto serviços, como, por exemplo, a definição formal norte-americana de TA ou a definição da OMS. A OMS, em seu website da iniciativa GATE faz uma distinção importante entre Tecnologia Assistiva e Produto Assistivo. A Tecnologia Assistiva é descrita como um termo guarda-chuva que engloba sistemas e serviços relacionados à entrega de produtos assistivos e serviços. Já Produtos Assistivos diz respeito aos dispositivos destinados a manter ou melhorar funções e independência dos indivíduos, promovendo seu bem-estar ([WHO, 2020b](#)).

A *International Standards Organization*(ISO) desenvolveu uma norma para definir classificações e terminologia de produtos assistivos, a ISO 9999. Ela foi aceita como membro relacionado da *WHO Family of International Classifications (WHO-FIC)* em 2003 e faz uso da Classificação Internacional de Funcionalidade (CIF) da OMS.

A ISO 9999 ([ISO, 2016](#)) define classes de equipamentos assistivos dentro de terminologia que os classifica baseando-se na sua função, com três níveis hierárquicos (classes, subclasses e divisões). Algumas de suas classes com seus respectivos códigos são exemplificadas abaixo:

04 Produtos Assistivos para tratamento médico pessoal;

05 Produtos Assistivos para treinamento de habilidades;

06 Órteses e próteses;

- 09 Produtos Assistivos para cuidados pessoais e proteção;
- 12 Produtos Assistivos para mobilidade pessoal;
- 15 Produtos Assistivos para limpeza e organização da casa;
- 18 Móveis e adaptações de lares e outras instalações;
- 22 Produtos Assistivos para comunicação e informação;
- 24 Produtos Assistivos para manuseio de objetos e dispositivos;
- 27 Produtos Assistivos para melhoria do ambiente, ferramentas, e maquinário industrial;
- 30 Produtos Assistivos para recreação.

A classificação de produtos assistivos de mobilidade pessoal, de especial interesse a este trabalho, possui as subclasses abaixo:

12 Produtos Assistivos para mobilidade pessoal

- 12 03 Auxiliares de marcha manuseados com um braço;
- 12 06 Auxiliares de marcha manuseados com os dois braços;
- 12 07 Acessórios para auxiliares de caminhada;
- 12 10 Carro de passageiros, vans e transportes gerais;
- 12 11 Veículos de transporte coletivo;
- 12 12 Acessórios e adaptações para veículos;
- 12 16 Ciclomotores e motocicletas;
- 12 17 Veículos motorizados alternativos;
- 12 18 Bicicletas e scooters;
- 12 22 Cadeiras de rodas manuais;
- 12 23 Cadeiras de rodas motorizadas;
- 12 24 Acessórios para cadeiras de rodas;
- 12 27 Dispositivos alternativos de direção movidos manualmente;
- 12 31 Auxiliares de transferência, aparelhos para virar;
- 12 36 Auxiliares para levantar pessoas (guincho);
- 12 39 Sinalização.

Para exemplificar o terceiro nível hierárquico, citam-se abaixo em detalhes algumas Cadeiras de Rodas Motorizadas (CRMs):

12 23 Cadeira de Rodas Motorizada

Auxiliar de mobilidade motorizado com suporte para pessoas com habilidade limitada de marcha. Estão inclusas Cadeiras de Rodas Motorizadas do tipo Stand-Up, Cadeira de Rodas Motorizadas reclináveis assim como Cadeiras de Rodas Motorizadas com função ‘tilt-in-space’ (inclinação no espaço).

12 23 03 Cadeiras de rodas motorizadas com direção manual

Cadeiras de rodas com motor elétrico, em que a mudança de direção se dá por meio de uma mudança mecânica na posição da(s) roda(s) motora(s) sem auxílio de força

12 23 06 Cadeiras de rodas motorizadas com direção hidráulica

Cadeiras de rodas com motor elétrico em que a mudança de direção (direção) é assistida

12 23 15 Cadeiras de rodas com função de subir escadas

Cadeiras de rodas motorizadas que podem subir degraus com segurança enquanto são ocupadas e operadas por uma pessoa

Todos estes itens e os demais podem ser encontrados na norma ISO 9999 de produtos assistivos (ISO, 2016).

2.2.1 Desenho Universal

A incorporação de atributos de produtos originalmente destinados ao público com deficiência aos produtos destinados ao público em geral é antiga. Um exemplo foi a invenção de uma máquina de escrever criada originalmente para uma mulher com deficiência visual (JOHNK, 2015).

Em Cook, Polgar e Encarnação (2020) foi feita uma tabela de produtos derivados de tecnologia assistiva que é parcialmente reproduzida na Tabela 1.

Tabela 1 – Produtos e Tecnologias de amplo uso derivados de Tecnologia Assistiva

Tecnologia	Uso Assistivo	Uso Geral
Legenda Oculta	Tradução textual de voz e sons da TV para pessoas com deficiência auditiva	Televisores em salões e academias de ginástica
Reconhecimento de Voz	Entrada por texto para aqueles que não podem usar as mãos para escrever no teclado	Qualquer pessoa que queira escrever texto mais rápido do que tecla; muito usado por advogados; menus telefônicos
Síntese de Fala	Discurso ou fala gerado por computador usado na comunicação daqueles que não podem falar com suas próprias vozes	Menus telefônicos; vários aplicativos onde é fornecido retorno verbal
Preditor de palavras	Entrada veloz de texto para aqueles que não podem usar as mãos para digitar no teclado	Usado em toda parte desde planilhas até software de aprendizado de linguagem. Recursos de completar palavras e prever palavras ajudam todos a teclar mais rapidamente

Fonte – (COOK; POLGAR; ENCARNAÇÃO, 2020)

Outro exemplo interessante que demonstra que quando as necessidades de todas as pessoas (incluindo as com deficiência) é levada em consideração acarreta em melhores produtos é o da empresa Oxo. Ela criou vários produtos com este princípio em mente (Center for Universal Design, College of Design, North Carolina State University, 2008), e um dos notórios casos é o do descascador de vegetais mostrado na Figura 2.

Figura 2 – Descascador de vegetais Oxo



Fonte:(HOLLER, 2010)

O desenho universal preconiza o projeto de produtos e ambientes que sejam utilizáveis por pessoas de todas as idades e habilidades, o mais amplamente possível e sem buscar adaptações extras ou projetos especiais. Uma de suas vantagens é tornar menos estigmatizante a experiência da pessoa com deficiência e evitar segregação desnecessária ao incorporar todas as pessoas nas considerações de projeto (STORY, 1998).

O termo foi criado pelo arquiteto Ron Mace (1941-1998), que era cadeirante e respirava com auxílio de aparelho. Ele, juntamente com outros arquitetos, estabeleceu os sete princípios do desenho universal (MACE; HARDIE; PLACE, 1991):

- Uso Equitativo/Igualitário

O desenho/projeto/produto é útil e comercializável a pessoas com habilidades

diversas.

- **Flexibilidade no Uso**
O desenho/projeto/produto acomoda ampla gama de preferências individuais e habilidades.
- **Simples e de Uso Intuitivo**
Utilização do desenho/projeto/produto é fácil de compreender, independentemente da experiência do usuário, conhecimento, habilidades de linguagem, ou nível atual de concentração
- **Informação Perceptível**
O desenho/projeto/produto comunica informações necessárias ao usuário de maneira efetiva, independentemente das condições do ambiente ou das habilidades sensoriais do usuário
- **Tolerância ao Erro**
O desenho/projeto/produto minimiza riscos e consequências adversas decorrentes de uso acidental.
- **Pequeno Esforço Físico**
O desenho/projeto/produto pode ser usado eficientemente e confortavelmente e com mínima fadiga.
- **Tamanho e Espaço para Aproximação e Uso**
Tamanho e espaço apropriados para aproximação, alcance, manipulação, e uso independente do tamanho corporal do usuário, postura, ou mobilidade.

Ainda assim, reconhece-se que nem sempre é possível abarcar todas as pessoas na criação de um produto ou ambiente. O projeto universal, ainda assim, deve nortear a criação de tecnologias assistivas e produtos assistivos para torná-los mais efetivos e aumentar suas chances de sucesso.

2.2.2 Cadeiras de Rodas Inteligentes

Cadeiras de Rodas Inteligentes (CRIs) são Cadeiras de Rodas Motorizadas (CRMs) equipadas com sensores, computadores e tecnologias assistivas. Elas têm se mostrado uma tendência na pesquisa atual de CRMs e devem, idealmente, possuir um sistema inteligente que seja facilmente removível de uma cadeira a outra, o que é especialmente importante para crianças, uma vez que elas mudam de equipamento várias vezes durante seu crescimento. (LEAMAN; LA, 2017).

As CRIs podem ser agrupadas e comparadas com base nas tecnologias utilizadas, como métodos de entrada (forma de comando), modos de operação, etc. Métodos de entrada

adequados são geralmente específicos para cada usuário, e a pesquisa em CRIs denota uma grande variedade de opções (diferentes sensores/métodos) em estudo e estratégias (multimodal/controle compartilhado/controle convencional) (LEAMAN; LA, 2017).

A Tabela 2 lista alguns métodos de entrada utilizados em CRIs:

Tabela 2 – Métodos de Entrada/Comando em Cadeira de Rodas Inteligente

Método	Descrição	Referência
Biometria	Controle compartilhado baseado em valores de variáveis determinadas por parâmetros biométricos (oxímetro de pulso)	(FERNANDEZ-CARMONA et al., 2009)
Interface Cérebro-Máquina	Interface Cérebro-Máquina utilizando potenciais evocados visuais de regime permanente	(DIEZ et al., 2013)
Visão Computacional	Abordagem de controle baseado em visão computacional para navegação autônoma de Cadeira de Rodas Inteligente	(SERMENO-VILLALTA; SPLETZER, 2006)
Controle de Jogo	Controle da CRM usando o controle Wiimote da Nintendo para investigar formas mais intuitivas de controle	(ASHRAF; GHAZALI, 2011)
Feedback Tátil	Sistema de controle da CRM com feedback tátil (feedback por força)	(HADJ-ABDELKADER; BOURHIS; CHERKI, 2012)
Multimodal	Interface multimodal de controle da CRM (voz, expressões faciais, rastreamento de cabeça e joystick); comando dado por sequência de instruções multimodo (p.ex.voz+joystick+expressão facial)	(REIS et al., 2015)

Fonte – (LEAMAN; LA, 2017)

A Tabela 3 lista modos de operação de CRIs:

Tabela 3 – Modos de Operação Cadeira de Rodas Inteligente

Modo	Descrição	Referência
Aprendizado de Máquina	Navegação Semi-Autônoma, com desvio de obstáculos (sensores ultrassônicos) e controlada por movimento dos dedos (sensor flex) com uso de lógica fuzzy	(TYAGI; GUPTA; TYAGI, 2013)
Seguidor	Cadeira de Rodas Robótica que pode mover-se automaticamente ao lado do cuidador	(KOBAYASHI et al., 2012)
Localização e Mapeamento	Algoritmo de identificação de características da superfície de navegação usando Kinect e mapeamento por nuvem de pontos	(COCKRELL; LEE; NEWMAN, 2013)
Assistência de Navegação	Método de apontamento em espaço estreito baseado em planejamento de trajetória usando feedback de visão e navegação estimada	(REN et al., 2012)

Fonte – (LEAMAN; LA, 2017)

2.2.3 Braços Robóticos Montados em Cadeiras de Rodas

Com o avanço das pesquisas em diversas áreas do conhecimento, cada vez mais abrem-se novas possibilidades de aumento de independência para pessoas com deficiência. Os braços robóticos montados em cadeiras de rodas são uma nova categoria de pesquisa que envolve muitas áreas de conhecimento relacionadas a robótica, como reconhecimento de objetos, manipulação robótica, sistemas de controle e que abrem um leque de oportunidades para melhorar a interação com o ambiente dos usuários quadriplégicos.

Em (ZHONG et al., 2019) uma caneta laser é utilizada para facilitar a interação com os objetos usando um braço robótico Kinova Jaco[®], ilustrado na Figura 3.

Figura 3 – Braço robótico montado em Cadeira de Rodas KINOVA JACO[®]



Fonte:(ZHONG et al., 2019)

Em (PALSDOTTIR et al., 2019) uma prova de conceito é realizada para demonstrar o controle de um braço robótico assistivo (também um braço Kinova JACO®) por meio de movimento da língua, de forma remota, montado em uma cadeira de rodas.

Já em (SHAFII et al., 2017), buscou-se desenvolver as capacidades do braço robótico de completar as tarefas de localização, detecção de objetos, agarramento e manipulação.

Em (HAGENGRUBER; LEIDNER; VOGEL, 2017), uma plataforma de pesquisa usando uma interface de eletromiografica de superfície (sEMG, surface electromyography) é utilizada para o controle de um braço robótico de torque controlado, chamada EDAN (do inglês EMG-controlled Daily Assistant, Figura 4). Trabalho adicional é realizado por (ISKANDAR et al., 2019) utilizando o EDAN, introduzindo conceitos de controle para execução de tarefas complexas (no caso a tarefa de abrir uma porta, atravessá-la e fechá-la ao final).

Figura 4 – Braço robótico montado em Cadeira de Rodas EDAN



Fonte: (ISKANDAR et al., 2019)

É possível observar que cada vez mais progresso tem sido alcançado em permitir maior independência para pessoas com deficiências severas, especialmente com desenvolvimento da robótica. Novas tecnologias assistivas vêm surgindo e os desafios estão não somente em permitir a execução de determinadas tarefas, como também realizá-las de maneira eficiente, de modo a serem utilizáveis e não gerarem frustração, ou ainda, evitar causar acidentes.

2.2.4 Dispositivos de controle de cadeira de rodas motorizada

Nesta seção serão abordados diferentes dispositivos utilizados no controle de CRMs com presença comercial e também provenientes da literatura.

2.2.4.1 Joysticks e controles tradicionais

São a interface mais comum de CRMs e podem vir com diferentes opções e tipos. Um dos modelos mais utilizados nas CRMs registradas na ANVISA é o modelo VR2 (Figura 5), da empresa Penny & Giles Drives Technology, que possui patente de sua tecnologia de joystick (GB2381675B/GB2390943B/US6593711B2).

Figura 5 – Joystick de CRMs modelo VR2



Fonte: (Curtiss-Wright Corporation, 2019)

Eles podem vir em diferentes posições, incluindo posições onde o movimento da cadeira é comandado pelo cuidador, como pode ser visto na figura 6, atrás do assento próximo ao apoio de cabeça.

Figura 6 – CRM Invacare com joystick para cuidador



Fonte: (Invacare International GmbH, 2018)

2.2.4.2 Controle mentoniano

O controle mentoniano é um controle por joystick onde o usuário, através dos movimentos do músculo mental (queixo) realiza o movimento do manípulo para navegação da CRM conforme pode ser observado na figura 7.

Figura 7 – Controle mentoniano para CRM



Fonte: (NUMOTION, 2020)

2.2.4.3 Controle por movimento labial

Similar ao controle mentoniano, o manípulo que controla a CRM é posicionado de maneira a ser movido pelos lábios do usuário, permitindo assim a navegação da CRM (Figura 8).

Figura 8 – Controle por movimento labial



Fonte: (Ottobock SE & Co. KGaA, 2017)

2.2.4.4 Controle por movimento da cabeça

Controle da CRM por meio de movimentos da cabeça pode ser realizado utilizando diferentes estratégias. Como exemplos podemos citar o uso de botões que são posicionados próximo à cabeça do usuário para serem ativados e permitir a navegação da CRM, o uso de sensores de proximidade em arranjo similar ao dos botões, o uso de sensores inerciais, dentre outras estratégias (Figura 9).

Figura 9 – Controle por movimento da cabeça



Fonte: ([NowTechnologies Ltd, 2019](#))

2.2.4.5 Controle por sopro e sucção

Outra alternativa de controle de CRM são as interfaces de controle por sopro e sucção. Estas interfaces são capazes de reconhecer se o usuário está soprando ou sugando, e também podem distinguir níveis de força ao se realizar o sopro ou a sucção. No entanto, durante o uso elas podem ocasionar cansaço ao usuário e abordagens de adaptação como em [Mougharbel et al. \(2013\)](#) têm sido usadas para reduzir o número de comandos necessários para se realizar o trajeto e evitar assim fadiga do usuário.

Figura 10 – Interface sopro e sucção



Fonte: ([Permobil AB, 2020](#))

Figura 11 – Controle por sopro e sucção

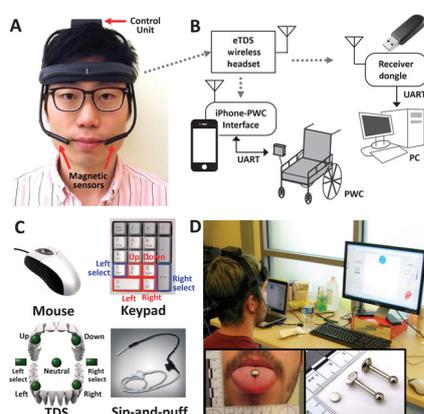


Fonte: ([Mougharbel et al., 2013](#))

2.2.4.6 Controle por movimento da língua

Outro método de controle de CRM encontrado na literatura é aquele realizado por meio do movimento da língua. Em [Kim et al. \(2013\)](#), um sistema denominado Tongue Drive System (TDS) é responsável por movimentar a CRM. O usuário movimenta a língua, que possui um piercing magnético estilo barra feito de titânio. Sensores magnéticos medem o campo magnético gerado e os comandos são gerados quando o usuário move a língua para posições predefinidas. Os sinais dos sensores são transmitidos para um smartphone ou PC, onde são processados para determinar sua posição em tempo real e fazer a equivalência com os comandos predefinidos pelo usuário.

Figura 12 – Controle por movimento da língua
Tongue Drive System (TDS)



A: arranjo de sensores magnéticos. B: esquemático do sistema. C: interfaces comparadas ao TDS. D: detalhes do piercing magnético.

Fonte: ([KIM et al., 2013](#))

2.2.4.7 Controle por rastreamento do olhar

O rastreamento do olhar, tecnologia que realiza sensoriamento e mensura o movimento dos olhos, tem sido utilizada em diversas aplicações, onde pode-se destacar a implementação de método de controle sem a utilização das mãos. De acordo com [Stahl \(2014\)](#), atualmente o registro do movimento ocular concentra-se em quatro tecnologias: o eletro-oculograma (do inglês electrooculogram ou EOG), oculografia por reflexão infravermelha (do inglês infrared reflectance ou IRR), vídeo oculografia (do inglês video oculography ou VOG) e bobina de busca escleral (do inglês scleral search coil ou SSC). A literatura conta com exemplos como EOG em [Huang et al. \(2018\)](#) e VOG em [Rupanagudi et al. \(2019\)](#) e a Figura 13 ilustra um arranjo de VOG para controle de uma CRM.

Figura 13 – CRM controlada por vídeo oculografia



Fonte: (RUPANAGUDI et al., 2019)

2.2.4.8 Controle por Interface Cérebro Máquina

Interfaces Cérebro Máquina (ICM) têm sido frequente objeto de pesquisa e cada vez mais vêm sendo utilizadas no âmbito de tecnologias assistivas. De acordo com [Botti Benevides, Sarcinelli-Filho e Freire Bastos-Filho \(2020\)](#), interfaces cérebro-máquina são sistemas que utilizam a modulação voluntária da atividade neural para a transmissão de informações, estas podendo ser utilizadas tanto para controle como para comunicação. Elas podem utilizar diferentes paradigmas para efetuar o controle da CRM, como o paradigma de potencial evocado P300 ([HE et al., 2017](#)), paradigma de imagens motoras ([JIANG et al., 2014](#)), dentre outros paradigmas. O exemplo ilustrado na Figura 14 ([BASTOS-FILHO et al., 2014](#)) mostra uma CRM controlada por meio de uma ICM que utiliza o paradigma de potenciais evocados visuais de regime permanente (do inglês steady state visual evoked potential ou SSVEP).

Figura 14 – CRM controlada por ICM utilizando SSVEP



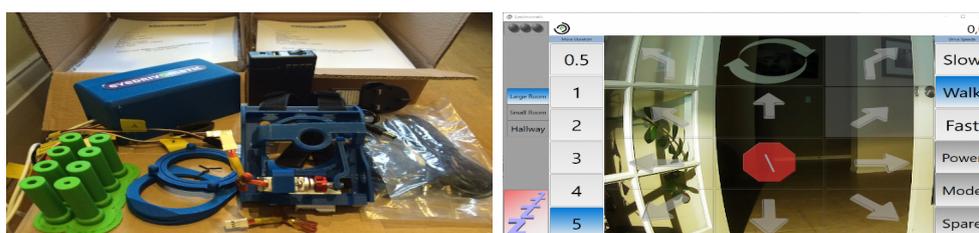
Fonte: (BASTOS-FILHO et al., 2014)

2.2.5 Dispositivos com manipulação de joystick

Nesta seção serão apresentados dispositivos de controle de CRM que manipulam o joystick utilizando mecanismos próprios.

2.2.5.1 Eyedrivoautomatic

O Eyedrivoautomatic (([EYEDRIVOMATIC, 2020](#))) é um dispositivo com uma proposta de controle de CRM utilizando módulos de hardware sem alterar a cadeira de rodas motorizada para conectar uma tecnologia existente de rastreamento do olhar (([Eyegaze Inc, 2020](#))), ao joystick, com o objetivo de movê-lo e assim controlar a navegação da CRM. Ele é formado por duas partes, o software que conecta-se ao sistema de rastreamento do olhar e a "mão eletrônica", um mecanismo do tipo *gimbal* que se encaixa sobre o joystick e o movimenta através do acionamento de servomotores. Controles adicionais da CRM são acionados por relés, como funções de inclinação do assento, modo de operação, dentre outros (([EYEDRIVOMATIC, 2018](#))). Nas figuras 15a e 15b podemos observar a "mão eletrônica" e a interface do software do Eyedrivoautomatic.



(a) Hardware do Eyedrivoautomatic

(b) Interface do Eyedrivoautomatic

Figura 15 – Hardware e software do Eyedrivoautomatic.

Fonte: ([EYEDRIVOMATIC, 2020](#))

A figura 16 ilustra o conjunto montado na CRM e em operação.

Figura 16 – Eyedrivoautomatic em operação numa CRM



Fonte: ([HACKADAY, 2015](#))

2.2.5.2 Wheelie

Segundo [Pinheiro, Pinheiro e Cardozo \(2017\)](#) o programa de computador Wheelie é um programa capaz de detectar expressões faciais e traduzi-las em comandos para controlar equipamentos, como CRMs ou veículos robóticos assistivos. A solução utiliza uma câmera 3D Intel® RealSense™, uma garra mecânica para manipular a alavanca do joystick (chamada de Gimme Robot), um computador de bordo Intel® NUC que realiza o processamento em tempo real, e uma Unidade de Medida Inercial (do inglês Inertial Measurement Unit ou IMU) com 9 graus de liberdade conectada a uma placa de desenvolvimento Arduino Nano, chamada de caixa de navegação, com a função de compensar possíveis desalinhamentos das rodas dianteiras e garantir movimento em linha reta (frente ou ré) quando selecionado. Cada expressão tem um valor de limiar relacionado que dispara o comando de navegação correspondente da CRM. (([PINHEIRO; PINHEIRO; CARDOZO, 2017](#))). A figura 17 ilustra o sistema montado em uma CRM.

Figura 17 – Wheelie montado em uma CRM



Fonte: ([HOBOX, 2020](#))

2.2.5.3 Outros dispositivos encontrados na literatura

Além dos dois dispositivos mencionados anteriormente (Eyedrivomatic e Wheelie), foram encontrados na literatura publicações envolvendo controle da CRM que fazem a manipulação do joystick. Na patente [Torres-Muniz et al. \(2014\)](#), um sistema universal de navegação por gatilho simples pode ser encaixado em qualquer joystick de CRM e controlado por meio de dispositivos do tipo gatilho simples (por exemplo chaves acionadas por sopro, chaves acionadas por piscada do olhar, chaves EMG) disponíveis para pessoas com deficiência. Ele é composto por duas partes principais, uma unidade de controle e uma unidade de atuação. A unidade de controle pode ser ligada a qualquer dispositivo do tipo gatilho simples para selecionar a função desejada mostrada num arranjo de led ou outro display similar, que mostra opções disponíveis para seleção por varredura com tempo

predeterminado. A unidade de atuação, montada sobre o joystick, realiza a movimentação do manípulo de acordo com a seleção do usuário através do acionamento de um ou dos dois motores que compõem o dispositivo. A figura 18 ilustra a unidade de atuação e o arranjo de LEDs da unidade de controle.

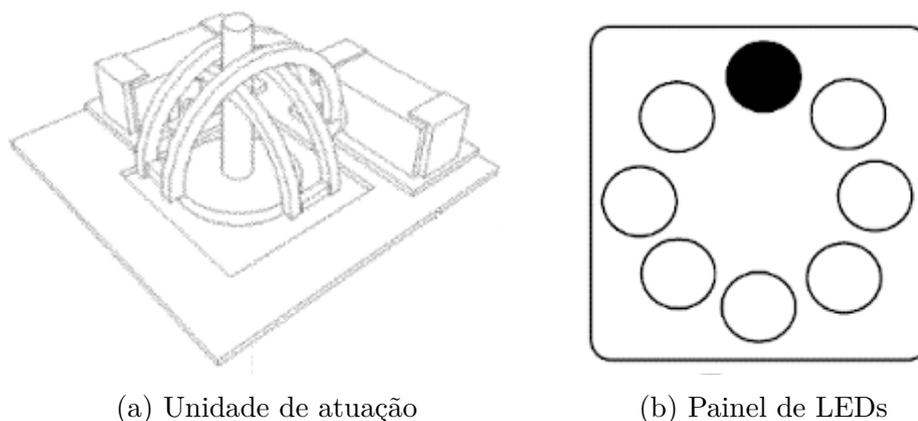


Figura 18 – Principais partes do dispositivo da patente US 8,622,166 B1.

Fonte: (TORRES-MUNIZ et al., 2014)

Em Pajkanovic e Dokic (2013), apresenta-se um sistema microcontrolado que permite o controle da CRM através de movimento da cabeça. Ele é composto por uma placa com acelerômetro que mede as movimentações da cabeça, uma placa microcontrolada com software de reconhecimento dos movimentos e que controla um atuador mecânico, que por sua vez movimenta o manípulo do joystick através do acionamento de servomotores. A figura 19a mostra o protótipo em alumínio feito para controlar o joystick e a figura 19b apresenta o sistema montado na CRM.

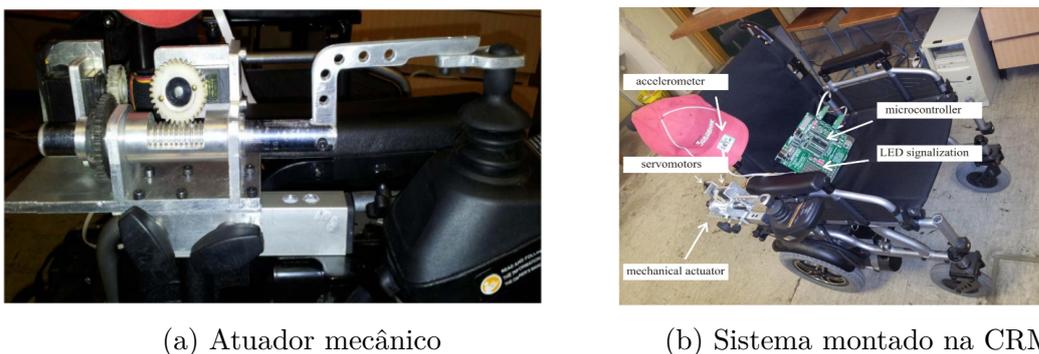


Figura 19 – Sistema microcontrolado para controle de CRM por movimento de cabeça

Fonte: (PAJKANOVIC; DOKIC, 2013)

Em Ishii e Konishi (2016) a solução apresentada para controle da CRM utiliza eletromiografia de superfície (do inglês surface electromyogram ou sEMG) em quatro músculos para distinguir sete padrões de navegação: parar, frente, ré, direita, esquerda, ré direita, ré esquerda. Os sinais dos sensores sEMG são enviados para um conversor

analógico/digital, que envia o sinal convertido para um laptop, que fará o processamento do sinal através do software MATLAB/Simulink. O dispositivo de controle que movimenta o manípulo, equipado com encoder, é controlado para atingir o ângulo de controle fazendo uso de controladores PID (proporcional integral derivativo). A leitura do encoder realimenta o sistema de controle com o ângulo medido. Esse dispositivo de controle é composto por um mecanismo de movimentação do manípulo, motores DC e uma base que se encaixa sobre o joystick. A figura 20a apresenta o mecanismo e a figura 20b ilustra o sistema utilizado em Ishii e Konishi (2016).

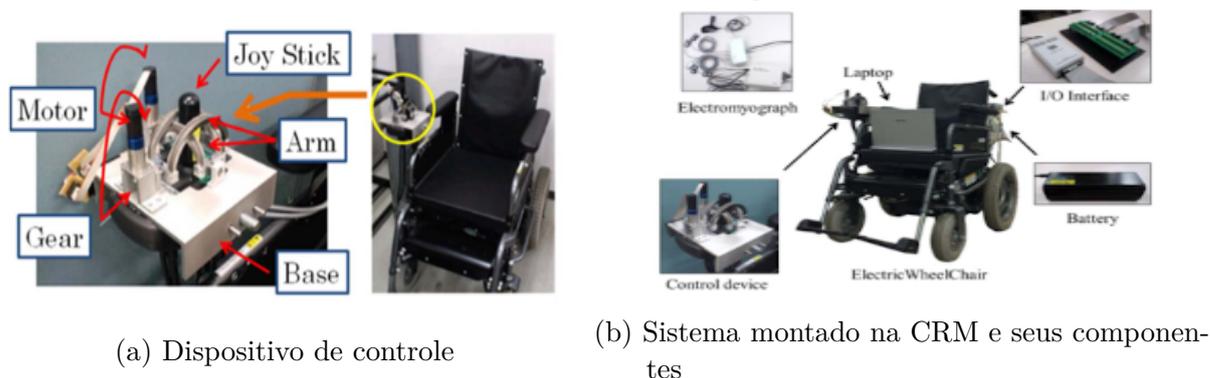


Figura 20 – Sistema para controle de CRM por sEMG

Fonte: (ISHII; KONISHI, 2016)

2.2.6 Considerações Finais

Neste capítulo, a fundamentação teórica exposta serviu para revisão sobre as múltiplas causas da tetraplegia, sobre aspectos regulatórios ligados a tecnologia assistiva, o princípio norteador do desenho universal como boa prática de projeto de tecnologias em geral e TAs em particular, uma breve revisão da literatura sobre cadeiras de rodas inteligentes e braços robóticos montados em CRMs, e principalmente para revisão de produtos assistivos destinados ao controle de uma CRM. Existe uma variedade grande de opções tanto comerciais quanto provenientes da literatura para fornecer mobilidade a pessoas com deficiência que não podem utilizar um joystick com os braços. Essa revisão permitiu conhecer boa parte destas opções e suas limitações, que são de diferentes tipos como por exemplo número de opções de controle oferecidas ou complexidade do sistema. Destaca-se ainda os dispositivos que são montados sobre o joystick das CRMs por permitirem sua utilização sem realizar grandes intervenções na CRM original e permitir sua utilização independente de configurações de fabricante em relação ao comando dos motores (fabricantes podem configurar tensões de acionamento dos motores diferentes entre si por exemplo), mantendo-se em relação a este aspecto as características originais da CRM.

3 Materiais e Métodos

3.1 Prova de Conceito

Segundo a NSF ([The National Science Foundation \(2013\)](#)), uma prova de conceito é a realização de certo método ou ideia para verificar seus parâmetros, sejam eles científicos ou tecnológicos. Ela deve ser entendida suficientemente de maneira que um protótipo funcional de seguimento possa ser projetado e suas potenciais áreas de aplicação possam ser identificadas. A prova de conceito pode ser usada para além de ambientes científicos e tecnológicos. Até para estabelecer boas práticas de negócio e importantes mudanças a serem feitas no mercado, executam-se provas de conceito para demonstrar a viabilidade de tais mudanças. Um exemplo disso é fornecido em ([ANDERSON; SIMESTER, 2011](#)), onde uma cadeia de lojas de conveniência executa uma prova de conceito para deslocar a demanda de produtos nacionais para sua marca própria através de política de preços e verificar a viabilidade de tal mudança.

Para estabelecer a viabilidade e validar parâmetros deste projeto, será realizada uma prova de conceito, predefinida, de modo a testar o conjunto do mecanismo Universal de Acionamento de Cadeira de Rodas Motorizada, MUA-CRM (hardware e software), em relação aos seus requisitos:

- Ser capaz de selecionar 8 direções (4 básicas acrescidas das diagonais) do manípulo;
- Ser capaz de acionar todos os botões do Joystick individualizadamente;
- Ter custo acessível (comparado ao custo da CRM);
- Ser utilizável sem o uso das mãos.

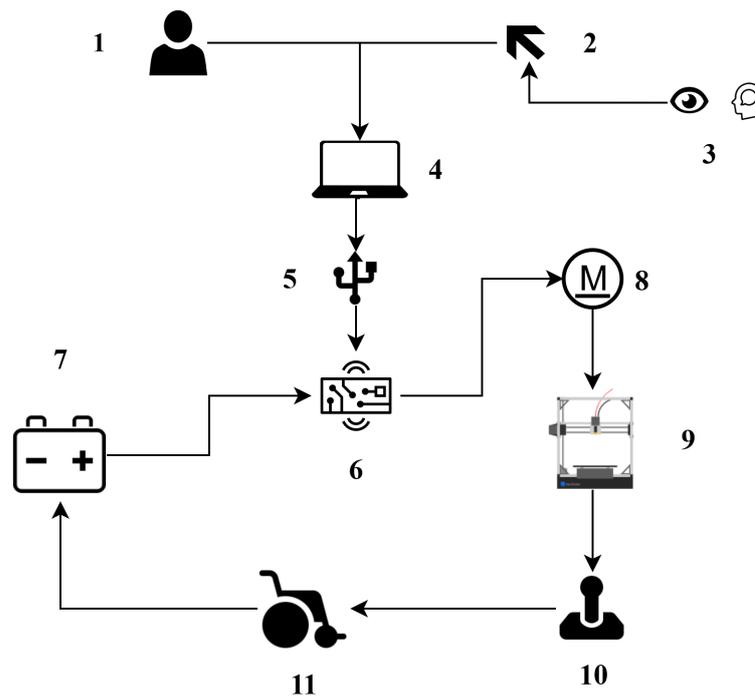
A prova de conceito será considerada bem sucedida se, ao serem realizados testes piloto com protótipo funcional, todos os requisitos forem cumpridos.

3.2 Visão Geral do Mecanismo Universal de Acionamento de Cadeira de Rodas Motorizada (MUA-CRM)

O Mecanismo Universal de Acionamento de Cadeira de Rodas Motorizada (MUA-CRM) é um sistema robótico para acionamento do Joystick de CRM que funciona através do acionamento de motores de passo que controlam o movimento de atuadores, que por sua vez apertam os botões deste mesmo Joystick ou movimentam o manípulo na direção

desejada de navegação (Figura 21). Ele utiliza uma interface gráfica em C#, onde a partir do uso de um cursor e da ação de clique, o usuário seleciona a ação que deseja executar. Esta interface gráfica se comunica com uma placa de desenvolvimento Mega 2560 R3 (similar ao Arduino), que comanda o acionamento dos motores de passo que pressionam os botões ou movimentam o manipulador (circuito de acionamento e controle dos motores).

Figura 21 – Diagrama Geral MUA-CRM



Fonte: O autor (2020)

Onde:

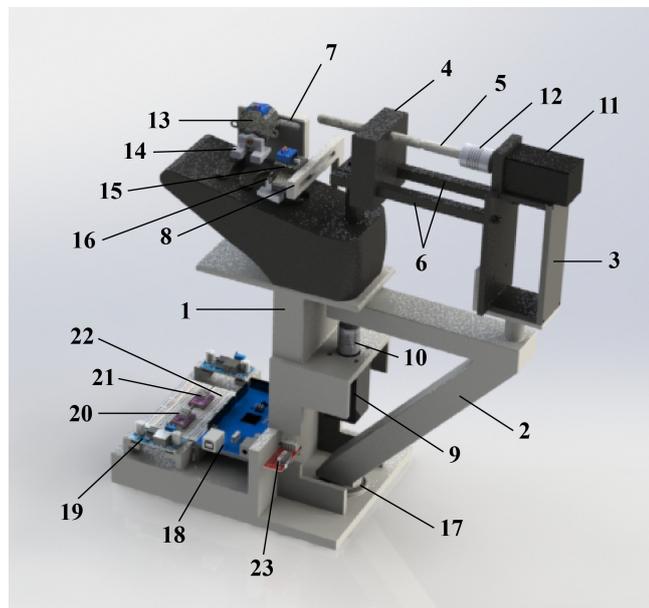
1. Usuário;
2. Controle do cursor (programa externo);
3. Método de controle (Rastreamento ocular; rastreamento de cabeça, etc);
4. Interface (inclusa em computador pessoal ou notebook);
5. Comunicação USB;
6. Circuito de acionamento e controle dos motores;
7. Bateria;
8. Motores de passo;

9. Mecanismo impresso por manufatura aditiva;
10. Joystick;
11. Cadeira de Rodas Motorizada (CRM).

3.3 Hardware MUA-CRM

O hardware do MUA-CRM (Figura 22) é composto por circuito de acionamento e controle dos motores de passo e peças fabricadas por manufatura aditiva, projetadas para fixar e para atuarem no movimento do manípulo e acionamento dos botões. Dessa forma, o mecanismo robótico executa todas as tarefas que um usuário de CRM é capaz de executar com o Joystick, sejam elas apertar botões ou movimentar o manípulo do Joystick. O fator de forma do conjunto, considerando o volume necessário para movimentação e livre funcionamento, é uma caixa de 370 mm de altura, 365 mm de comprimento e 245 mm de largura.

Figura 22 – Representação CAD MUA-CRM



Fonte: O autor (2020)

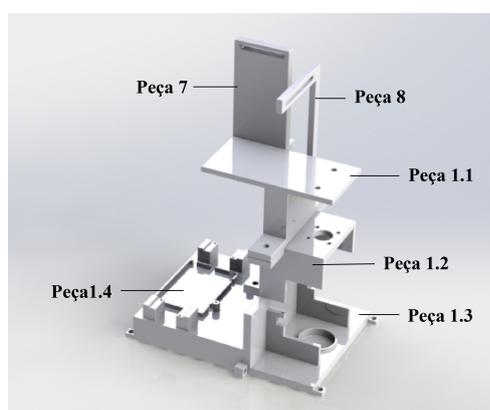
A parte de Hardware do MUA-CRM é composta por:

1. Base;
2. Braço Posicionador;
3. Plataforma do Motor de Passo Atuador;
4. Atuador do Manípulo;
5. Parafuso de movimento linear;
6. Trilhos guia do atuador do manípulo;
7. Suporte Motor de Passo Botões Liga/Desliga e Buzina;
8. Suporte Motor de Passo Botões de Aumentar Velocidade e Diminuir Velocidade;
9. Motor de Passo Posicionador;
10. Acoplamento Rígido;
11. Motor de Passo Atuador;
12. Acoplamento Elástico;
13. Motor de Passo Botões Liga/Desliga e Buzina;
14. Atuador Botões Liga/Desliga e Buzina;
15. Motor de Passo Botões de Aumentar Velocidade e Diminuir Velocidade;
16. Atuador Botões de Aumentar Velocidade e Diminuir Velocidade;
17. Rolamento Axial de Esferas;
18. Placa de Desenvolvimento Mega 2560 R3 (similar Arduino Mega);
19. Módulo Regulador de Tensão LM2596;
20. Driver Motor de Passo DRV 8825 – Motor de Passo Posicionador;
21. Driver Motor de Passo DRV 8825 – Motor de Passo Atuador;
22. Matriz de Contatos (ProtoBoard);
23. Módulo Chave Fim de Curso.

3.3.1 Base (Peça 1)

A base (Figura 23) é a parte do Mecanismo que acomoda o circuito de acionamento de motores, a chave de fim de curso, fixa o Joystick, e acomoda os suportes dos motores de passo de acionamento de botões (peças 7 e 8). Ela foi criada por manufatura aditiva utilizando o material plástico Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS), material comum para impressão 3D e que possui boa resistência mecânica. Por ser uma peça de razoável complexidade geométrica para sua fabricação em manufatura aditiva, e por ter um razoável tamanho (o que acarreta em consideráveis tempos de impressão e aumenta as possibilidades de falha), ela foi dividida em 4 partes (Peças 1.1 a 1.4).

Figura 23 – Modelo CAD renderizado da Base



Fonte: O autor (2020)

A Peça 1.1 (Figura 24) fixa o joystick da CRM utilizando seus parafusos (o joystick deve ser do tipo removível) e fixa também os suportes dos motores de passo (Peças 7 e 8) de acionamento dos botões.

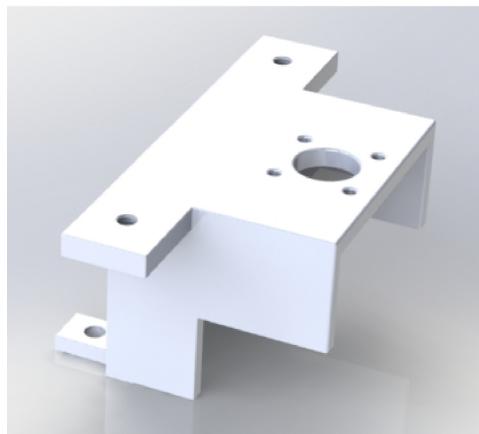
Figura 24 – Base Parte 1.1



Fonte: O autor (2020)

A Peça 1.2 (Figura 25) fixa o Motor de Passo Posicionador (Peça 9) e se encaixa na peça 1.1.

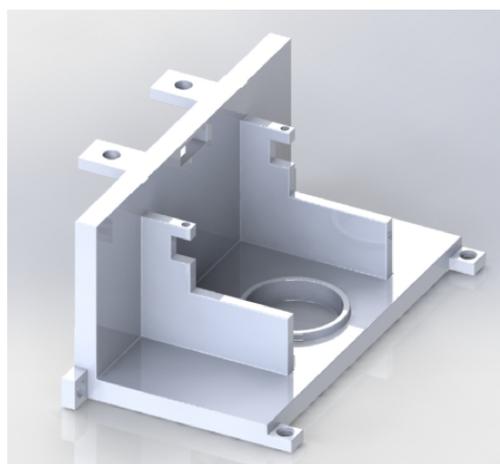
Figura 25 – Base Parte 1.2



Fonte: O autor (2020)

A Peça 1.3 (Figura 26) recebe o Rolamento Axial de Esferas (Peça 17), fixa o Módulo Chave Fim de Curso (Peça 23) e se encaixa nas partes Peça 1.2 e Peça 1.4.

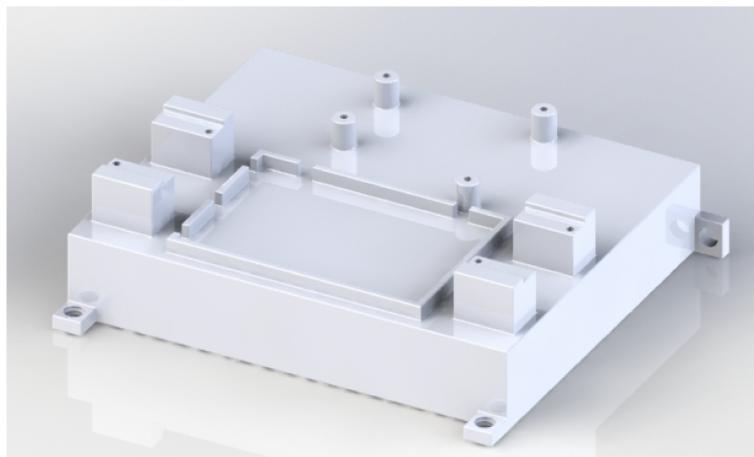
Figura 26 – Base Parte 1.3



Fonte: O autor (2020)

A Peça 1.4 (Figura 27) se encaixa na Peça 1.3, e recebe as peças Placa de Desenvolvimento Mega 2560 R3 (Peça 18), Módulo Regulador de Tensão (Peça 19), Drivers dos motores de passo (Peça 20 e 21) e Matriz de Contatos (Peça 22).

Figura 27 – Base Parte 1.4



Fonte: O autor (2020)

3.3.2 Braço Posicionador (Peça 2)

O Braço Posicionador (Figura 28), feito em ABS por manufatura aditiva, é acionado pelo Motor de Passo Posicionador (Peça 11), que gira em torno do manípulo do joystick da CRM e movimenta consigo os componentes Plataforma do Motor de Passo Atuador (Peça 3), Atuador do Manípulo (Peça 4), Parafuso de movimento linear (Peça 5), Peça 6, Peça 11 e Peça 12.

Figura 28 – Peça 2 (Braço Posicionador)



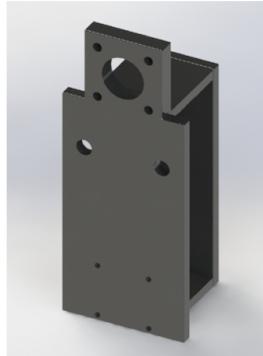
Fonte: O autor (2020)

3.3.3 Plataforma do Motor de Passo Atuador (Peça 3)

A Plataforma do Motor de Passo Atuador (Figura 29) recebe, como o próprio nome diz, o Motor de Passo Atuador. Fabricada em PETG, ela posiciona o Motor de Passo

Atuador no plano de movimento do manípulo do Joystick.

Figura 29 – Peça 3 (Plataforma do Motor de Passo Atuador)

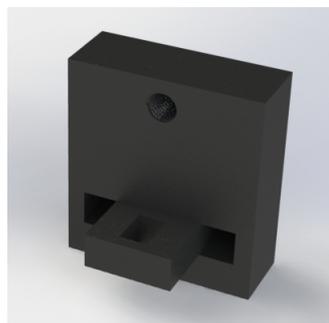


Fonte: O autor (2020)

3.3.4 Atuador do Manípulo (Peça 4)

O Atuador do Manípulo (Figura 30) é uma peça fabricada em PETG que, ao ser movida pelo Parafuso de Movimento Linear (Peça 5), entra em contato com o manípulo do Joystick e o movimenta pra frente ou pra trás, dependendo da direção de rotação do Parafuso de Movimento Linear. Este movimento acontece pois ele possui uma rosca interna que provoca seu movimento linear quando a peça 5 gira, uma vez que o atuador é impedido de girar pelos Trilhos Guia do Atuador do manípulo (Peças 6).

Figura 30 – Peça 4 (Atuador do Manípulo do Joystick)



Fonte: O autor (2020)

3.3.5 Parafuso de Movimento Linear (Peça 5)

O Parafuso de Movimento Linear (Figura 31), fabricado em ABS, é uma peça que quando rotacionada pelo Motor de Passo Atuador (Peça 11), provoca o movimento do

Atuador do Manípulo (Peça 4). O sentido de rotação determina o sentido de movimento da Peça 4.

Figura 31 – Peça 5 (Parafuso de Movimento Linear)



Fonte: O autor (2020)

3.3.6 Trilhos Guia do Atuador do Manípulo (Peças 6)

Os Trilhos Guia do Atuador do Manípulo (Figura 32), feitos em PETG, são fixados à Plataforma do Motor de Passo Atuador (Peça 3) e guiam o movimento linear do Atuador do Manípulo (Peça 4). São eles que impedem que a Peça 4 gire juntamente com o Parafuso de Movimento Linear (Peça 5), e desta forma auxiliam na execução do movimento linear e consequente movimentação do manípulo do Joystick.

Figura 32 – Peça 6 (Trilho Guia do Atuador do Manípulo)

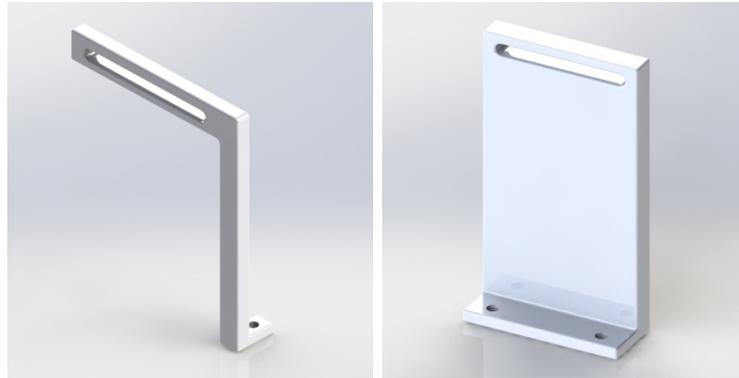


Fonte: O autor (2020)

3.3.7 Suportes Motores de Passo Botões (Peças 7 e 8)

Os Suportes dos Motores de Passo dos Botões (Peças 7 e 8, Figuras 33b e 33a), feitos em ABS, são fixados à base (Peça 1 Parte 1.1) e fixam os Micromotores de Passo

de modo que os mesmos possam mover seus atuadores e apertar os botões do Joystick quando desejado.



(a) Peça 8 - Suporte Motor de Passo Botões Aumentar/Diminuir Velocidade (b) Suporte Motor de Passo Botões Liga/Desliga e Buzina

Figura 33 – Suportes Motores de Passo Botões (Peças 7 e 8)
Fonte: O autor (2020)

3.3.8 Motores de Passo Posicionador e Atuador (Peças 9 e 11)

O Motor de Passo Posicionador (Peça 9, Figura 34) é fixado à Base (Peça 1) e move o Braço Posicionador (Peça 2) ao girar seu eixo. Com isso, ele posiciona os outros componentes (incluindo o Motor de Passo Atuador - Peça 11, Figura 34) de forma que eles possam mover o Manípulo de acordo com a seleção feita pelo usuário no programa de interface. Ele é um motor de passo híbrido de 2 fases NEMA 11, com ângulo de passo de 1.8° , torque de retenção de 1200 g.cm e massa aproximada de 0.11 kg. O Motor de Passo Atuador (Peça 11) é fixado à Peça 3 e gira o Parafuso de Movimento Linear (Peça 5), que, por sua vez, provoca o movimento do Atuador do Manípulo (Peça 4) similarmente a outros sistemas de atuação linear. Seu modelo é o mesmo do Motor de Passo Posicionador e, portanto, tem as mesmas especificações.

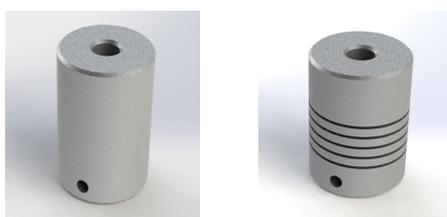
Figura 34 – Peças 9 e 11 (Foto motor de passo NEMA 11)



Fonte: (CHANGZHOU JKONGMOTOR CO., LTD, 2020)

3.3.9 Acoplamentos Motores de Passo (Peças 10 e 12)

Os Motores de Passo precisam de acoplamentos para poderem mover as partes do Mecanismo que se deseja mover. O Acoplamento do Motor de Passo Posicionador (Peça 10, Figura 35a), acopla um eixo de 5 mm (eixo do motor de passo) em um outro eixo de 8 mm (pertencente à Peça 2), para movê-la. Ele é feito de alumínio e é do tipo rígido, sem ranhuras, pois nele se deseja evitar desalinhamentos e buscar manter a posição horizontal do Motor de Passo Atuador tanto quanto possível. O Acoplamento do Motor de Passo Atuador (Peça 12, Figura 35b) também acopla um eixo de 5 mm (eixo do motor de passo) em um outro eixo de 8 mm (pertencente à Peça 5) para mover o Atuador do Manípulo (Peça 4) ao girar. Ele também é feito de alumínio, porém é do tipo flexível, pois aqui se desejam acomodar eventuais desalinhamentos entre o Motor e a posição do manípulo do Joystick.



(a) Modelo CAD renderizado do Acoplamento Rígido (b) Modelo CAD renderizado do Acoplamento Flexível

Figura 35 – Acoplamentos Motores de Passo (Peças 10 e 12)
Fonte: O autor (2020)

3.3.10 Motores de Passo Botões (Peças 13 e 15)

Os Motores de Passo dos botões (Figura 36) são micromotores de passo de 5 V DC, modelo 28BYJ-48, unipolares, de 64 passos mas que possui um redutor 1/64 interno que transforma esta relação em 4096 passos. Eles são baratos e compactos (do tamanho de uma moeda) e foram usados em conjunto com o driver ULN2003.

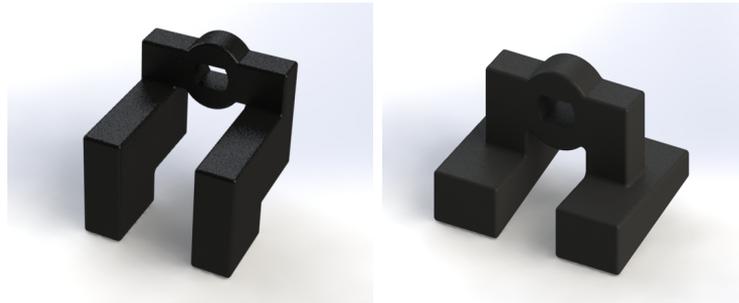
Figura 36 – Motor de Passo Botões e Driver (Peças 13 e 15)



Fonte: (Baú da Eletrônica, 2020b)

3.3.11 Atuadores dos Botões (Peças 14 e 16)

Os Atuadores dos Botões são peças que, ao girarem em conjunto com os eixos dos micromotores de passo dos botões (Peças 13 e 15, Figuras 37a e 37b), pressionam os botões do Joystick, acionando-os. Eles foram fabricados por manufatura aditiva, em PETG, e seus modelos CAD podem ser vistos nas figuras 37a e 37b.



(a) Atuador Liga/Desliga e Buzina e (b) Atuador Seleção Velocidade

Figura 37 – Modelos CAD renderizados dos Atuadores dos Botões (Peças 14 e 16)

3.3.12 Rolamento Axial de Esferas (Peça 17)

O Rolamento Axial de Esferas (Peça 17, Figura 38) é um componente mecânico que tem a função de suportar o Braço Posicionador (Peça 2) e suas cargas, permitindo seu giro quando o mesmo é acionado pelo Motor de Passo Posicionador (Peça 9) e fornecendo apoio de modo a manter o Motor de Passo Atuador (Peça 11) na posição horizontal. Ele é fixado na Base (Parte 1.3) e permite o giro livre da Peça 2 ao mesmo tempo que fornece apoio e mantém o conjunto de acionamento do manípulo alinhado.

Figura 38 – Rolamento Axial de Esferas (Peça 17)



Fonte:([NSK, 2020](#))

3.3.13 Placa de Desenvolvimento Mega 2560 R3 (Peça 18)

A Placa de Desenvolvimento Mega 2560 R3 (similar Arduino, Figura 39) é uma placa microcontrolada que irá receber a comunicação do software de interface e comandar

todos os movimentos do Mecanismo através de software especificamente criado para esse fim.

Figura 39 – Placa de Desenvolvimento Mega 2560 R3 (Peça 18)



Fonte: (ELETROGATE, 2020b)

Ela utiliza um software desenvolvido especificamente para a aplicação de movimentação do Joystick da CRM, denominado Software para Comando de Mecanismo Universal de Acionamento de Cadeira de Rodas Motorizada (CoMU-CRM). Através deste software, a Placa de Desenvolvimento Mega 2560 R3 comanda os motores de passo e recebe o sinal do Módulo Chave de Fim de Curso (Peça 23). Ela também recebe comandos por comunicação serial via cabo do Notebook ou PC, que estará recebendo entradas do usuário através do software Interface para Acionamento Multimodal de Cadeira de Rodas Motorizada (IAMu-CRM).

3.3.14 Módulo Regulador de Tensão LM2596 (Peça 19)

O Módulo Regulador de Tensão (Figura 40), baseado no regulador de tensão da Texas Instruments LM2596, é um conversor DC-DC do tipo Step-Down, com tensão de entrada podendo variar de 3 V a 40 V e tensão de saída de 1,5 V a 35 V (ajustável). Sua entrada é ligada à bateria de 12 V da CRM e sua saída aos drivers DRV 8825 (Peças 20 e 21), podendo fornecer até 2 A de corrente nominal.

Figura 40 – Módulo Regulador de Tensão LM2596



Fonte: (Baú da Eletrônica, 2020a)

3.3.15 Drivers dos Motores de Passo (Peças 20 e 21)

Os drivers dos Motores de Passo modelo DRV8825 (Figura 41) são circuitos baseados no Circuito Integrado DRV8825 da Texas Instruments que controlam o funcionamento dos motores de passo Posicionador e Atuador (Peças 9 e 11) por meio de Modulação de Largura de Pulso. A voltagem de operação é de 8,2 V (mínimo) a 45 V (máximo), podendo fornecer 1,5 A de corrente contínua por fase do motor, sendo adequados para motores de passo bipolares, como é o caso. Sua resolução de micropasso vai de 1 (passo completo) a 1/32.

Figura 41 – Driver Motores de Passo



Fonte: ([FILIPEFLOP, 2020](#))

3.3.16 Matriz de Contatos (Peça 22)

A matriz de contatos (Peça 22) recebe os drivers de motores de passo (Peças 20 e 21) e realiza a ligação entre os diversos componentes (módulo regulador de tensão, módulo chave fim de curso, placa de desenvolvimento, motores de passo).

3.3.17 Módulo Chave Fim de Curso (Peça 23)

O Módulo Chave Fim de Curso (Peça 23, Figura 42) é um interruptor integrado à uma placa com resistores que é usado nesta aplicação para definir uma posição inicial do Braço Posicionador (Peça 2). Ela é necessária pois o motor de passo não está integrado a um encoder para que seja possível, através da medida do ângulo, que se saiba a posição em que o Braço Posicionador está ao iniciar.

Figura 42 – Módulo Chave Fim de Curso



Fonte: ([ELETROGATE, 2020a](#))

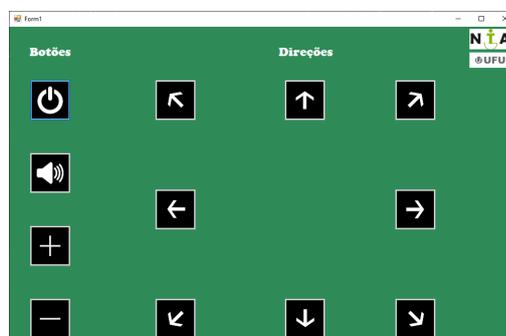
3.4 Software MUA-CRM

O MUA-CRM utiliza dois softwares para seu funcionamento: uma Interface para Acionamento Multimodal de Cadeira de Rodas Motorizada (IAMu-CRM) e um software para Comando de Mecanismo Universal de Acionamento de Cadeira de Rodas Motorizada (CoMU-CRM).

3.4.1 Interface para Acionamento Multimodal de Cadeira de Rodas Motorizada (IAMu-CRM)

O Software Interface para Acionamento Multimodal de Cadeira de Rodas Motorizada é um software escrito em linguagem C# que fornece uma interface com botões para seleção da opção desejada pelo usuário (Figura 43). Através da ação de apontar e clicar do cursor, realiza-se o acionamento de cada botão, e de cada direção. O acionamento é multimodal, pois qualquer dispositivo que controle o cursor do computador pode ser usado, como rastreadores oculares, dispositivo de rastreamento de cabeça por câmera, dispositivo de controle de movimento do cursor por movimento labial, interfaces cérebro máquina, controles híbridos, dentre outros.

Figura 43 – Interface IAMu-CRM



Fonte: o autor (2020).

Ao se realizar o acionamento, o software envia um comando por comunicação serial para a placa de desenvolvimento, que irá efetuar as ações correspondentes ao acionamento de um botão ou movimento do manípulo, a depender da seleção do usuário.

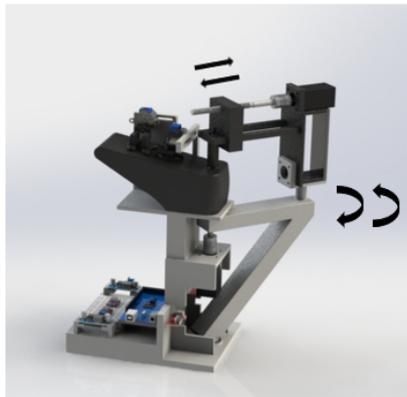
3.4.2 Comando de Mecanismo Universal de Acionamento de Cadeira de Rodas Motorizada (CoMU-CRM)

O software para Comando de Mecanismo Universal de Acionamento de Cadeira de Rodas Motorizada (CoMU-CRM) é um software escrito em linguagem Arduino para

utilização nestas mesmas placas de desenvolvimento e suas similares.

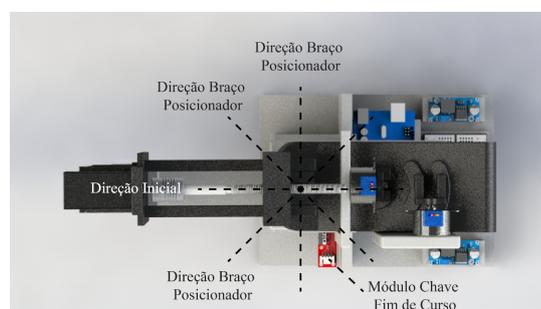
Ele possui uma rotina de definição de posição inicial, que é realizada ao se ligar o MUA-CRM. Neste momento, o Braço Posicionador (Peça 2) se move em direção ao Módulo Chave Fim de Curso (Peça 23), que quando acionada emite um sinal que é recebido pela placa de desenvolvimento (Peça 18). Após o recebimento deste sinal, a placa de desenvolvimento comanda o Braço Posicionador no sentido contrário, com n^o de passos predefinido, que determina a direção inicial do mecanismo. Desta forma é possível saber a posição inicial e, a partir desta posição, o software calcula os deslocamentos angulares necessários para acionamento de cada direção. São 4 direções possíveis (cada uma com 2 sentidos, totalizando as oito opções presentes no software), conforme é possível observar na Figura 44 e na Figura 45.

Figura 44 – Movimentações do mecanismo



Fonte: o autor (2020).

Figura 45 – Posições CoMU-CRM Braço Posicionador



Fonte: o autor (2020).

Posterior ao primeiro descolamento, que necessita do conhecimento da posição inicial, o software CoMU também armazena a posição final, sendo assim possível saber a todo o momento, ao ligar ou após cada deslocamento, qual a posição do Braço Posicionador, eliminando a necessidade de dispositivos de medição de ângulo como encoders. Assim, após a rotina de posição inicial acima descrita, é possível fazer as seleções na Interface conforme necessidade do usuário.

A Interface envia o caractere correspondente ao comando selecionado (através do clique do cursor) por meio de comunicação serial. O software CoMU recebe este caractere como ASCII decimal e, a partir de uma estrutura de controle `switch...case`, seleciona a ação correspondente para os motores de passo. A Tabela 4 apresenta um resumo da seleção de comando na Interface e do caractere decimal ASCII recebido pela placa de desenvolvimento:

Tabela 4 – Tabela de Comandos para o CoMU-CRM

Comando selecionado	Caracter enviado IAMu	ASCII (decimal) recebido CoMU
Ligar/Desligar	e	101
Buzina	r	114
Aumentar Velocidade	w	119
Reduzir Velocidade	q	113
Esquerda	1	49
Diagonal Superior Esquerda	2	50
Frente	3	51
Diagonal Superior Direita	4	52
Direita	5	53
Diagonal Inferior Direita	6	54
Ré	7	55
Diagonal Inferior Esquerda	8	56

Fonte – O autor (2020).

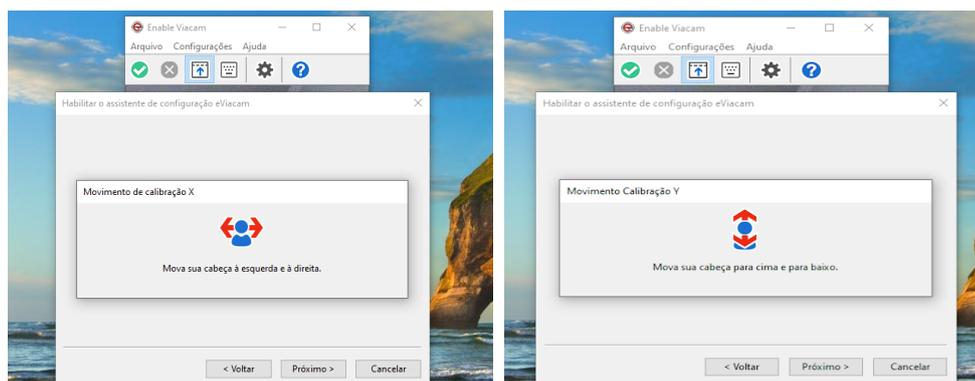
As condições iniciais dos motores de passo (Peças 9 e 11), definidas no software, são as velocidades máximas em que eles conseguem atuar.

3.5 Controle do Cursor

Para o controle do cursor, utilizou-se o software Enable Viacam, que é um software livre distribuído sob os termos da licença GNU GPL v3.0, de autoria de Cesar Mauri Loba (LOBA, 2017).

Ele é um substituto do mouse, movendo o cursor a partir do movimento da cabeça, que é capturado pela webcam do computador, sem necessidade de hardware adicional. Outros tipos de controle de cursor podem ser testados, como o ‘Eye Control for Windows 10’, da Microsoft ([MICROSOFT, 2019](#))

Após uma calibração inicial (Figuras 46a e 46b), o Eviacam está pronto e pode ser usado na utilização do MUA-CRM.



(a) Calibração Horizontal

(b) Calibração Vertical

Figura 46 – Telas de calibração do Enable Viacam

3.6 Protocolo Experimental

Para a realização do protocolo experimental, é realizada a utilização do sistema a partir do controle do cursor pelo Enable Viacam. São observados:

- Execução da tarefa (sim/não);
- Tempo de execução manípulo (tempo decorrido iniciando na seleção do botão na interface até o movimento de ida e movimento de volta do manípulo);
- Tempo de execução botões (tempo decorrido iniciando na seleção do botão na interface até o acionamento do botão).

As velocidades médias de resposta do sistema são estimadas e, ao final, os objetivos da prova de conceito são confrontados com os resultados. A listagem de tarefas é como segue:

- Tarefa 1 - Acionar Botão Liga/Desliga;
- Tarefa 2 - Acionar Botão Buzina;
- Tarefa 3 - Acionar Botão Aumentar Velocidade;

- Tarefa 4 - Acionar Botão Diminuir Velocidade;
- Tarefa 5 - Acionar Direção 3;
- Tarefa 6 - Acionar Direção 7;
- Tarefa 7 - Acionar Direção 2;
- Tarefa 8 - Acionar Direção 6;
- Tarefa 9 - Acionar Direção 4;
- Tarefa 10 - Acionar Direção 8;
- Tarefa 11 - Acionar Direção 5;
- Tarefa 12 - Acionar Direção 1.

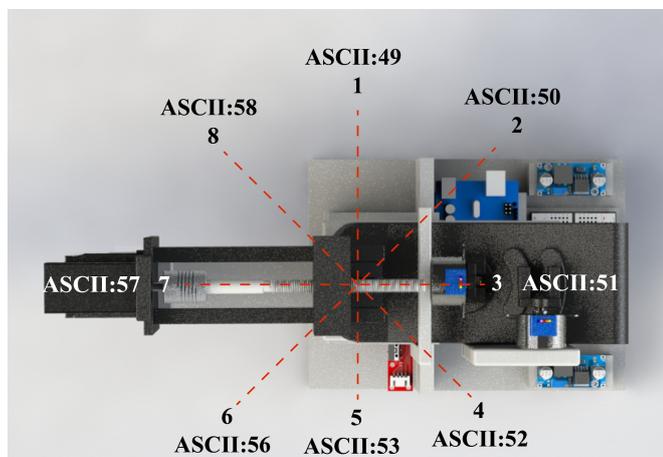
Nota: Devido a pandemia de COVID-19, não foi possível realizar múltiplos experimentos com a participação de voluntários para testar o funcionamento do sistema proposto. As tarefas descritas serão realizadas pelo próprio pesquisador, e testes com voluntários e avaliações de usabilidade do sistema serão realizadas em trabalhos futuros.

4 Resultados

Nesta seção são apresentados os resultados alcançados pelo MUA-CRM ao realizar o protocolo experimental (vídeo:[Protocolo Experimental](#)).

Inicialmente, são mostradas as direções definidas no software CoMU-CRM(C++) e IAMu-CRM (C#), ilustradas em uma renderização do conjunto montado na Figura 47.

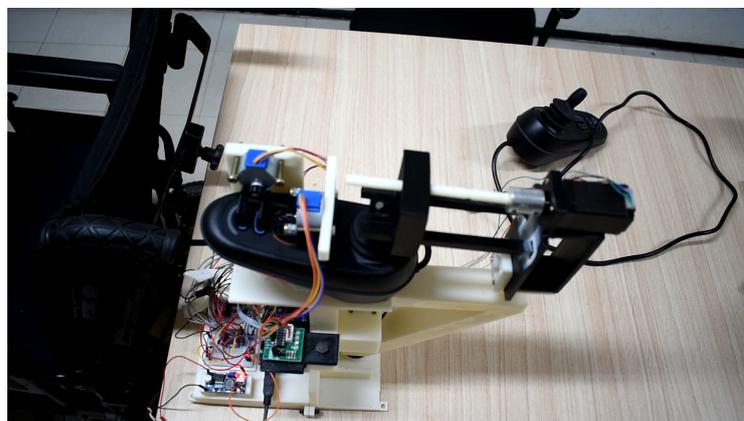
Figura 47 – Direções C# (1-8) e C++(ASCII, 49-58)



Fonte: o Autor (2020)

O protótipo do conjunto montado final, utilizado nos experimentos é mostrado na Figura 48.

Figura 48 – Conjunto montado MUA-CRM



Fonte: o Autor (2020)

A Tabela 5 resume os resultados de todas as tarefas¹:

Tabela 5 – Tabela de resumo de tempos das tarefas

Tarefa	Descrição	$\Delta t(s)$ Acionamento	$\Delta t(s)$ Posicionamento	$\Delta t(s)$ Total
Tarefa 1	Botão Liga/Desliga	<1s	Não aplicável	<1s
Tarefa 2	Botão Buzina	<1s	Não aplicável	<1s
Tarefa 3	Botão Aumentar Velocidade	<1s	Não aplicável	<1s
Tarefa 4	Botão Diminuir Velocidade	<1s	Não aplicável	<1s
Tarefa 5	Direção 3 (Frente)	5.0s	Não aplicável	5.0s
Tarefa 6	Direção 7 (Ré)	4.6s	Não aplicável	4.6s
Tarefa 7	Direção 2 (Diagonal Esquerda Frente)	5.3s	2.0s	7.2s
Tarefa 8	Direção 6 (Diagonal Direita Ré)	5.1s	Não aplicável	5.1s
Tarefa 9	Direção 4 (Diagonal Direita Frente)	4.7s	4.1s	8.8s
Tarefa 10	Direção 8 (Diagonal Esquerda Ré)	4.4s	Não aplicável	4.4s
Tarefa 11	Direção 5 (Direita)	4.6s	1.7s	6.3s
Tarefa 12	Direção 1 (Esquerda)	4.8s	Não aplicável	4.8s
s/tarefa	Média dos trechos de volta (parar)	4.9s	Não aplicável	4.9s

Fonte – O autor (2020).

Nota – $\Delta t(s)$ Acionamento refere-se ao tempo decorrido de acionamento da tarefa após o posicionamento, quando este for aplicável. $\Delta t(s)$ Posicionamento refere-se ao tempo decorrido entre acionar o botão na interface e o posicionamento do braço posicionador em relação ao joystick.

Na Tabela 6 pode-se visualizar os resultados do acionamento dos botões.

Tabela 6 – Tabela de tarefas dos botões

Tarefa	$\Delta t(s)$	Botão Acionado (S/N)
Tarefa 1	<1s	S
Tarefa 2	<1s	S
Tarefa 3	<1s	S
Tarefa 4	<1s	S

Fonte – O autor (2020).

Nota – $\Delta t(s)$ refere-se ao tempo decorrido entre acionar o botão na interface e o acionamento do botão no Joystick

Em seguida, na Tabela 7 os resultados do acionamento das direções.

¹ Os tempos descritos foram extraídos por meio de análise da filmagem do funcionamento do MUA-CRM, congelando-se os frames para início e fim das tarefas

Tabela 7 – Tabela de tarefas de acionamento manípulo

Tarefa	$\Delta t(s)$ Ida	$\Delta t(s)$ Volta	Direção Acionada (S/N)
Tarefa 5	5.0	5.0	S
Tarefa 6	4.6	4.6	S
Tarefa 7	5.3	5.4	S
Tarefa 8	5.1	4.7	S
Tarefa 9	4.7	4.9	S
Tarefa 10	4.4	4.9	S
Tarefa 11	4.6	5.1	S
Tarefa 12	4.8	4.7	S

Fonte – O autor (2020).

Nota – $\Delta t(s)$ Ida refere-se ao tempo decorrido entre o início do movimento do manípulo e o fim deste movimento na ida do acionamento

Nota – $\Delta t(s)$ Volta refere-se ao tempo decorrido entre o início do movimento do manípulo e o fim deste movimento na volta, em direção a posição de repouso

Há ainda o tempo decorrido entre o acionamento da interface e o tempo de início do movimento, sempre que a Peça 9 (Motor de Passo Posicionador) precisa mover a Peça 2 (Braço Posicionador) após o acionamento na Interface. Isso aconteceu nas tarefas 7, 9 e 11. A Tabela 8² resume estes tempos bem como lista o deslocamento angular percorrido, em graus.

Tabela 8 – Tempo de Posicionamento Peça 2 (Braço Posicionador)

Tarefa do joystick Selecionada	$\Delta t(s)$ Interface para Posição	$\Delta\theta(^{\circ})$ Distância angular
Tarefa 7	2.0	45
Tarefa 9	4.1	90
Tarefa 11	1.7	45

Fonte – O autor (2020).

Nota – $\Delta t(s)$ refere-se ao tempo decorrido entre acionar o botão na interface e o posicionamento da Peça 2

Nota – $\Delta\theta(^{\circ})$ refere-se ao deslocamento angular da Peça 2 ocorrido durante a tarefa.

² $\Delta\theta(^{\circ})$ é dado pelo deslocamento definido no código arduino que define a movimentação, e o fabricante dos motores de passo (peças 9 e 11) define sua precisão de passo em $\pm 5\%$ com passo de 1.8° . Dentro do software CoMU utilizou-se micropasso 1/32 possível de ser atingido utilizando-se driver DRV8825 (Peças 20 e 21).

Abaixo, calcula-se o tempo médio de acionamento do manipulador, $\Delta t_{m\u00e9dio}$:

$$\Delta t_{m\u00e9dio} = \Delta t_{ida_{m\u00e9dio}} + \Delta t_{volta_{m\u00e9dio}}$$

$$\Delta t_{ida_{m\u00e9dio}} = 4.8 \text{ s}; \Delta t_{volta_{m\u00e9dio}} = 4.9 \text{ s}$$

A sumariza\u00e7\u00e3o dos tempos de atua\u00e7\u00e3o pode ser vista na Tabela 9^{3,4}:

Tabela 9 – Resumo dos Tempos

Item	Intervalo Δt (s)
$\Delta t_{m\u00e9dio}$	9.7
$\Delta t_{Posi\u00e7\u00e3o}$ (maior tempo)	6.1
Δt_{total} (maior tempo)	15.8
Δt_{total} (menor tempo)	9.7

Fonte – O autor (2020).

Os requisitos da prova de conceito foram atendidos:

- Ser capaz de selecionar 8 dire\u00e7\u00f5es (4 b\u00e1sicas acrescidas das diagonais) do manipulador
Todas as dire\u00e7\u00f5es foram acionadas
- Ser capaz de acionar todos os bot\u00f5es do Joystick individualizadamente
Todos os bot\u00f5es foram acionados
- Ter custo acess\u00edvel (comparado ao custo da CRM)
O custo do MUA-CRM ficou abaixo de R\$ 700 , sendo assim considerado de custo acess\u00edvel (Tabela 10) na compara\u00e7\u00e3o com o custo da CRM com modelos custando a partir de R\$ 6.499,00 (refer\u00eancia modelo Sunpex WP 4010, pre\u00e7o obtido por pesquisa na internet em setembro de 2020).
- Ser utiliz\u00e1vel sem o uso das m\u00e3os
Como o experimento foi todo realizado usando os movimentos da cabe\u00e7a atrav\u00e9s do software Enable Viacam, o MUA-CRM \u00e9 utiliz\u00e1vel sem o uso das m\u00e3os

³ $\Delta t_{Posi\u00e7\u00e3o}$ (maior tempo) \u00e9 o tempo estimado para percorrer a maior dist\u00e2ncia angular poss\u00edvel (no caso 135\u00b0) na menor velocidade medida (a velocidade de posicionamento da Tarefa 9).

⁴ Δt_{total} (maior tempo) \u00e9 igual a $\Delta t_{m\u00e9dio} + \Delta t_{Posi\u00e7\u00e3o}$ quando $\Delta t_{Posi\u00e7\u00e3o}$ \u00e9 m\u00e1ximo. Quando $\Delta t_{Posi\u00e7\u00e3o}$ \u00e9 igual a zero, tem-se Δt_{total} (menor tempo)

A Tabela 10 ilustra os custos de material do dispositivo para acionamento do joystick.

Tabela 10 – Custo de material do dispositivo para acionamento do joystick de CRM

Item	Custo(R\$)
Motor de passo NEMA 11 (x2)	236,07
Acoplamento flexível	22,50
Acoplamento rígido	22,50
Micromotor de passo c/driver(x2)	46,02
Rolamento axial de esferas	10,00
Placa Mega 2560 R3	106,29
Módulo LM 2596	11,96
Driver DRV8825 (x2)	55,00
Matriz de contatos	12,90
Módulo chave fim de curso	16,86
Impressões 3D	143,91
Jumpers	10,45
<i>Custo de material</i>	<i>694,46</i>

Fonte – O autor (2020).

5 Discussão

A tetraplegia é uma condição altamente incapacitante e que torna a vida de muitas pessoas extremamente difícil e com alto grau de dependência. Solucionar seus desafios tem sido objeto de muito estudo, tanto em relação à reversão de seus efeitos e reabilitação, quanto em como melhorar a qualidade de vida das pessoas que necessitam conviver com a perda dos movimentos.

Infelizmente, ainda hoje há enormes dificuldades em fornecer independência a essas pessoas. Existem poucas soluções comerciais, e normalmente elas possuem um alto custo. De acordo com a OMS (WHO, 2015), apenas 5-15% das pessoas que precisam de produtos assistivos têm acesso a eles.

O desenho universal pode contribuir de maneira importante na criação e desenvolvimento de tecnologias assistivas, tornando as possibilidades de sua adoção maiores e diminuindo possíveis estigmas que seus usuários possam vir a ter, inclusive interferindo na dimensão custo.

Neste trabalho, a busca por uma solução de baixo custo que permitisse a usuários com tetraplegia utilizarem a CRM tradicional resultou no dispositivo apresentado, valendo-se somente de componentes comerciais e impressão 3D. A preocupação em manter o custo baixo e a tentativa de fazer o dispositivo de forma compacta orientaram as escolhas durante a seleção de componentes. Pensando nos princípios do desenho universal, especialmente na questão da flexibilidade, a utilização de cursor na seleção das opções é particularmente conveniente, visto a quantidade de maneiras diferentes de mover o cursor do computador que já existem. Isso torna a utilização do mecanismo compatível com muitas formas diferentes de controle, o que amplia a gama de opções de possíveis usuários.

Os resultados mostraram que o MUA-CRM é capaz de executar todas as tarefas requeridas na operação do Joystick da CRM. Seja acionar botões, seja mover o manípulo, todas as tarefas puderam ser completadas sem a utilização das mãos. O equipamento foi considerado de baixo custo na comparação com o custo de uma CRM básica, que é da ordem de R\$ 6.499,00 (cotações realizadas na internet em setembro de 2020). Sendo assim, todos os requisitos da Prova de Conceito foram atingidos.

Entretanto, ainda que se tenha alcançado os objetivos da Prova de Conceito, lições importantes devem ser tiradas dos tempos de acionamento do dispositivo tabulados na seção de resultados. Um tempo de quase 16 s entre apertar o dispositivo e terminar a execução do acionamento do manípulo, no caso mais exigente, é considerado alto. Uma vez que as velocidades dos motores de passo estavam em seus níveis mais altos (que permitem a operação do sistema), não foi possível neste trabalho diminuir sensivelmente este tempo

de acionamento. Necessita-se de um acréscimo de potência dos motores para se atingir menores tempos, o que é perfeitamente possível de ser realizado em trabalhos futuros.

Este tema de atraso de acionamento é um problema importante, pois já se relatou em (SHERIDAN, 1993) que atrasos nas operações podem fazer com que o operador humano, buscando evitar instabilidade, busque se adaptar e adotar uma estratégia conhecida como ‘mover e esperar’, descrita inicialmente em (FERRELL, 1965), e que acarreta em maiores tempos de execução de tarefas.

O tamanho do atraso de tempo já foi pesquisado quando se quis investigar se pequenos atrasos pudessem permitir operação eficiente. Contudo, mesmo um pequeno atraso de 0,3 s não permitem adaptação sensório-motora, conforme (HELD; EFSTATHIOU; GREENE, 1966).

Provavelmente usuários deste sistema farão uso da estratégia ‘mover e esperar’ nessas condições, como já mencionado em (SHERIDAN, 1993). Apesar de poderem concluir tarefas que antes não eram possíveis de maneira independente, os tempos de execução de tarefas poderão aumentar sensivelmente quando comparados com os tempos de execução da população em geral. Sendo assim, esforços adicionais devem ser colocados em prática para diminuir ou eliminar tais atrasos em trabalhos futuros.

Adicionalmente, estudos devem ser realizados para avaliar impactos na segurança elétrica, impactos na estabilidade estrutural e dinâmica, além de possíveis impactos na segurança de navegação da CRM. Diferentes interfaces podem requerer diferentes contramedidas para garantir a segurança do usuário, e o dispositivo aqui apresentado não tem como intenção oferecer uma solução definitiva neste sentido, mas sim possibilitar novos caminhos.

6 Conclusão

Tecnologias Assistivas estão cada vez mais sendo objeto de estudo para melhoria da qualidade de vida das pessoas com deficiência. Neste trabalho, foi proposto um mecanismo robótico para manipulação de Joystick de CRM sem o uso das mãos, para atender uma parcela das pessoas com deficiência que não podem se mover com independência pois não possuem mobilidade nem de membros inferiores nem de membros superiores.

Esse dispositivo foi projetado e prototipado de maneira que tivesse baixo custo na comparação com uma CRM, executasse as tarefas de acionamento dos botões, acionamento de 8 direções do manípulo e pudesse ser operado sem a utilização das mãos.

Foi possível completar todas as tarefas da maneira como proposto, evidenciando assim a viabilidade do dispositivo. Ainda assim, importantes lições devem ser tiradas dos tempos de execução, que podem se mostrar um obstáculo à execução eficiente da navegação da CRM. A redução destes tempos e testes com voluntários são passos importantes no desenvolvimento futuro da proposta de equipamento assistivo.

6.1 Limitações do Estudo

As limitações deste estudo englobam:

1. Joystick deve ser do tipo removível (o joystick deve ser montado usando seus próprios parafusos na base do dispositivo, que será realocado na CRM para evitar tomar espaço do usuário na cadeira);
2. Testagem somente com indivíduo hígido;
3. Interface proposta sem estudo de usabilidade;
4. Ausência de tela preditora, citada na literatura como contramedida aos atrasos no feedback;
5. Ausência de dados estatísticos (por falta de testes em pessoas com deficiência) a respeito da usabilidade do sistema e das possíveis dificuldades apontadas em relação aos tempos de execução.

6.2 Trabalhos Futuros

Como forma de continuar o desenvolvimento do dispositivo proposto, sugerem-se novos desenvolvimentos e estudos a serem realizados em pesquisas futuras:

-
- Reprojetar e prototipar o MUA-CRM versão 2, com motores de passo de maior potência (NEMA 14 e NEMA 17);
 - Investigar tamanho de botões e disposição em possível estudo de interface;
 - Avaliar uso de tela preditora de movimento como contramedida aos tempos de execução;
 - Propor versão 100% embarcada, usando possivelmente Raspberry Pi (Linux) e/ou LattePanda (Windows);
 - Testar com mais dispositivos de controle diferentes (movimento de língua, rastreamento ocular, etc);
 - Realizar testagem ampla com voluntários.

Referências

ANDERSON, E. T.; SIMESTER, D. *A Step-by-Step Guide to Smart Business Experiments*. [S.l.], 2011. Disponível em: <<http://archive.today/VVnLl>>. Acesso em: 07 set 2020. Citado na página 44.

ASHRAF, M.; GHAZALI, M. Interaction design for wheelchair using Nintendo Wiimote controller. In: *2011 International Conference on User Science and Engineering (i-USER)*. IEEE, 2011. p. 48–53. ISBN 978-1-4577-1655-3. DOI:<<https://doi.org/10.1109/iUSER.2011.6150534>>. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/6150534/>>. Citado na página 32.

Baú da Eletrônica. *Módulo Regulador de Tensão LM2596*. [S.l.], 2020. Disponível em: <<http://archive.today/zuDd5>>. Citado na página 56.

Baú da Eletrônica. *Motor de Passo + Drive ULN2003*. [S.l.], 2020. Disponível em: <<http://archive.today/Zxo2k>>. Citado na página 54.

BALDASSIN, V. et al. Tecnologia assistiva e qualidade de vida na tetraplegia: abordagem bioética. *Revista Bioética*, Conselho Federal de Medicina, v. 26, n. 4, p. 574–586, dec 2018. ISSN 1983-8034. DOI:<<https://doi.org/10.1590/1983-80422018264276>>. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1983-80422018000400574&lng=pt&tlng=pt>. Citado na página 27.

BASTOS-FILHO, T. F. et al. Towards a New Modality-Independent Interface for a Robotic Wheelchair. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., v. 22, n. 3, p. 567–584, may 2014. ISSN 1534-4320. DOI:<<https://doi.org/10.1109/TNSRE.2013.2265237>>. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/6523069/>>. Citado na página 39.

Botti Benevides, A.; SARCINELLI-FILHO, M.; Freire Bastos-Filho, T. Brain–Computer Interfaces (BCIs). In: *Introduction to Non-Invasive EEG-Based Brain–Computer Interfaces for Assistive Technologies*. Boca Raton : CRC Press, 2020.: CRC Press, 2020. p. 51–60. DOI:<<https://doi.org/10.1201/9781003049159-2>>. Disponível em: <<https://www.taylorfrancis.com/books/9781000090727/chapters/10.1201/9781003049159-2>>. Citado na página 39.

BRASIL. *Lei 13.146, de 6 de julho de 2015*.: Institui a lei brasileira de inclusão da pessoa com deficiência (estatuto da pessoa com deficiência). Brasília, 2002. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/l13146.htm>. Acesso em: 15 ago 2020. Citado na página 27.

SAÚDE, M. da (Ed.). *Diretrizes de Atenção à Pessoa com Lesão Medular*. 2ª edição. ed. Brasília, 2015. 68 p. ISBN 9788533422292. Disponível em: <http://bvsm.sau.gov.br/bvs/publicacoes/diretrizes_atencao_pessoa_lesao_medular_2ed.pdf>. Citado na página 26.

BROMLEY, I. *Tetraplegia and Paraplegia A Guide for Physiotherapists*. 6. ed. [S.l.]: Elsevier Ltd, 2006. 428 p. DOI:<<https://doi.org/10.1016/B978-0-443-10180-9.X5001-3>>. ISBN 9780702032394. Citado na página 26.

- Center for Universal Design, College of Design, North Carolina State University. *Oxo International Becomes a Universal Design Icon*. [S.l.], 2008. Disponível em: <<http://archive.today/xuf38>>. Acesso em: 28 ago 2020. Citado na página 30.
- CHANGZHOU JKONGMOTOR CO., LTD. *NEMA 11 stepper motor 28mm 1.8 degree*. [S.l.], 2020. Disponível em: <<http://archive.today/yFoSs>>. Citado na página 53.
- CHAPARRO-CÁRDENAS, S. L. et al. A review in gait rehabilitation devices and applied control techniques. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, Taylor & Francis, v. 13, n. 8, p. 819–834, 2018. DOI:<<https://doi.org/10.1080/17483107.2018.1447611>>. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/17483107.2018.1447611>>. Citado na página 21.
- COCKRELL, S.; LEE, G.; NEWMAN, W. Determining navigability of terrain using point cloud data. In: *2013 IEEE 13th International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR)*. IEEE, 2013. p. 1–6. ISBN 978-1-4673-6024-1. ISSN 19457898. DOI:<<https://doi.org/10.1109/ICORR.2013.6650496>>. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/6650496/>>. Citado na página 33.
- COOK, A. M.; POLGAR, J. M.; ENCARNAÇÃO, P. Technologies That Assist People Who Have Disabilities. In: *Assistive Technologies*. [S.l.]: Elsevier, 2020. p. 16–30. DOI:<<https://doi.org/10.1016/b978-0-323-52338-7.00002-0>>. Citado 2 vezes nas páginas 29 e 30.
- Cooper, R. A. et al. Analysis of position and isometric joysticks for powered wheelchair driving. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, v. 47, n. 7, p. 902–910, 2000. DOI:<<https://doi.org/10.1109/10.846684>>. Citado na página 23.
- Curtiss-Wright Corporation. *Vr2 Drive Control | Curtiss-Wright*. 2019. Disponível em: <<http://archive.today/9qUbc>>. Citado na página 35.
- DIEZ, P. F. et al. Commanding a robotic wheelchair with a high-frequency steady-state visual evoked potential based brain–computer interface. *Medical Engineering & Physics*, Elsevier, v. 35, n. 8, p. 1155–1164, aug 2013. ISSN 13504533. DOI:<<https://doi.org/10.1016/j.medengphy.2012.12.005>>. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1350453312003335>>. Citado na página 32.
- Ding, D.; Cooper, R. A. Electric powered wheelchairs. *IEEE Control Systems Magazine*, v. 25, n. 2, p. 22–34, 2005. DOI:<<https://doi.org/10.1109/MCS.2005.1411382>>. Citado 2 vezes nas páginas 22 e 23.
- EDITAL Tecnologia Assitiva no Brasil e Estudos sobre Deficiência (PGPTA) N° 59/ 2014. Brasília, 2014. Disponível em: <http://capes.gov.br/images/stories/download/editais/Edital_059_2014_TecnologiaAssistiva_PGPTA.pdf>. Acesso em: 29 jul 2020. Citado na página 21.
- ELETROGATE. *Módulo Chave Fim de Curso para Impressora 3D RepRap e CNC*. [S.l.], 2020. Disponível em: <<http://archive.today/HrTPZ>>. Citado na página 57.
- ELETROGATE. *Mega 2560 R3 + Cabo Usb para Arduino*. [S.l.], 2020. Disponível em: <<http://archive.today/eO4cb>>. Citado na página 56.

- EYEDRIVOMATIC. *The Hardware – Eyedrivomatic*. 2018. Disponível em: <<http://archive.today/K0s49>>. Citado na página 40.
- EYEDRIVOMATIC. *Eyedrivomatic – Drive Your Wheelchair With Just Your Eyes*. 2020. Disponível em: <<http://archive.today/gnBPf>>. Citado na página 40.
- Eyegaze Inc. *Eye Gaze Device | Eye Gaze Technology | LC Technology*. 2020. Disponível em: <<http://archive.today/xe29j>>. Citado na página 40.
- FERNANDEZ-CARMONA, M. et al. Efficiency based collaborative control modulated by biometrics for wheelchair assisted navigation. In: *2009 IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics*. IEEE, 2009. p. 737–742. ISBN 978-1-4244-3788-7. DOI:<<https://doi.org/10.1109/ICORR.2009.5209573>>. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/5209573/>>. Citado na página 32.
- FERRELL, W. R. Remote manipulation with transmission delay. *IEEE Transactions on Human Factors in Electronics*, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), HFE-6, n. 1, p. 24–32, sep 1965. ISSN 0096-249X. DOI:<<https://doi.org/10.1109/THFE.1965.6591253>>. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/6591253/>>. Citado na página 69.
- FILIPEFLOP. *Driver Motor de Passo DRV8825 - FilipeFlop*. [S.l.], 2020. Disponível em: <<http://archive.today/f0c0v>>. Citado na página 57.
- FLECK, M. P. et al. Aplicação da versão em português do instrumento abreviado de avaliação da qualidade de vida “WHOQOL-bref”. *Revista de Saúde Pública*, Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, v. 34, n. 2, p. 178–183, 2000. ISSN 0034-8910. DOI:<<https://doi.org/10.1016/10.1590/0034-89102000000200012>>. Disponível em: <https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-89102000000200012>. Citado na página 26.
- HACKADAY. *The Gaze-Controlled Wheelchair That Won The Hackaday Prize | Hackaday*. 2015. Disponível em: <<http://archive.today/c3gvu>>. Citado na página 40.
- HADJ-ABDELKADER, M. A.; BOURHIS, G.; CHERKI, B. Haptic feedback control of a smart wheelchair. *Applied Bionics and Biomechanics*, Hindawi Limited, v. 9, n. 2, p. 181–192, 2012. ISSN 17542103. DOI:<<https://doi.org/10.3233/ABB-2012-0067>>. Disponível em: <<https://www.hindawi.com/journals/abb/2012/921982/>>. Citado na página 32.
- HAGENGRUBER, A.; LEIDNER, D.; VOGEL, J. EDAN - EMG-controlled daily assistant. In: *Proceedings of the Companion of the 2017 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*. New York, NY, USA: ACM, 2017. p. 409–409. ISBN 9781450348850. ISSN 21672148. DOI:<<https://doi.org/10.1145/3029798.3036648>>. Disponível em: <<https://dl.acm.org/doi/10.1145/3029798.3036648>>. Citado na página 34.
- HE, S. et al. A P300-Based Threshold-Free Brain Switch and Its Application in Wheelchair Control. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., v. 25, n. 6, p. 715–725, jun 2017. ISSN 1534-4320. DOI:<<https://doi.org/10.1109/TNSRE.2016.2591012>>. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7511656/>>. Citado na página 39.

HELD, R.; EFSTATHIOU, A.; GREENE, M. Adaptation to displaced and delayed visual feedback from the hand. *Journal of Experimental Psychology*, v. 72, n. 6, p. 887–891, dec 1966. ISSN 0022-1015. DOI:<<https://doi.org/10.1037/h0023868>>. Citado na página 69.

HOLLER, J. D. *UTILIZING CAPABILITY DATA TO INCREASE DESIGN UNIVERSALITY*. 53 p. Tese (Doutorado) — The Pennsylvania State University, 2010. Citado na página 30.

HOBOBOX. *HOBOBOX ONE :: Home*. 2020. Disponível em: <<http://archive.today/sFdl3>>. Citado na página 41.

HUANG, Q. et al. An EOG-Based Human–Machine Interface for Wheelchair Control. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, IEEE Computer Society, v. 65, n. 9, p. 2023–2032, sep 2018. ISSN 0018-9294. DOI:<<https://doi.org/10.1109/TBME.2017.2732479>>. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7994682/>>. Citado na página 38.

IBGE. *Pesquisa Nacional de Saúde:2013:Ciclos de Vida*. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv94522.pdf>>. Acesso em: 21 jul 2020. Citado na página 20.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 9999:2016: Assistive products for persons with disability - classification and terminology*. Genebra, Suíça, 2016. 120 p. Disponível em: <<https://www.iso.org/standard/60547.html>>. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 29.

Invacare International GmbH. *Invacare TDX SP2 Ultra low maxx power wheelchair - Invacare Europe*. 2018. Disponível em: <<http://archive.today/oUBOH>>. Citado na página 35.

ISHII, C.; KONISHI, R. A Control of Electric Wheelchair Using an EMG Based on Degree of Muscular Activity. In: *2016 Euromicro Conference on Digital System Design (DSD)*. IEEE, 2016. p. 567–574. ISBN 978-1-5090-2817-7. DOI:<<https://doi.org/10.1109/DSD.2016.19>>. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7723601/>>. Citado 2 vezes nas páginas 42 e 43.

ISKANDAR, M. et al. Employing Whole-Body Control in Assistive Robotics. In: *2019 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*. IEEE, 2019. p. 5643–5650. ISBN 978-1-7281-4004-9. ISSN 21530866. DOI:<<https://doi.org/10.1109/IROS40897.2019.8967772>>. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8967772/>>. Citado na página 34.

JIANG, L. et al. Motor imagery controlled wheelchair system. In: *2014 9th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications*. IEEE, 2014. p. 532–535. ISBN 978-1-4799-4315-9. DOI:<<https://doi.org/10.1109/ICIEA.2014.6931221>>. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/6931221/>>. Citado na página 39.

JOHNK, C. *Do You Remember the Typewriter? New Exhibit Explores the History!* [S.l.], 2015. Disponível em: <<http://archive.today/HyCaw>>. Acesso em: 28 ago 2020. Citado na página 29.

KIM, J. et al. The Tongue Enables Computer and Wheelchair Control for People with Spinal Cord Injury. *Science Translational Medicine*, American Association for the Advancement of Science, v. 5, n. 213, p. 213ra166–213ra166, nov 2013. ISSN

- 1946-6234. DOI:<<https://doi.org/10.1126/scitranslmed.3006296>>. Disponível em: <<https://stm.sciencemag.org/lookup/doi/10.1126/scitranslmed.3006296>>. Citado na página 38.
- KIRSHBLUM, S. C. et al. International standards for neurological classification of spinal cord injury (Revised 2011). *The Journal of Spinal Cord Medicine*, Taylor & Francis, v. 34, n. 6, p. 535–546, nov 2011. ISSN 1079-0268. DOI:<<https://doi.org/10.1179/204577211X13207446293695>>. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1179/204577211X13207446293695>>. Citado na página 25.
- KLUTHCOVSKY, A. C. G.; KLUTHCOVSKY, F. A. O WHOQOL-bref, um instrumento para avaliar qualidade de vida: Uma revisão sistemática. *Revista de Psiquiatria do Rio Grande do Sul*, v. 31, n. 3 SUPPL., p. 1–12, 2009. ISSN 01018108. DOI:<<https://doi.org/10.1590/S0101-81082009000400007>>. Disponível em: <https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-81082009000400007>. Citado na página 26.
- KOBAYASHI, Y. et al. Robotic Wheelchair Moving with Caregiver Collaboratively. In: *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2012. v. 6839 LNAI, p. 523–532. ISBN 9783642259432. DOI:<https://doi.org/10.1007/978-3-642-25944-9_68>. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-25944-9_68>. Citado na página 33.
- LEAMAN, J.; LA, H. M. A Comprehensive Review of Smart Wheelchairs: Past, Present, and Future. *IEEE TRANSACTIONS ON HUMAN-MACHINE SYSTEMS*, IEEE, 445 HOES LANE, PISCATAWAY, NJ 08855-4141 USA, 47, n. 4, p. 486–499, AUG 2017. ISSN 2168-2291. DOI:<<https://doi.org/10.1109/THMS.2017.2706727>>. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7942067>>. Citado 4 vezes nas páginas 21, 31, 32 e 33.
- LOBA, C. M. *Enable Viacam*. [S.l.], 2017. Disponível em: <<https://eviacam.crea-si.com/index.php>>. Acesso em: 28 ago 2020. Citado na página 60.
- MACE, R. L.; HARDIE, G. J.; PLACE, J. P. *Accessible Environments: Toward Universal Design*. Raleigh: Center for Accessible Housing, North Carolina State University, 1990, 1991. 32 p. Disponível em: <https://projects.ncsu.edu/ncsu/design/cud/pubs_p/docs/ACCEnvironments.pdf>. Citado na página 30.
- MASINI, M. Estimativa da incidência e prevalência de lesão medular no Brasil. *Jbnc - Jornal Brasileiro De Neurocirurgia*, v. 12, n. 2, p. 97–100, 2018. ISSN 2446-6786. DOI:<<https://doi.org/10.22290/jbnc.v12i2.385>>. Disponível em: <<https://jbnc.emnuvens.com.br/jbnc/article/view/385>>. Citado na página 25.
- MICROSOFT. *Eye Control for Windows 10*: Allows users to operate an onscreen mouse, keyboard, and text-to-speech experience using only their eyes. [S.l.], 2019. Disponível em: <<http://archive.today/8FOsy>>. Acesso em: 28 ago 2020. Citado na página 61.
- Mougharbel, I. et al. Comparative study on different adaptation approaches concerning a sip and puff controller for a powered wheelchair. In: *2013 Science and Information Conference*. [S.l.: s.n.], 2013. p. 597–603. Citado na página 37.

- NowTechnologies Ltd. *GyroSet™Vigo / The future of wheelchair head control*. 2019. Disponível em: <<http://archive.today/35leG>>. Citado na página 37.
- NSK. *Rolamentos axiais de esferas*. [S.l.], 2020. Disponível em: <<http://archive.today/tw2Gq>>. Citado na página 55.
- NUMOTION. *Alternative Access Controls for Adult Power Wheelchairs / Numotion*. 2020. Disponível em: <<http://archive.today/3roNI>>. Citado na página 36.
- Ottobock SE & Co. KGaA. *Special controls / Ottobock Export*. 2017. Disponível em: <<http://archive.today/l2Ibf>>. Citado na página 36.
- PAJKANOVIC, A.; DOKIC, B. Wheelchair control by head motion. *Serbian Journal of Electrical Engineering*, National Library of Serbia, v. 10, n. 1, p. 135–151, 2013. ISSN 1451-4869. DOI:<<https://doi.org/10.2298/SJEE1301135P>>. Disponível em: <<http://www.doiserbia.nb.rs/Article.aspx?ID=1451-48691301135P>>. Citado na página 42.
- PALSDOTTIR, A. A. et al. Remote Tongue Based Control of a Wheelchair Mounted Assistive Robotic Arm – a proof of concept study. In: *2019 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA)*. IEEE, 2019. p. 1300–1304. ISBN 978-1-7281-1698-3. DOI:<<https://doi.org/10.1109/ICMA.2019.8816415>>. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8816415/>>. Citado na página 34.
- Permobil AB. *Sip & Puff System - Permobil*. 2020. Disponível em: <<http://archive.today/koEvu>>. Citado na página 37.
- PINHEIRO, P. G.; PINHEIRO, C. G.; CARDOZO, E. The Wheelie — A facial expression controlled wheelchair using 3D technology. In: *2017 26th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)*. IEEE, 2017. v. 2017-Janua, p. 271–276. ISBN 978-1-5386-3518-6. DOI:<<https://doi.org/10.1109/ROMAN.2017.8172313>>. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/8172313/>>. Citado na página 41.
- REIS, L. P. et al. Invited Paper: Multimodal Interface for an Intelligent Wheelchair. In: *Lecture Notes in Electrical Engineering*. Springer Verlag, 2015. v. 325, p. 1–34. DOI:<https://doi.org/10.1007/978-3-319-10891-9_1>. Disponível em: <https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-10891-9_1>. Citado na página 32.
- REN, Y. et al. A docking control method in narrow space for intelligent wheelchair. In: *2012 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation*. IEEE, 2012. p. 1615–1620. ISBN 978-1-4673-1278-3. DOI:<<https://doi.org/10.1109/ICMA.2012.6284378>>. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/6284378/>>. Citado na página 33.
- RUPANAGUDI, S. R. et al. A Video Processing Based Eye Gaze Recognition Algorithm for Wheelchair Control. In: *2019 10th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT)*. IEEE, 2019. p. 241–247. ISBN 978-1-7281-1733-1. DOI:<<https://doi.org/10.1109/DESSERT.2019.8770025>>. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8770025/>>. Citado 2 vezes nas páginas 38 e 39.

Secretaria Nacional de Promoção dos Direitos da Pessoa com Deficiência - SNPD. *Avanços das Políticas Públicas para as Pessoas com Deficiência Uma análise a partir das Conferências Nacionais*. Brasília: [s.n.], 2012. Disponível em: <<https://www.gov.br/mdh/pt-br/centrais-de-conteudo/pessoa-com-deficiencia/avancos-das-politicas-publicas-para-as-pessoas-com-deficiencia/view>>. Acesso em: 27 jul 2020. Citado na página 20.

Secretaria Nacional de Promoção dos Direitos da Pessoa com Deficiência - SNPD. *III CONFERÊNCIA NACIONAL DOS DIREITOS DA PESSOA COM DEFICIÊNCIA RELATÓRIO FINAL*. Brasília: [s.n.], 2012. Disponível em: <<https://www.gov.br/mdh/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/orgaos-colegiados/conade/anais-iii-conferencia.pdf/view>>. Acesso em: 29 jul 2020. Citado na página 20.

Secretaria Nacional de Promoção dos Direitos da Pessoa com Deficiência - SNPD. *Viver sem Limite - Plano Nacional dos Direitos da Pessoa com Deficiência*. Brasília: [s.n.], 2013. Disponível em: <<https://www.gov.br/mdh/pt-br/centrais-de-conteudo/pessoa-com-deficiencia/cartilha-viver-sem-limite-plano-nacional-dos-direitos-da-pessoa-com-deficiencia/view>>. Acesso em: 27 jul 2020. Citado na página 20.

Secretaria Nacional de Promoção dos Direitos da Pessoa com Deficiência - SNPD. *Anais da 4ª Conferência Nacional dos Direitos da Pessoa com Deficiência*. Brasília: [s.n.], 2016. Disponível em: <<https://www.gov.br/mdh/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/orgaos-colegiados/conade/anais-iv-conferencia.pdf/view>>. Acesso em: 29 jul 2020. Citado na página 21.

SERMENO-VILLALTA, H.; SPLETZER, J. Vision-based control of a smart wheelchair for the automated transport and retrieval system (ATRS). In: *Proceedings 2006 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2006. ICRA 2006*. IEEE, 2006. v. 2006, p. 3423–3428. ISBN 0-7803-9505-0. ISSN 10504729. DOI:<<https://doi.org/10.1109/ROBOT.2006.1642225>>. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/1642225/>>. Citado na página 32.

SHAFII, N. et al. Autonomous Interactive Object Manipulation and Navigation Capabilities for an Intelligent Wheelchair. In: *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*. Springer Verlag, 2017. v. 10423 LNAI, p. 473–485. ISBN 9783319653396. DOI:<https://doi.org/10.1007/978-3-319-65340-2_39>. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-65340-2_39>. Citado na página 34.

SHERIDAN, T. Space teleoperation through time delay: review and prognosis. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, v. 9, n. 5, p. 592–606, 1993. ISSN 1042296X. DOI:<<https://doi.org/10.1109/70.258052>>. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/258052/>>. Citado na página 69.

STAHL, J. Eye Movement Recording. In: *Encyclopedia of the Neurological Sciences*. Elsevier, 2014. p. 245–247. ISBN 9780123851574. DOI:<<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385157-4.00127-5>>. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780123851574001275>>. Citado na página 38.

STORY, M. F. Maximizing Usability: The Principles of Universal Design. *Assistive Technology*, Taylor & Francis Group, v. 10, n. 1, p. 4–12, jun 1998. ISSN

19493614. DOI:<<https://doi.org/10.1080/10400435.1998.10131955>>. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10400435.1998.10131955>>. Citado na página 30.

The National Science Foundation. *Partnerships for Innovation: Accelerating Innovation Research - Technology Translation (PFI:AIR-TT)*: Program Solicitation NSF 13-575. [S.l.], 2013. Disponível em: <<http://archive.today/qQgwk>>. Acesso em: 28 ago 2020. Citado na página 44.

Thorp, E. B. et al. Upper body-based power wheelchair control interface for individuals with tetraplegia. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, v. 24, n. 2, p. 249–260, 2016. DOI:<<https://doi.org/10.1109/TNSRE.2015.2439240>>. Citado na página 22.

UNIVERSITY OF PUERTO RICO. Raul Edmir Torres-Muniz, Sergio E Garcia-Vegara, Baldin Lorens-Bonilla, Daphne Sanchez-Cordero e Mauricio Lizama. *Switch-actuated joystick for power wheelchairs*. 2014. US 8,622,166 B1, 30 ago. 2012, 7 jan. 2014. Citado 2 vezes nas páginas 41 e 42.

Tribunal de Contas da União. *Relatório de políticas e programas de governo*. [S.l.], 2018. Disponível em: <<http://archive.today/ZyOXz>>. Acesso em: 27 ago 2020. Citado na página 21.

TYAGI, V.; GUPTA, N. K.; TYAGI, P. K. Smart wheelchair using fuzzy inference system. In: *2013 IEEE Global Humanitarian Technology Conference: South Asia Satellite (GHTC-SAS)*. IEEE, 2013. p. 175–180. ISBN 978-1-4799-1095-3. DOI:<<https://doi.org/10.1109/GHTC-SAS.2013.6629911>>. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/6629911/>>. Citado na página 33.

WHO. *World Report On Disability*. Geneva: [s.n.], 2011. 1–325 p. DOI:<<https://doi.org/10.1136/ip.2007.018143>>. ISSN 1353-8047. ISBN 978 92 4 068521 5. Disponível em: <https://www.who.int/disabilities/world_report/2011/report.pdf?ua=1>. Citado na página 20.

WHO. *Global Cooperation on Assistive Technology (GATE)*. [S.l.], 2015. Disponível em: <<http://archive.today/WR2Nt>>. Acesso em: 07 set 2020. Citado na página 68.

WHO. *Assistive technology*. [S.l.], 2020. Disponível em: <<http://archive.today/fDWZX>>. Acesso em: 28 ago 2020. Citado na página 21.

WHO. *Assistive technology*. [S.l.], 2020. Disponível em: <<http://archive.today/agoFL>>. Acesso em: 28 ago 2020. Citado na página 27.

WHO. *Global Cooperation on Assistive Technology (GATE)*. [S.l.], 2020. Disponível em: <<http://archive.today/XSWk4>>. Acesso em: 28 ago 2020. Citado na página 21.

WHO. *Policy brief: Access to assistive technology*. 2020. 8 p. Disponível em: <<https://www.who.int/publications/i/item/978-92-4-000504-4>>. Citado na página 22.

WOHLAUER, M. V.; CONNER, A. K. P.; BEAUCHAMP, K. M. Quadriplegia. In: VINCENT, J.-L.; HALL, J. B. (Ed.). *Encyclopedia of Intensive Care Medicine*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2012. p. 1939–1943. ISBN 978-3-642-00417-9. DOI:<https://doi.org/10.1007/978-3-642-00418-6_509>. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-00418-6_509>. Citado na página 25.

ZHONG, M. et al. Assistive Grasping Based on Laser-point Detection with Application to Wheelchair-mounted Robotic Arms. *Sensors*, MDPI AG, v. 19, n. 2, p. 14, jan 2019. ISSN 1424-8220. DOI:<<https://doi.org/10.3390/s19020303>>. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/1424-8220/19/2/303>>. Citado na página 33.

Anexos

ANEXO A – Pedido de Depósito de Patente



**Pedido nacional de Invenção, Modelo de Utilidade, Certificado de
Adição de Invenção e entrada na fase nacional do PCT**

Número do Processo: BR 20 2019 003285 0

Dados do Depositante (71)

Depositante 1 de 1

Nome ou Razão Social: UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Tipo de Pessoa: Pessoa Jurídica

CPF/CNPJ: 25648387000118

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Jurídica: Instituição de Ensino e Pesquisa

Endereço: Av. João Naves de Ávila, 2121 - Campus Santa Mônica - Reitoria

Cidade: Uberlândia

Estado: MG

CEP: 38400-902

País: Brasil

Telefone: (34)3239 4977

Fax:

Email: propriedade@intelecto.ufu.br

Dados do Pedido

Natureza Patente: 20 - Modelo de Utilidade (MU)

Título da Invenção ou Modelo de Utilidade (54): DISPOSITIVO UNIVERSAL PARA ACIONAMENTO DE JOYSTICK DE CADEIRA DE RODAS MOTORIZADA

Resumo: O presente modelo de utilidade aqui referido consiste em um sistema eletromecânico/robótico de acionamento de joystick de Cadeira de Rodas Motorizada (CRM) por meio de comandos alternativos através de emulação de mouse sobre uma interface/tela contendo as direções e botões desse mesmo joystick. O sistema permite a adaptação de uma CRM convencional para comandos alternativos que podem se dar por diferentes métodos de entrada, como movimento labial, movimento da cabeça, comandos oculares, comandos musculares e quaisquer outros movimentos que podem ser usados para movimentar um cursor em duas dimensões. Ela inclui: monitor, sensores para comandos alternativos, microcomputador de baixo custo (como Raspberry Pi), motores (servomotores ou motores de passo), mecanismo de posicionamento dos motores, software de comando dos motores, software de interface.

Figura a publicar: 1

Dados do Inventor (72)

Inventor 1 de 3

Nome: EDUARDO LÁZARO MARTINS NAVES

CPF: 69133956634

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Física: Professor do ensino superior

Endereço: Rua Planalto n° 120 – Apto 803A, Bairro Santa Mônica

Cidade: Uberlândia

Estado: MG

CEP: 38408-064

País: BRASIL

Telefone:

Fax:

Email:

Inventor 2 de 3

Nome: THIAGO SÁ DE PAIVA

CPF: 05016644675

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Física: Mestrando

Endereço: Av. Dr. Laerte Vieira Gonçalves 808 apto, 203

Cidade: Uberlândia

Estado: MG

CEP: 38408-176

País: BRASIL

Telefone:

Fax:

Email:

Inventor 3 de 3

**PETICIONAMENTO
ELETRÔNICO**

Esta solicitação foi enviada pelo sistema Peticionamento Eletrônico em 18/02/2019 às 16:41, Petição 870190016429

Nome: FELIPE ROQUE MARTINS

CPF: 06256973674

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Física: Doutorando

Endereço: Rua Patrulheiro Osmar Tavares 1475 apto 102, Bairro Santa Mônica

Cidade: Uberlândia

Estado: MG

CEP: 38408-294

País: BRASIL

Telefone:

Fax:

Email:

Documentos anexados

Tipo Anexo	Nome
Comprovante de pagamento de GRU 200	GRU.pdf
Declaração de inventor	eduardo.pdf
Declaração de inventor	thiago declaração.pdf
Declaração de inventor	felipe.pdf
Relatório Descritivo	RELATORIO DESCRITIVO.pdf
Reivindicação	REIVINDICAÇÕES.pdf
Desenho	FIGURAS.pdf
Resumo	RESUMO.pdf

Acesso ao Patrimônio Genético

- Declaração Negativa de Acesso - Declaro que o objeto do presente pedido de patente de invenção não foi obtido em decorrência de acesso à amostra de componente do Patrimônio Genético Brasileiro, o acesso foi realizado antes de 30 de junho de 2000, ou não se aplica.

Declaração de veracidade

- Declaro, sob as penas da lei, que todas as informações acima prestadas são completas e verdadeiras.

**PETICIONAMENTO
ELETRÔNICO**

Esta solicitação foi enviada pelo sistema Petição Eletrônica em 18/02/2019 às 16:41, Petição 870190016429



INPI INSTITUTO
NACIONAL DA
PROPRIEDADE
INDUSTRIAL

Revista da
**Propriedade
Industrial**

Nº 2512
26 de Fevereiro de 2019

Patentes
Seção VI

(21) BR 20 2019 003200-1	Código 2.10 - Requerimento de Pedido de Patente ou Certificado de Adição de Invenção (22) 15/02/2019 (71) LARISSA MILA FERREIRA (BR/SP) Número de Protocolo '870190015920' em 15/02/2019 18:42 (WB)
(21) BR 20 2019 003209-5	Código 2.10 - Requerimento de Pedido de Patente ou Certificado de Adição de Invenção (22) 16/02/2019 (71) ALEXANDRE HENRIQUE FRANCIOSI SILVA (BR/SP) Número de Protocolo '870190015977' em 16/02/2019 01:51 (WB)
(21) BR 20 2019 003212-5	Código 2.10 - Requerimento de Pedido de Patente ou Certificado de Adição de Invenção (22) 16/02/2019 (71) INDUSTRIA CERAMICA SANTA MARIA LTDA (BR/SP) Número de Protocolo '870190015986' em 16/02/2019 15:38 (WB)
(21) BR 20 2019 003213-3	Código 2.10 - Requerimento de Pedido de Patente ou Certificado de Adição de Invenção (22) 16/02/2019 (71) JUNIOR MIGUEL RODRIGUEZ (BR/MG) Número de Protocolo '870190015987' em 16/02/2019 16:01 (WB)
(21) BR 20 2019 003219-2	Código 2.10 - Requerimento de Pedido de Patente ou Certificado de Adição de Invenção (22) 17/02/2019 (71) JHESSO FERREIRA CARVALHO (BR/GO) Número de Protocolo '870190016006' em 17/02/2019 23:27 (WB)
(21) BR 20 2019 003278-8	Código 2.10 - Requerimento de Pedido de Patente ou Certificado de Adição de Invenção (22) 18/02/2019 (71) ELAINE PAIVA REZENDE (BR/SP) Número de Protocolo '870190016409' em 18/02/2019 16:27 (WB)
(21) BR 20 2019 003285-0	Código 2.10 - Requerimento de Pedido de Patente ou Certificado de Adição de Invenção (22) 18/02/2019 (71) UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA (BR/MG) Número de Protocolo '870190016429' em 18/02/2019 16:41 (WB)

ANEXO B – Registro de Programa de Computador



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DA ECONOMIA
INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL
DIRETORIA DE PATENTES, PROGRAMAS DE COMPUTADOR E TOPOGRAFIAS DE CIRCUITOS INTEGRADOS

Certificado de Registro de Programa de Computador

Processo Nº: **BR512020001986-2**

O Instituto Nacional da Propriedade Industrial expede o presente certificado de registro de programa de computador, válido por 50 anos a partir de 1º de janeiro subsequente à data de 24/09/2020, em conformidade com o §2º, art. 2º da Lei 9.609, de 19 de Fevereiro de 1998.

Título: IAMu - CRM (acrônimo correspondente a interface para Acionamento Multimodal de Cadeira de Rodas Motorizada)

Data de publicação: 24/09/2020

Data de criação: 26/05/2020

Titular(es): UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Autor(es): EDUARDO LÁZARO MARTINS NAVES; THIAGO SÁ DE PAIVA

Linguagem: C#

Campo de aplicação: SD-04

Tipo de programa: AP-01

Algoritmo hash: SHA-256

Resumo digital hash: e8f6ac0cea0c6cca12785af3b7f1a89b38bd855e86afc1772d76e7b1fab97a4

Derivação autorizada: Sim, Na qualidade de titular dos direitos patrimoniais de autor que recaem sobre o Programa de Computador acima citado, em observância à Instrução Normativa n. 47, de 22 de janeiro de 2016, autorizo o INPI a reproduzi-lo para mídia diferenciada da original, mediante cópia digital ou por qualquer outro meio ou suporte que se faça necessário, incluindo a aplicação de métodos de compressão e criptografia, para fins de preservação de seu conteúdo.

Expedido em: 29/09/2020

Aprovado por:

Helmar Alvares

Chefe da DIPTO - Portaria/INPI/DIRPA Nº 09, de 01 de julho de 2019



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DA ECONOMIA
INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL
DIRETORIA DE PATENTES, PROGRAMAS DE COMPUTADOR E TOPOGRAFIAS DE CIRCUITOS INTEGRADOS





REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DA ECONOMIA
INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL
DIRETORIA DE PATENTES, PROGRAMAS DE COMPUTADOR E TOPOGRAFIAS DE CIRCUITOS INTEGRADOS

Certificado de Registro de Programa de Computador

Processo Nº: **BR512020001984-6**

O Instituto Nacional da Propriedade Industrial expede o presente certificado de registro de programa de computador, válido por 50 anos a partir de 1º de janeiro subsequente à data de 24/09/2020, em conformidade com o §2º, art. 2º da Lei 9.609, de 19 de Fevereiro de 1998.

Título: CoMU - CRM (acrônimo correspondente a Comando de Mecanismo Universal de Cadeira de Rodas Motorizada)

Data de publicação: 24/09/2020

Data de criação: 14/07/2020

Titular(es): UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Autor(es): EDUARDO LÁZARO MARTINS NAVES; THIAGO SÁ DE PAIVA

Linguagem: OUTROS

Campo de aplicação: SD-04

Tipo de programa: AP-01

Algoritmo hash: SHA-256

Resumo digital hash: 8dc8b0bde81ec42ac1e1a8eb09ccb1a68452577a8d95ed3473e29df1d23a8291

Derivação autorizada: Sim, Na qualidade de titular dos direitos patrimoniais de autor que recaem sobre o Programa de Computador acima citado, em observância à Instrução Normativa n. 47, de 22 de janeiro de 2016, autorizo o INPI a reproduzi-lo para mídia diferenciada da original, mediante cópia digital ou por qualquer outro meio ou suporte que se faça necessário, incluindo a aplicação de métodos de compressão e criptografia, para fins de preservação de seu conteúdo.

Expedido em: 29/09/2020

Aprovado por:

Helmar Alvares

Chefe da DIPTO - Portaria/INPI/DIRPA Nº 09, de 01 de julho de 2019



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DA ECONOMIA
INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL
DIRETORIA DE PATENTES, PROGRAMAS DE COMPUTADOR E TOPOGRAFIAS DE CIRCUITOS INTEGRADOS



ANEXO C – Publicações

PAIVA, Thiago Sá de; MARTINS, Felipe Roque; NAVES, Eduardo Lázaro Martins. **DISPOSITIVO UNIVERSAL PARA ACIONAMENTO DE JOYSTICK DE CADEIRA DE RODAS MOTORIZADA**. Titular: Universidade Federal de Uberlândia. NºBR 20 2019 003285-0. Depósito: 18 fev. 2019.

SILVA, Daniela de Cássia; SILVA, Marcela Malaquias; PAIVA, Thiago Sá de; PIRES, Roger Amaral; NAVES, Eduardo Lázaro Martins. **DISPOSITIVO PARA AQUISIÇÃO E RECONSTRUÇÃO DA TRAJETÓRIA DE UMA CADEIRA DE RODAS MOTORIZADA**. Titular: Universidade Federal de Uberlândia. NºBR 10 2020 00737-8. Depósito: 13 jan. 2020.

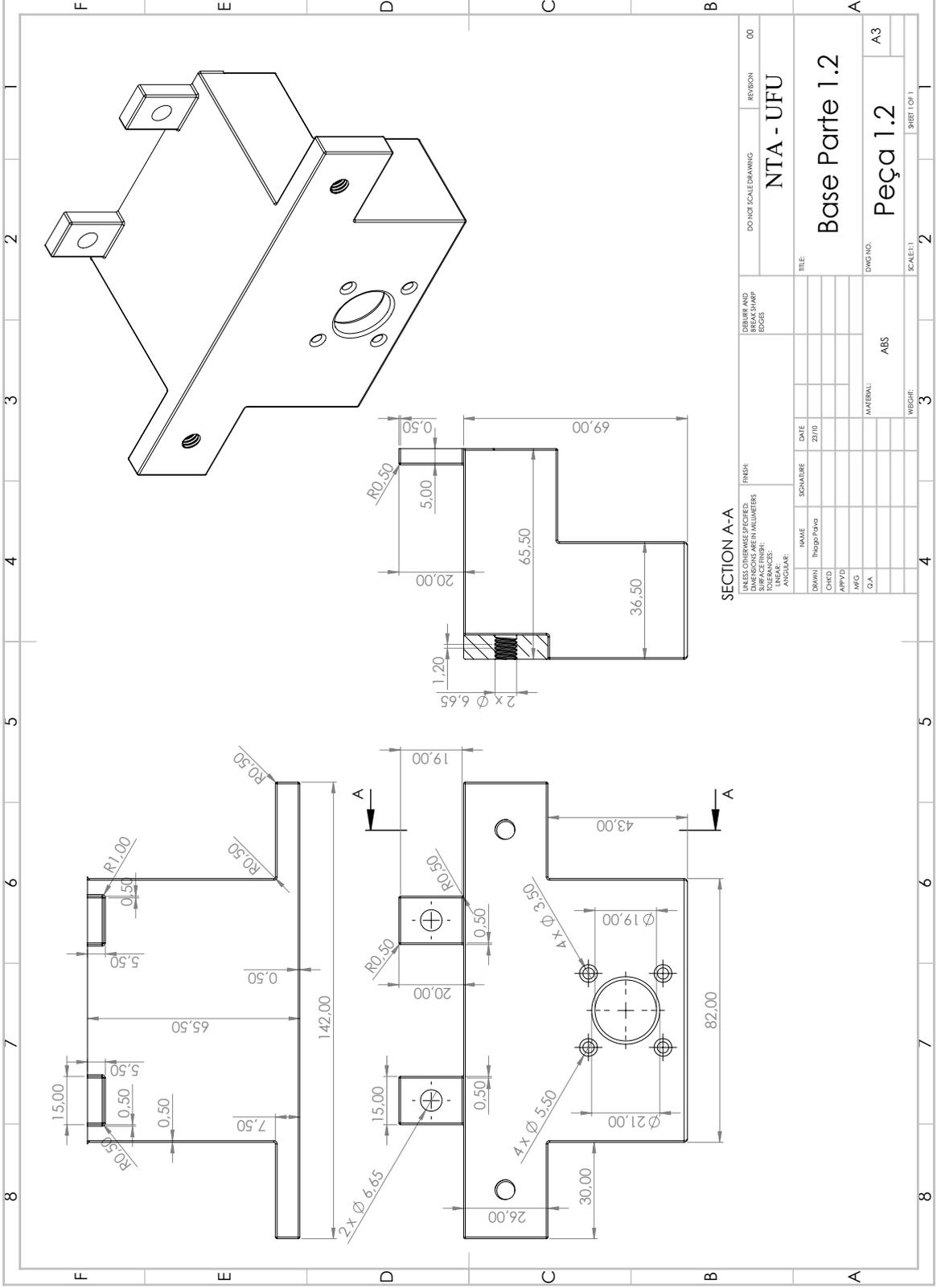
CAETANO, Daniel; . The Augmented Reality Telerehabilitation System for Powered Wheelchair User's Training. *Journal of Communication and Information Systems*, v. 35, n. 1, p. 51–60, 3 mar. 2020. Disponível em: <<https://jcis.sbrt.org.br/jcis/article/view/684>>. Acesso em: 12 set. 2020.

ANEXO D – Artigos aceitos

ALVES, Camille Marques; Rezende, Andressa Rastrelo; Marques, Isabela Alves; Silva, Daniela de Cássia; Paiva, Thiago Sá de; Naves, Eduardo Lázaro Martins. ‘Serious Games and Virtual Reality in the Treatment of Chronic Stroke: Both Sides Rehabilitation’, An. do XXVII Congr. Bras. Engenharia Biomédica.

REZENDE, Andressa Rastrelo; Alves, Camille Marques; Rezende, Marques, Isabela Alves; Silva, Daniela de Cássia; Paiva, Thiago Sá de; Naves, Eduardo Lázaro Martins. ‘Technologies Applied for Elbow Joint Angle Measurements: A Systematic Review’, An. do XXVII Congr. Bras. Engenharia Biomédica.

ANEXO E – Desenhos

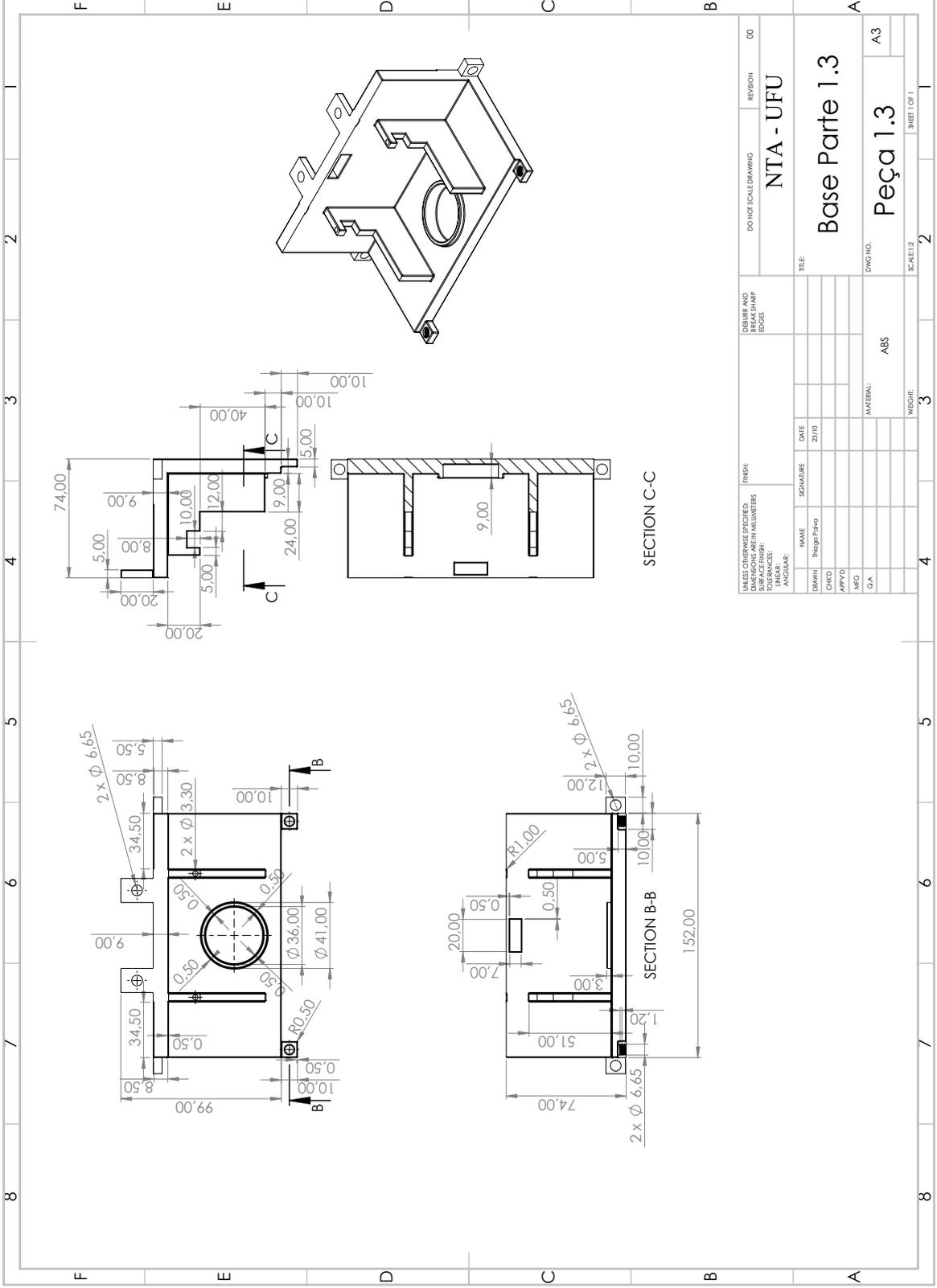


SECTION A-A

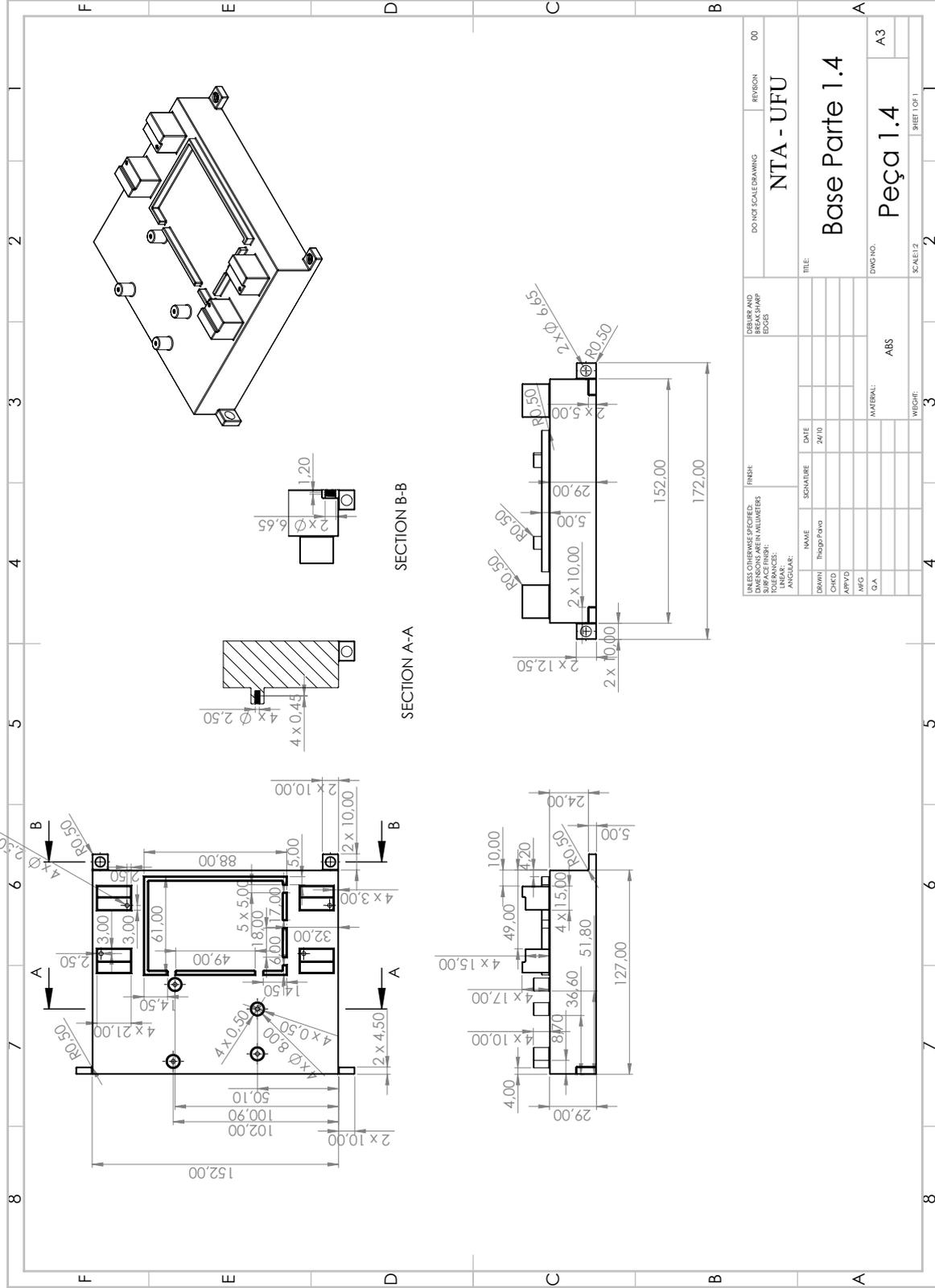
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
ANGULAR:

DESIGN	NAME	SIGNATURE	DATE
DRN/A	TRISTEFANO		20/03
CHKD			
APP'VD			
MFG			
QA			

DEBURR AND REMOVE SHARP EDGES	DON'T SCALE DRAWING	REVISION	00
		NTA - UFU	
Base Parte 1.2			
		DWG NO.	A3
		MATERIAL:	ABS
		SCALE: 1:1	2
		WEIGHT:	3
		SHEET OF 1	1

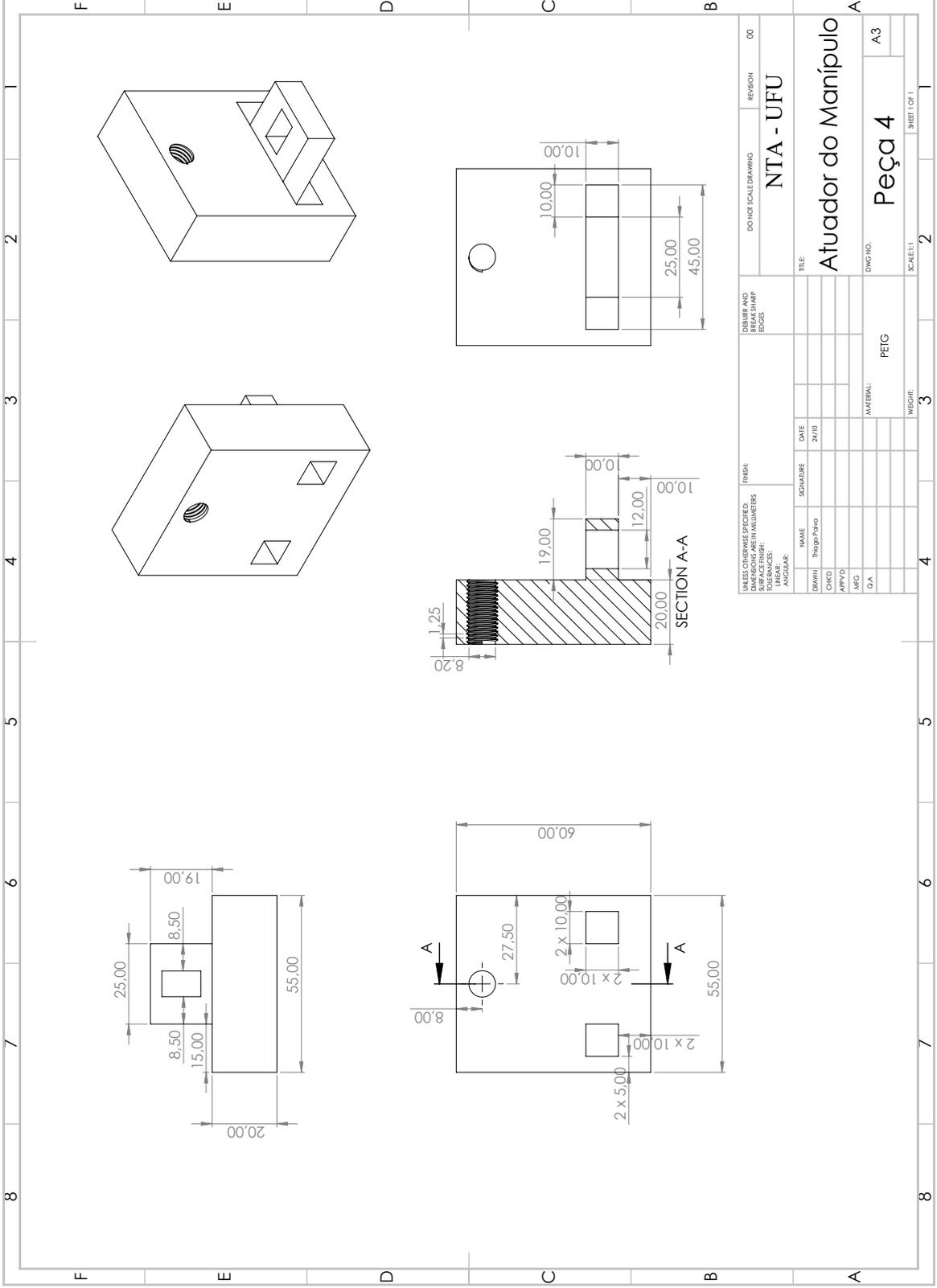


UNLESS OTHERWISE SPECIFIED, DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH:		DEBURR AND REMOVE SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
TOLERANCES:		SURFACE FINISH:		ANGULAR:		TITLE:		00	
±0.10		Ra 0.40		45°		NTA - UFU		Base Parte 1.3	
±0.05		Ra 0.20		90°		Base Parte 1.3		Peça 1.3	
±0.02		Ra 0.10		180°		Base Parte 1.3		A3	
±0.01		Ra 0.05		270°		Base Parte 1.3		A3	
±0.005		Ra 0.025		360°		Base Parte 1.3		A3	
±0.002		Ra 0.0125		450°		Base Parte 1.3		A3	
±0.001		Ra 0.00625		540°		Base Parte 1.3		A3	
±0.0005		Ra 0.003125		630°		Base Parte 1.3		A3	
±0.0002		Ra 0.0015625		720°		Base Parte 1.3		A3	
±0.0001		Ra 0.00078125		810°		Base Parte 1.3		A3	
±0.00005		Ra 0.000390625		900°		Base Parte 1.3		A3	
±0.00002		Ra 0.0001953125		990°		Base Parte 1.3		A3	
±0.00001		Ra 0.00009765625		1080°		Base Parte 1.3		A3	
±0.000005		Ra 0.000048828125		1170°		Base Parte 1.3		A3	
±0.000002		Ra 0.0000244140625		1260°		Base Parte 1.3		A3	
±0.000001		Ra 0.00001220703125		1350°		Base Parte 1.3		A3	
±0.0000005		Ra 0.000006103515625		1440°		Base Parte 1.3		A3	
±0.0000002		Ra 0.0000030517578125		1530°		Base Parte 1.3		A3	
±0.0000001		Ra 0.00000152587890625		1620°		Base Parte 1.3		A3	
±0.00000005		Ra 0.000000762939453125		1710°		Base Parte 1.3		A3	
±0.00000002		Ra 0.0000003814697265625		1800°		Base Parte 1.3		A3	
±0.00000001		Ra 0.00000019073486328125		1890°		Base Parte 1.3		A3	
±0.000000005		Ra 0.000000095367431640625		1980°		Base Parte 1.3		A3	
±0.000000002		Ra 0.0000000476837158203125		2070°		Base Parte 1.3		A3	
±0.000000001		Ra 0.00000002384185791015625		2160°		Base Parte 1.3		A3	
±0.0000000005		Ra 0.000000011920928955078125		2250°		Base Parte 1.3		A3	
±0.0000000002		Ra 0.0000000059604644775390625		2340°		Base Parte 1.3		A3	
±0.0000000001		Ra 0.00000000298023223876953125		2430°		Base Parte 1.3		A3	
±0.00000000005		Ra 0.000000001490116119384765625		2520°		Base Parte 1.3		A3	
±0.00000000002		Ra 0.0000000007450580596923828125		2610°		Base Parte 1.3		A3	
±0.00000000001		Ra 0.00000000037252902984619140625		2700°		Base Parte 1.3		A3	
±0.000000000005		Ra 0.000000000186264514923095703125		2790°		Base Parte 1.3		A3	
±0.000000000002		Ra 0.0000000000931322574615478515625		2880°		Base Parte 1.3		A3	
±0.000000000001		Ra 0.00000000004656612873077392578125		2970°		Base Parte 1.3		A3	
±0.0000000000005		Ra 0.000000000023283064365386962890625		3060°		Base Parte 1.3		A3	
±0.0000000000002		Ra 0.000000000011641532182693484428125		3150°		Base Parte 1.3		A3	
±0.0000000000001		Ra 0.0000000000058207660913467422140625		3240°		Base Parte 1.3		A3	
±0.00000000000005		Ra 0.00000000000291038304567337110703125		3330°		Base Parte 1.3		A3	
±0.00000000000002		Ra 0.000000000001455191522836685553515625		3420°		Base Parte 1.3		A3	
±0.00000000000001		Ra 0.00000000000072759576141684277678125		3510°		Base Parte 1.3		A3	
±0.000000000000005		Ra 0.000000000000363797880708421388390625		3600°		Base Parte 1.3		A3	
±0.000000000000002		Ra 0.0000000000001818989403542106941953125		3690°		Base Parte 1.3		A3	
±0.000000000000001		Ra 0.00000000000009094947017710534709765625		3780°		Base Parte 1.3		A3	
±0.0000000000000005		Ra 0.000000000000045474735088552673548828125		3870°		Base Parte 1.3		A3	
±0.0000000000000002		Ra 0.0000000000000227373675442763367744140625		3960°		Base Parte 1.3		A3	
±0.0000000000000001		Ra 0.00000000000001136868377211316838720703125		4050°		Base Parte 1.3		A3	
±0.00000000000000005		Ra 0.000000000000005684341886056584193603515625		4140°		Base Parte 1.3		A3	
±0.00000000000000002		Ra 0.00000000000000284217094302829209680178125		4230°		Base Parte 1.3		A3	
±0.00000000000000001		Ra 0.000000000000001421085471514146048400890625		4320°		Base Parte 1.3		A3	
±0.000000000000000005		Ra 0.0000000000000007105427357570730242004453125		4410°		Base Parte 1.3		A3	
±0.000000000000000002		Ra 0.00000000000000035527136787853651210022265625		4500°		Base Parte 1.3		A3	
±0.000000000000000001		Ra 0.000000000000000177635683939268256050111328125		4590°		Base Parte 1.3		A3	
±0.0000000000000000005		Ra 0.0000000000000000888178419696341280250556640625		4680°		Base Parte 1.3		A3	
±0.0000000000000000002		Ra 0.00000000000000004440892098481706401252783203125		4770°		Base Parte 1.3		A3	
±0.0000000000000000001		Ra 0.000000000000000022204460492408532006263916015625		4860°		Base Parte 1.3		A3	
±0.00000000000000000005		Ra 0.00000000000000001110223024620426600313195828125		4950°		Base Parte 1.3		A3	
±0.00000000000000000002		Ra 0.000000000000000005551115123102133001565979140625		5040°		Base Parte 1.3		A3	
±0.00000000000000000001		Ra 0.0000000000000000027755575615510665007829895828125		5130°		Base Parte 1.3		A3	
±0.000000000000000000005		Ra 0.00000000000000000138777878077553325039149479140625		5220°		Base Parte 1.3		A3	
±0.000000000000000000002		Ra 0.0000000000000000006938893903877666251957472479140625		5310°		Base Parte 1.3		A3	
±0.000000000000000000001		Ra 0.00000000000000000034694469519388331259787362395828125		5400°		Base Parte 1.3		A3	
±0.0000000000000000000005		Ra 0.00000000000000000017347234759694165629893681195828125		5490°		Base Parte 1.3		A3	
±0.0000000000000000000002		Ra 0.000000000000000000086736173798470828149468405979140625		5580°		Base Parte 1.3		A3	
±0.0000000000000000000001		Ra 0.0000000000000000000433680868992354140747342029895828125		5670°		Base Parte 1.3		A3	
±0.00000000000000000000005		Ra 0.00000000000000000002168404344961770703736710149479140625		5760°		Base Parte 1.3		A3	
±0.00000000000000000000002		Ra 0.000000000000000000010842021724808853518683550747395828125		5850°		Base Parte 1.3		A3	
±0.00000000000000000000001		Ra 0.000000000000000000005421010862404426759341775373695828125		5940°		Base Parte 1.3		A3	
±0.000000000000000000000005		Ra 0.00000000000000000000271050543120221337967088768695828125		6030°		Base Parte 1.3		A3	
±0.000000000000000000000002		Ra 0.000000000000000000001355252715601106689835443843479140625		6120°		Base Parte 1.3		A3	
±0.000000000000000000000001		Ra 0.00000000000000000000067762635780055334491772192195828125		6210°		Base Parte 1.3		A3	
±0.0000000000000000000000005		Ra 0.000000000000000000000338813178900276672458860960979140625		6300°		Base Parte 1.3		A3	
±0.0000000000000000000000002		Ra 0.000000000000000000000169406589450138336222930480479140625		6390°		Base Parte 1.3		A3	
±0.0000000000000000000000001		Ra 0.0000000000000000000000847032947250691681114652402395828125		6480°		Base Parte 1.3		A3	
±0.00000000000000000000000005		Ra 0.0000000000000000000000423516473625345840557276201195828125		6570°		Base Parte 1.3		A3	
±0.00000000000000000000000002		Ra 0.00000000000000000000002117582368126729202786381005979140625		6660°		Base Parte 1.3		A3	
±0.00000000000000000000000001		Ra 0.000000000000000000000010587911840633646013931905029895828125		6750°		Base Parte 1.3		A3	
±0.000000000000000000000000005		Ra 0.0000000000000000000000052939559203168230069659525149479140625		6840°		Base Parte 1.3		A3	
±0.000000000000000000000000002		Ra 0.000000000000000000000002646977960158415034832976257479140625		6930°		Base Parte 1.3		A3	
±0.000000000000000000000000001		Ra 0.00000000000000000000000132348898007920751691648812895828125		7020°		Base Parte 1.3		A3	
±0.0000000000000000000000000005		Ra 0.0000000000000000000000006617444900396037584558244149479140625		7110°		Base Parte 1.3		A3	
±0.0000000000000000000000000002		Ra 0.000000000000000000000000330872245019801879227912207479140625		7200°		Base Parte 1.3		A3	
±0.0000000000000000000000000001		Ra 0.00000000000000000000000016543612250990093961395610373695828125		7290°		Base Parte 1.3		A3	
±0.00000000000000000000000000005		Ra 0.0000000000000000000000000827180612549504698069780518695828125		7380°		Base Parte 1.3		A3	
±0.00000000000000000000000000002		Ra 0.00000000000000000000000004135903062747523490348902593479140625		7470°		Base Parte 1.3		A3	
±0.00000000000000000000000000001		Ra 0.0000000000000000000000000206795153137376174517245129673695828125		7560°		Base Parte 1.3		A3	
±0.000000000000000000000000000005		Ra 0.000000000000000000000000010339757656868808725862256483695828125		7650°		Base Parte 1.3		A3	
±0.000000000000000000000000000002		Ra 0.000000000000000000000000005169878828433444362931128241795828125		7740°		Base Parte 1.3		A3	
±0.000000000000000000000000000001		Ra 0.000000000000000000000000002584939414216722181465564120895828125		7830°		Base Parte 1.3		A3	
±0.0000000000000000000000000000005		Ra 0.000000000000000000000000001292469707108361090732782060479140625		7920°		Base Parte 1.3		A3	
±0.0000000000000000000000000000002		Ra 0.0000000000000000000000000006462348535541705453663910302395828125		8010°		Base Parte 1.3		A3	
±0.0000000000000000000000000000001		Ra 0.0000000000000000000000000003231174267770852726831955151195828125		8100°		Base Parte 1.3		A3	
±0.00000000000000000000000000000005		Ra 0.0000000000000000000000000001615587133885426363415977575979140625		8190°		Base Parte 1.3		A3	
±0.00000000000000000000000000000002		Ra 0.00000000000000000000000000008077							

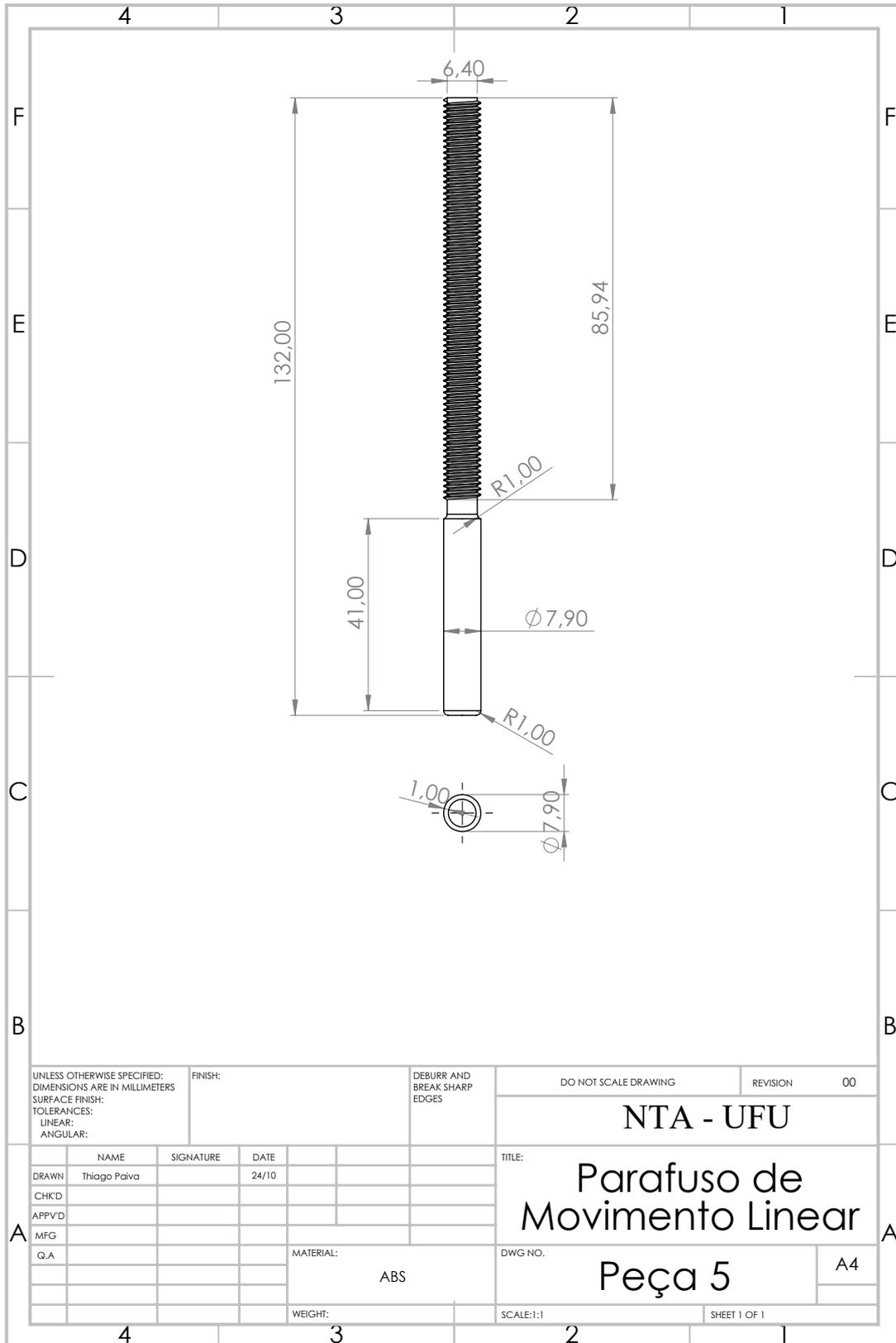


DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	00
NTA - UFU			
Base Parte 1.4			
DEBURR AND REMOVE SHARP EDGES		TITLE	
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: ANGULAR:		DRAWN: <input type="checkbox"/>	
SIGNATURE		DATE	26/11
CHKD:	APP'D:	MATERIAL: ABS	
MFG:	QA:	WEIGHT: 3	
SCALE: 1:2		SHEET 1 OF 1	

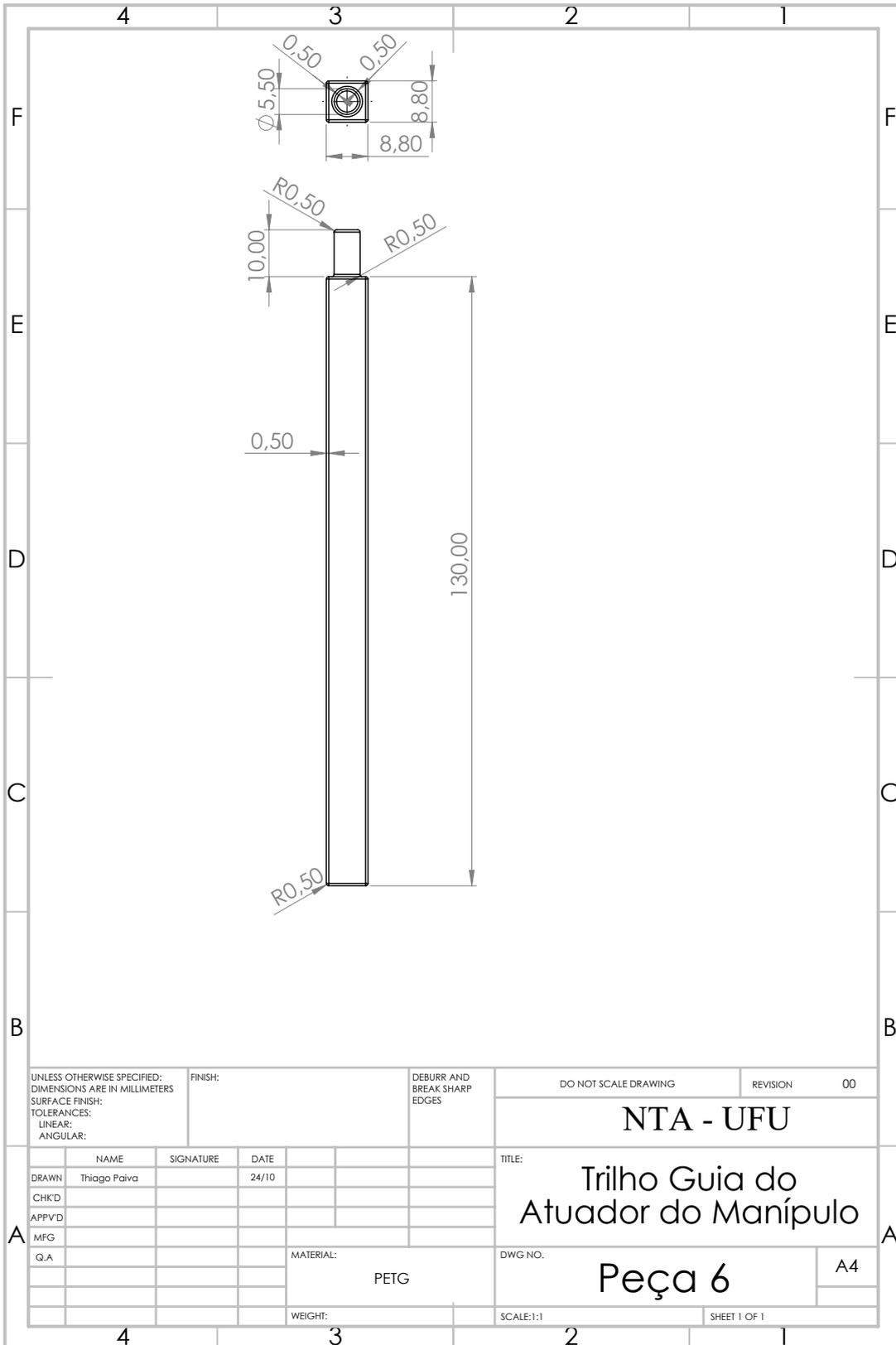
DRAWN: <input type="checkbox"/>		DATE: 26/11	
CHKD:	APP'D:	MATERIAL: ABS	
MFG:	QA:	WEIGHT: 3	
SCALE: 1:2		SHEET 1 OF 1	



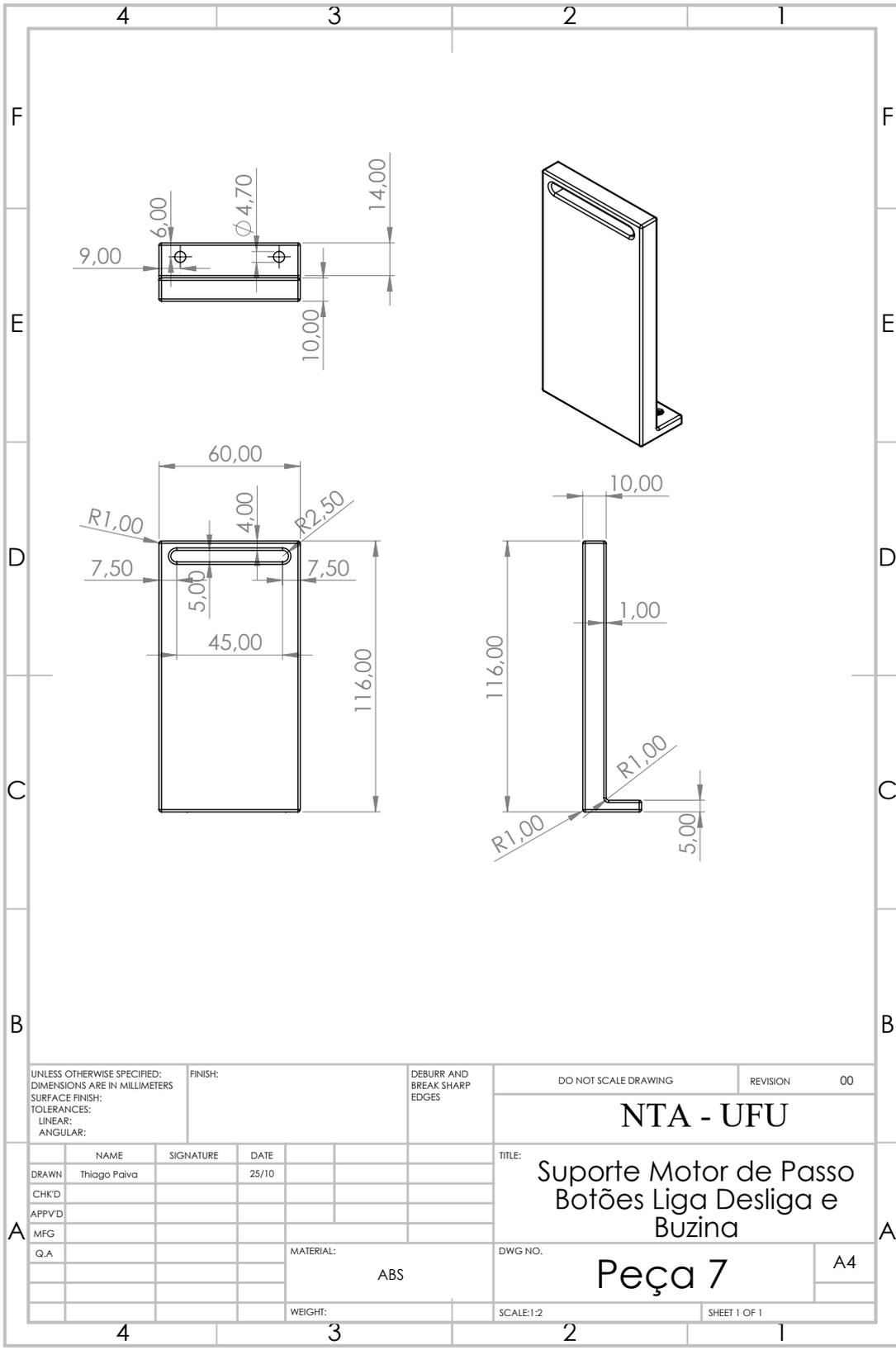
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED, DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH:		DATE:		TITLE:	
SURFACES UNLESS OTHERWISE SPECIFIED ARE TO BE MACHINED TO SHARP EDGES		DRAWN: Proprietario		24/03		NTA - UFU	
TOLERANCES:		CHECKED:				Atuador do Manipulo	
ANGULAR:		APPROVED:				DWG NO. A3	
		MFG:				PEÇA 4	
		QA:				SCALE: 1:1	
		MATERIAL: PEG		WEIGHT:		SHEET 1 OF 1	



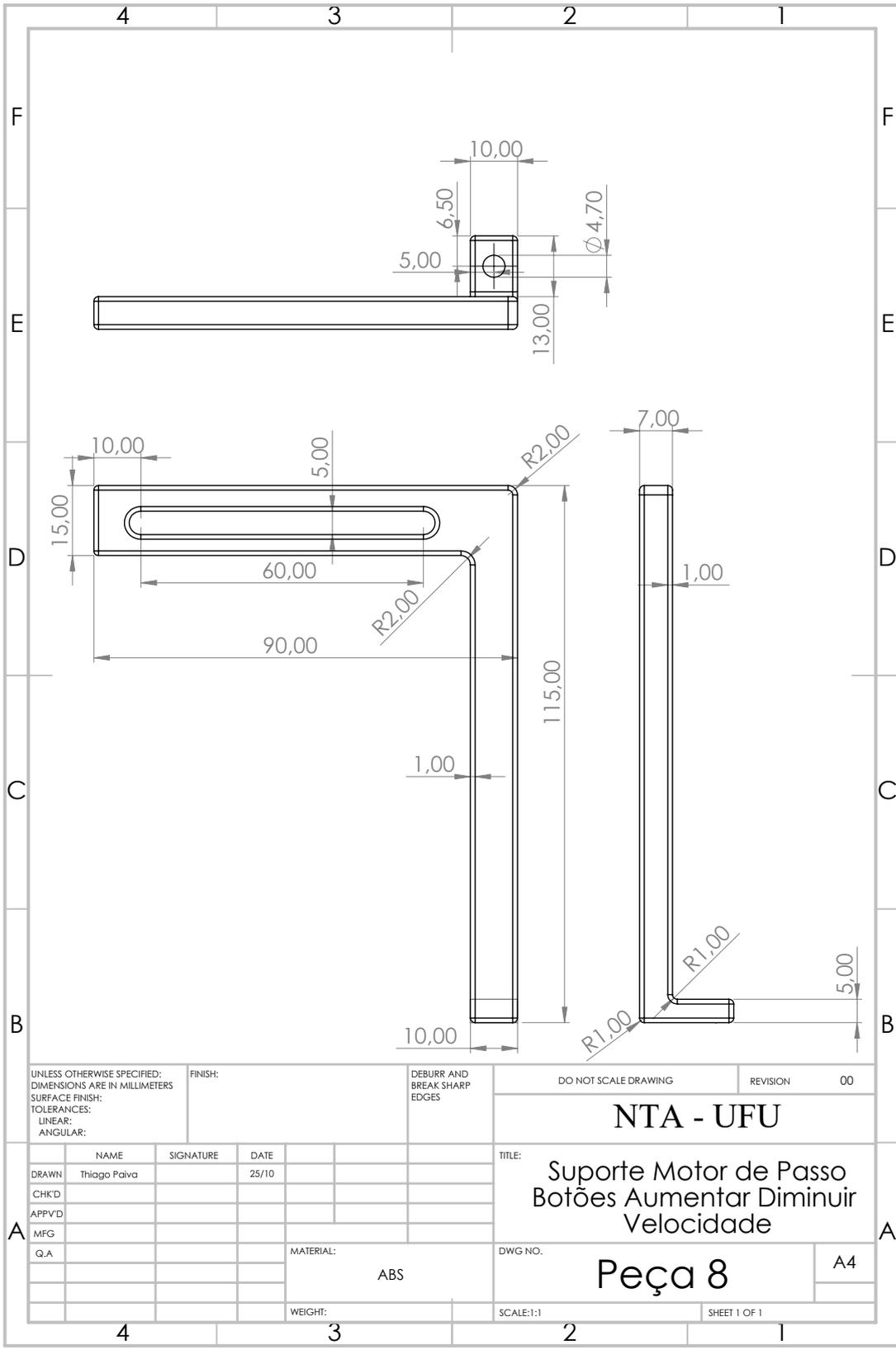
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS			FINISH:			DEBURR AND BREAK SHARP EDGES			DO NOT SCALE DRAWING		REVISION 00		
SURFACE FINISH:			TOLERANCES:			LINEAR:			ANGULAR:			NTA - UFU	
DRAWN		NAME		SIGNATURE		DATE		TITLE:		Parafuso de Movimento Linear			
CHK'D		Thiago Paiva				24/10							
APP'VD										Peça 5			
MFG													A4
Q.A.								MATERIAL:		DWG NO.		SCALE:1:1	
								ABS				SHEET 1 OF 1	
								WEIGHT:					



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS			FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION		00		
SURFACE FINISH:							NTA - UFU						
TOLERANCES:							TITLE:						
LINEAR:							Trilho Guia do Atuador do Manípulo						
ANGULAR:							DWG NO.						
DRAWN			NAME		SIGNATURE		DATE		MATERIAL:			A4	
CHK'D			Thiago Paiva				24/10		PETG				
APP'VD									SCALE:1:1			SHEET 1 OF 1	
MFG									WEIGHT:				
Q.A									Peça 6				



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS			FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION 00		
SURFACE FINISH:							NTA - UFU TITLE: Suporte Motor de Passo Botões Liga Desliga e Buzina				
TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:											
DRAWN		NAME	SIGNATURE		DATE		DWG NO. Peça 7				
CHK'D		Thiago Paiva			25/10						
APP'VD											
MFG											
Q.A											
			MATERIAL:		ABS		SCALE:1:2		SHEET 1 OF 1		
									A4		



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES:
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION 00

NTA - UFU

TITLE:
 Suporte Motor de Passo
 Botões Aumentar Diminuir
 Velocidade

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Thiago Paiva		25/10
CHK'D			
APP'VD			
MFG			
Q.A			

MATERIAL:
 ABS

DWG NO.

Peça 8

A4

WEIGHT:

SCALE:1:1

SHEET 1 OF 1

