

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

CECÍLIA GONÇALVES SOUZA
JÚLIA MARQUES REZENDE

**O USO DE SINAIS ELETROMIOGRÁFICOS (EMG) NO CONTROLE DE UM
MANIPULADOR ROBÓTICO**

JATAÍ-GO
2022



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico/Tecnológico - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Cecília Gonçalves Souza e Julia Marques Rezende
Matrícula: 20171020040266/20171020040037
Título do Trabalho: O USO DE SINAIS ELETROMIOGRÁFICOS (EMG) NO CONTROLE DE UM MANIPULADOR ROBÓTICO

Autorização - Marque uma das opções

1. (x) Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. () Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
3. () Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- () O documento está sujeito a registro de patente.
() O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
() Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Jataí, 08/03/2022.
Local Data


Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

CECÍLIA GONÇALVES SOUZA
JULIA MARQUES REZENDE

**O USO DE SINAIS ELETROMIOGRÁFICOS (EMG) NO CONTROLE DE UM
MANIPULADOR ROBÓTICO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Goiás, Câmpus Jataí para
obtenção do grau de bacharel em Engenharia
Elétrica.

Orientadora: Prof. Ma. Kennya Resende
Mendonça

JATAÍ-GO

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação na (CIP)

Souza, Cecília Gonçalves.

O uso de sinais eletromiográficos (EMG) no controle de um manipulador robótico [manuscrito] / Cecília Gonçalves Souza, Júlia Marques Rezende. -- Jataí: IFG, Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica, 2022.

53f. ; il.

Orientador: Profa. Ma. Kennya Resende Mendonça.

Bibliografias.

1. Eletromiografia. 2. Robótica. 3. Engenharia de Reabilitação. I. Rezende, Júlia Marques. II. Mendonça, Kennya Resende. III. IFG, Câmpus Jataí. IV. Título.

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Téc.: Aquisição e Tratamento da Informação.
Bibliotecária - Rosy Cristina O. Barbosa - CRB 1/2380 – C. Jataí. Cód. F025/2022-1.



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS JATAÍ

Folha de Aprovação

CECÍLIA GONÇALVES SOUZA
JÚLIA MARQUES REZENDE

O USO DE SINAIS ELETROMIOGRÁFICOS (EMG) NO CONTROLE DE UM MANIPULADOR ROBÓTICO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Câmpus Jataí, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Monografia defendida e aprovada, em 11 de fevereiro de 2022, pela banca examinadora constituída pelos seguintes membros:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Ma. Kennya Resende Mendonça
Presidente da banca / Orientadora

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - Câmpus Jataí

Prof. Dr. André Luiz Silva Pereira
Membro

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - Câmpus Jataí

Prof. Ma. Camila Dias de Jesus
Membro

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - Câmpus Jataí

Jataí – GO
2022

Documento assinado eletronicamente por:

- **Andre Luiz Silva Pereira, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 07/03/2022 15:00:36.
- **Camila Dias de Jesus, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 17/02/2022 10:20:56.
- **Kennya Resende Mendonca, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 16/02/2022 16:24:42.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 10/02/2022. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 245047

Código de Autenticação: 624011a6b1



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Rua Maria Vieira Cunha, nº 775, Residencial Flamboyant, JATAÍ / GO, CEP 75804-714
(64) 3605-0843 (ramal: 843)

A pessoa grande que minha mãe é e que com exemplos diários também me ensina a ser.

Ao meu irmão, que sempre esteve ao meu lado e quando era preciso estava também a minha frente.

A Júlia, por todos esses anos de amizade e apoio.

Cecilia Gonçalves Souza

A minha mãe por sempre ter me apoiado e sempre ter sido um exemplo de pessoa, em todos os aspectos.

Ao meu pai que sempre me apoiou em todas as situações.

Ao meu irmão que sempre me ajudou da forma que pôde.

A todos os meus amigos e companheiro pelo apoio de sempre.

A Cecília por todos esses anos de companheirismo e amizade.

Julia Marques Rezende

*Nem tudo que reluz é ouro,
Nem todos os que vagueiam estão perdidos;
O velho que é forte não murcha,
As raízes profundas não são atingidas pela
geada.
Das cinzas um fogo será despertado,
Uma luz das sombras brotará;
Renovada será a lâmina que foi quebrada,
O sem coroa novamente será rei
(J.R.R. Tolkien)*

*Que os vossos esforços desafiem as
impossibilidades, lembrai-vos de que as
grandes coisas do homem foram conquistadas
do que parecia impossível.
(Charles Chaplin)*

RESUMO

A presente proposta tem como objetivo principal o desenvolvimento de um manipulador robótico que possua seus movimentos controlados a partir de sinais eletromiográficos (EMG) captados de músculos do corpo humano. O uso de sinais bioelétricos tem sido, nos últimos anos, amplamente aplicado na área da Engenharia de Reabilitação, tanto no controle de órteses e próteses, como no controle de outros dispositivos, como cadeiras de rodas, por exemplo. Além disso, quando associada à Tecnologias Assistivas, esse ramo da Engenharia caracteriza-se pelo desenvolvimento de processos e tecnologias que colaboram para reabilitação e/ou apoio às pessoas com deficiência e/ou mobilidade reduzida. Com a implementação deste estudo esperou-se estimular o desenvolvimento de projetos interdisciplinares e transdisciplinares associados às áreas de Engenharia Biomédica e Robótica Assistiva, bem como contribuir para o desenvolvimento de outras pesquisas nas áreas citadas. Foram definidas e descritas as características do Hardware e do Software que fizeram parte do sistema desenvolvido, o processo realizado para a aquisição da estrutura do manipulador robótico, bem como, o projeto dos circuitos eletrônicos para leitura e tratamento do sinal EMG. Foram realizados testes e simulações que indicaram que é possível realizar o controle de um manipulador robótico por meio de sinais eletromiográficos.

Palavras-chave: Eletromiografia, Robótica, Engenharia de Reabilitação.

ABSTRACT

The present proposal has as main objective the development of a robotic manipulator that has its movements controlled from electromyographic signals (EMG) captured from muscles of the human body. The use of bioelectrical signals has been, in recent years, widely applied in the field of Rehabilitation Engineering, both in the control of orthoses and prostheses, as in the control of other devices, such as wheelchairs, for example. In addition, when associated with Assistive Technologies, this branch of Engineering is characterized by the development of processes and technologies that collaborate for rehabilitation and/or support for people with disabilities and/or reduced mobility. With the implementation of this study, it was hoped to stimulate the development of interdisciplinary and transdisciplinary projects associated with the areas of Biomedical Engineering and Assistive Robotics, as well as to contribute to the development of other research in the aforementioned areas. The characteristics of the Hardware and Software that were part of the developed system, the process carried out for the acquisition of the robotic manipulator structure, as well as the design of the electronic circuits for reading and processing the EMG signal were defined and described. Tests and simulations were performed that indicated that it is possible to control a robotic manipulator through electromyographic signals.

Palavras-chave: Electromiography, Robotic, Rehabilitation Engineering.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Engenharia de reabilitação e suas aplicações	12
Figura 2 – Auxílios para a vida diária e vida prática	17
Figura 3 – Comunicação aumentativa e alternativa	17
Figura 4 – Recursos de acessibilidade ao computador	18
Figura 5 – Projetos arquitetônicos para acessibilidade (a).....	18
Figura 6 – Projetos arquitetônicos para acessibilidade (b).....	19
Figura 7 – Auxílios de mobilidade	19
Figura 8 – Auxílios para cegos ou para pessoas com visão subnormal	20
Figura 9 – Auxílio para pessoas com surdez ou déficit auditivo	20
Figura 10 – Adaptações em veículos	21
Figura 11 – Adequação Postural (a)	21
Figura 12 – Adequação Postural (b)	22
Figura 13 – Órteses e Próteses	22
Figura 14 – Representação da aquisição e tratamento de sinais EMG	25
Figura 15 – Posição ideal dos eletrodos em relação à unidade motora	26
Figura 16 – Exemplo de decomposição do sinal EMG por FPF	26
Figura 17 – Etapa de amplificação	27
Figura 18 – Etapa de filtragem	28
Figura 19 – Etapa de ganho	28
Figura 20 – Etapa de ajuste de <i>Offset</i>	29
Figura 21 – Fluxograma do projeto	30
Figura 22 – Posicionamento e identificação dos eletrodos.....	31

Figura 23 – Arduino UNO	32
Figura 24 – Elos e juntas de um manipulador	33
Figura 25 – Manipulador Robótico	34
Figura 26 – Comparação entre as juntas de um manipulador e o corpo humano	34
Figura 27 – Servomotor	35
Figura 28 – Esquema de ligação servomotor e potenciômetro.....	35
Figura 29 – Etapas para a integração entre os sinais EMG e o manipulador robótico ...	37
Figura 30 – Disposição dos eletrodos no braço da voluntária	37
Figura 31 – Esquema de ligação da fonte simétrica	38
Figura 32 – Fonte simétrica	38
Figura 33 – Teste dos servomotores	40
Figura 34 – Pinagem INA128	41
Figura 35 – Pinagem TL074	42
Figura 36 – Circuito EMG.....	42
Figura 37 – Teste com o manipulador	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Informações do Arduino UNO	32
Tabela 2 – Informações do Servomotor.....	35

LISTA DE SIGLAS

EMG	Eletromiografia
FPF	Filtro Passa-Faixa
INA	<i>Instrumental Amplifier</i> (Amplificador de Instrumentação)
A/D	Analógico/Digital

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	12
	1.1. Objetivos.....	13
	1.1.1. Objetivo Geral.....	14
	1.1.2. Objetivos Específicos	14
	1.1.3. Escopo do Trabalho	14
2.	TECNOLOGIA ASSISTIVA, ENGENHARIA DE REABILITAÇÃO E O USO DE SINAIS ELETROMIOGRÁFICOS	16
	2.1. Tecnologias assistivas	16
	2.2. Engenharia de Reabilitação	23
	2.3. A Eletromiografia	24
	2.4. A aquisição e processamento do sinal EMG	25
	2.5. O Circuito EMG	27
	2.6. O Conversão A/D	29
3.	MATERIAIS E MÉTODOS	30
	3.1. Levantamento bibliográfico e desenvolvimento do circuito amplificador e filtrador dos sinais eletromiográficos	31
	3.2. Manipulador robótico	32
	3.2.1 Escolha, aquisição, definição dos seus graus de liberdade e montagem do manipulador robótico e teste dos componentes eletrônicos.....	33
	3.3. Integração entre o circuito EMG e o manipulador robótico	36
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	40
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	44
6.		
7.		
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45
9.	ANEXO I – DESENHO TÉCNICO DO MANIPULADOR ROBÓTICO	49
10.	ANEXO II – CÓDIGO DE TESTE SERVOMOTOR	50
11.	APÊNDICE I – CIRCUITO EMG.....	51

1. INTRODUÇÃO

A Engenharia Biomédica é um ramo da engenharia que envolve estudos de áreas como Ciências Exatas no campo das Ciências Médicas e Biológicas e Engenharias. Além disso, tem como objetivo desenvolver técnicas para melhorar a prevenção, diagnóstico e tratamento de doenças. É importante ressaltar ainda a procura por desenvolver equipamentos e próteses para elevar a qualidade de vida das pessoas. (PEB UFRJ, 2011).

A Engenharia de Reabilitação, como uma das subáreas da Engenharia Biomédica, quando aplicada ao conceito de Tecnologias Assistivas, contribui com a evolução de “tecnologias para reabilitação e/ou apoio às pessoas com deficiência física, visual, auditiva, mental, etc. oriundas de traumas ou doenças diversas, bem como para apoio à população idosa” (PPGEB UFU, 2020).

Um dos principais propósitos dos estudos em Engenharia de Reabilitação é contribuir para que os indivíduos com funções motoras perdidas possam restaurá-las e contribuir com o tratamento das limitações físicas. Suas aplicações envolvem o uso de robótica, jogos, equipamentos de avaliação médica, realidade virtual entre outros, conforme ilustra a Figura 1.

Figura 1 – Engenharia de Reabilitação e suas aplicações



Fonte: (AUTORAS, 2021)

Nesse campo, um dos ramos de atuação envolve sinais bioelétricos, próteses, órteses e sistemas robóticos, tópicos esses que são essenciais ao presente projeto. Nos últimos anos, houve um aumento das pesquisas desenvolvidas nessa área, com a utilização de sinais biológicos, principalmente para o controle de sistemas robóticos que tem como propósito auxiliar na execução de diversas funções ou tarefas, desse modo, associadas à concepção de Tecnologias Assistivas. De acordo com Silva (2016, p. 11), a integração entre tecnologias médicas e de engenharia, por intermédio da Robótica Assistiva, auxilia o desenvolvimento de dispositivos que podem ser empregados como ferramentas para auxiliar os portadores de deficiências motoras a enfrentar o desafio de se reintegrarem a sociedade, aumentando a qualidade de vida destes indivíduos.

Inúmeras pesquisas têm sido realizadas, associando o uso de sinais mioelétricos (sinais biológicos que podem ser medidos por meio de eletrodos sobre os músculos) com o avanço e desenvolvimento de sistemas capazes de auxiliar pessoas com deficiências físicas na execução de tarefas comuns do dia a dia. Algumas pesquisas, por exemplo, possibilitam o controle de uma cadeira de rodas por meio de um sistema em que o usuário só precisa utilizar um determinado músculo; ou um sistema que possibilita que uma pessoa com um membro atrofiado consiga controlar uma prótese por meio de um sistema muscular que ela tenha domínio (SARRO JÚNIOR; MENDES JÚNIOR; FRANTZ, 2014).

Com relação ao controle eletromiográfico, essa técnica não é recente visto que a primeira prótese eletromiograficamente controlada foi demonstrada em 1948 na feira de nome Exportmesse, em Hannover, por REINHOLD REITER. Contudo, esse modelo não recebeu a devida atenção, muito provavelmente, pela situação adversa em que se encontrava a Europa, depois da guerra (ANDRADE, 2007).

Desse modo, o presente projeto tem como objetivo principal o desenvolvimento de um protótipo de um manipulador robótico que tenha seus movimentos definidos por sinais eletromiográficos, captados nos músculos do braço humano.

O estímulo de atividades acadêmicas relacionadas a trabalhos de iniciação científica, projetos interdisciplinares e transdisciplinares, trabalhos em equipe e desenvolvimento de protótipos, estão entre as principais ações que devem ser implementadas nos cursos de graduação em Engenharia, conforme institui as Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia (ABMES, 2019).

1.1 Objetivos

Os objetivos do presente trabalho estão divididos em objetivo geral e específicos.

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo do presente projeto é o desenvolvimento de um manipulador robótico controlado a partir de sinais eletromiográficos (EMG) captados de músculos do corpo humano.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Adquirir um manipulador robótico que permita a programação e previsão dos seus movimentos a partir de sinais mioelétricos.
- Contribuir para o desenvolvimento de pesquisas nas áreas de Engenharia Biomédica e Robótica Assistiva.
- Estimular o desenvolvimento de projetos interdisciplinares e transdisciplinares em cursos de graduação em Engenharia.

1.2 Escopo do Trabalho

Este projeto foi estruturado em cinco capítulos: Introdução; Referencial Teórico; Metodologia; Resultados e Discussão.

No primeiro capítulo introduz-se o tema da pesquisa, os principais conceitos utilizados no desenvolvimento, a exposição dos objetivos e justificativas do trabalho.

No capítulo seguinte exibe-se a fundamentação teórica desta pesquisa e se subdivide em quatro tópicos.

- Tecnologias Assistivas – Conceitos e aplicações de práticas e dispositivos que auxiliam na reintegração social de pessoas portadoras de alguma deficiência.
- Introdução à Engenharia de Reabilitação – Conceito, contexto histórico e evolução das aplicações de sinais eletromiográficos.
- Componentes Principais – Exibe-se os dispositivos necessários para realizar a aquisição, filtragem, processamento e transmissão dos sinais eletromiográficos.
- Conversão A/D – Dispositivo utilizado para converter o sinal EMG analógico para o sinal digital lido pelo servomotor.

O terceiro capítulo trata-se do meio de integração entre o circuito EMG e o manipulador robótico.

Posteriormente tem-se os resultados obtidos com a instalação dos equipamentos, e as dificuldades encontradas:

- Implementação do projeto – Detalhes da estrutura do local a ser implementado e as dificuldades encontradas com a instalação.
- Protótipos – Adequação dos equipamentos utilizados no trabalho.

- Dificuldades Encontradas – Expõe as dificuldades para movimentar o manipulador robótico através dos sinais eletromiográficos.

2. TECNOLOGIA ASSISTIVA, ENGENHARIA DE REABILITAÇÃO E O USO DE SINAIS ELETROMIOGRÁFICOS

Neste tópico aborda-se os princípios da tecnologia assistiva e da engenharia de reabilitação. Além disso, expõe os principais aspectos do uso de sinais eletromiográficos (EMG) aplicados a movimentação de um manipulador robótico.

2.1. Tecnologias assistivas

O conceito de Tecnologia Assistiva foi desenvolvido em 2008 pelo Comitê de Ajudas Técnicas. Em termos gerais, essa é uma área do conhecimento, com princípio interdisciplinar, que tem como objetivo aumentar a qualidade de vida e incluir socialmente pessoas que apresentam alguma deficiência, mobilidade reduzida e limitações físicas. (Secretaria Especial dos Direitos Humanos, 2009)

Entretanto, é importante ressaltar que embora essa definição seja moderna, a essência da Tecnologia Assistiva é antiga: desde os primórdios da humanidade o ser humano buscava ferramentas para auxiliá-lo com suas incapacidades. Segundo Manzini, podemos chamar de tecnologia assistiva uma bengala, utilizada normalmente por pessoas em idades avançadas para proporcionar comodidade e proteção no momento de caminhar. (GALVÃO FILHO, T.A., 2009)

Para facilitar a didática, a Tecnologia Assistiva pode ser dividida em subcategorias, sendo elas: Auxílios para a vida diária e vida prática, comunicação aumentativa e alternativa, recursos de acessibilidade ao computador, projetos arquitetônicos para acessibilidade, auxílios de mobilidade, auxílios para cegos ou para pessoas com visão subnormal, auxílios para pessoas com surdez ou com déficit auditivo, adaptações em veículos, adequação postural e órteses e próteses, sendo estas descritas a seguir.

- Auxílios para vida diária e vida prática

São ferramentas e objetos que proporcionam autonomia e independência aos usuários em atividades cotidianas e possibilitam mais facilmente o cuidado de pessoas dependentes de auxílio em tarefas como comer, cozinhas, tomar banho e outras necessidades individuais (PROACESSI, 2018).

A Figura 2 representa visualmente alguns exemplos dos auxílios para a vida diária por meio das tecnologias assistivas, como dispositivos que auxiliam no ato de alimentar-se

(dispositivo este usado para dar mais firmeza e segurança para quem utiliza) e também para se locomover, como é o caso da cadeira de rodas.

Figura 2 – Auxílios para a vida diária e vida prática



Fonte: Ministério da Saúde (2013)

- Comunicação aumentativa e alternativa

Objetiva auxiliar indivíduos incapazes e/ou com limitações, referentes a fala e a escrita. Para possibilitar a comunicação entre essas pessoas e o mundo a sua volta são utilizadas ferramentas, tais como: pranchas com produção de voz e softwares com simbologias gráficas capazes de transmitir necessidades pessoais e sentimentos, como mostra a Figura 3 (PROACESSI, 2018).

Na Figura 3 são representados meios de comunicação alternativa por meio de imagens didáticas e aumentadas, afim de contribuir para o desenvolvimento da comunicação das crianças.

Figura 3 – Comunicação aumentativa e alternativa



Fonte: Ministério da Saúde (2013)

- Recursos de acessibilidade ao computador

Representado por computadores desenvolvidos para melhorar a acessibilidade de pessoas com limitações sensoriais e motoras. Os hardwares e softwares apresentam reconhecimento de face e voz, os teclados possuem escrita em Braille e outros recursos que promovem a maior integração do usuário com a máquina (PROACESSI, 2018). A Figura 4 mostra alguns dos recursos de acessibilidade ao computador, como uma ferramenta que não demanda o uso das mãos para digitar ou executar qualquer tarefa no computador.

Figura 4 – Recursos de acessibilidade ao computador

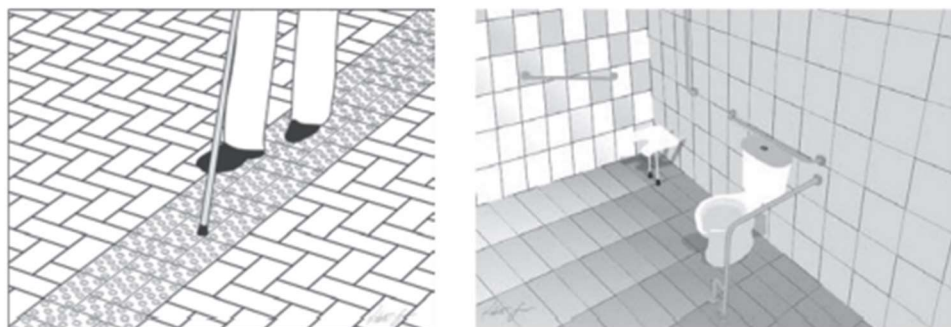


Fonte: Ministério da Saúde (2013)

- Projetos arquitetônicos para acessibilidade

Incluem projetos de arquitetura e urbanismo que permitem a mobilidade de pessoas com condições físicas, motoras e sensoriais limitadas (PROACESSI, 2018). A Figura 5 mostra projetos arquitetônicos para acessibilidade, como calçadas adaptadas para pessoas cegas ou com deficiência visual e um banheiro adaptado para pessoas com deficiência ou ausência de mobilidade.

Figura 5 – Projetos arquitetônicos para acessibilidade (a)



Fonte: Ministério da Saúde (2013)

A figura 6 mostra uma calçada adaptada para cadeirantes, com o rebaixamento correto e nivelado com a faixa de pedestre, afim de evitar possíveis quedas ou dificuldades de deslocamento.

Figura 6 – Projetos arquitetônicos para acessibilidade (b)



Fonte: Ministério da Saúde (2013)

- Auxílios de mobilidade

Nessa categoria estão presentes as bengalas, muletas, andadores, cadeiras de rodas e outros itens que auxiliam na mobilidade dos indivíduos (PROACESSI, 2018). A Figura 7 mostra a utilização de andadores para a recreação de crianças.

Figura 7 – Auxílios de mobilidade



Fonte: Ministério da Saúde (2013)

- Auxílios para cegos ou para pessoas com visão subnormal

Estão presentes nessa classificação as ferramentas que oferecem independência as pessoas com limitações visuais ou são cegas. Hoje já existem recursos com comando de voz

em muitos dispositivos eletrônicos como por exemplo: computadores, celulares, relógios e outros (PROACESSI, 2018). A Figura 8 mostra a utilização de dispositivos que auxiliem no deslocamento de pessoas cegas ou com deficiência visual, como é o caso da bengala (com o intuito de identificar possíveis obstáculos no percurso).

Figura 8 – Auxílios para cegos ou para pessoas com visão subnormal



Fonte: Ministério da Saúde (2013)

- Auxílios para pessoas com surdez ou com déficit auditivo

São acessórios que apresentam recursos como infravermelho, aparelhos para surdez, telefones com teclado-teletipo (TTY), sistemas com alerta tátil-visual e celulares com mensagens escritas e chamadas por vibração (PROACESSI, 2018). A Figura 9 mostra um dos recursos para o auxílio de pessoas com surdez ou deficiência auditiva.

Figura 9 – Auxílio para pessoas com surdez ou com déficit auditivo



Fonte: Ministério da Saúde (2013)

- Adaptações em veículos

São ferramentas que possibilitam os indivíduos com limitações físicas dirigir um automóvel, facilitadores de embarque e desembarque como elevadores para cadeiras de rodas (utilizados nos carros particulares ou de transporte coletivo), rampas para cadeiras de rodas, serviços de autoescola para pessoas com necessidades específicas (PROACESSI, 2018). A Figura 10 representa uma dessas adaptações, que permite que um cadeirante possa dirigir um veículo normalmente.

Figura 10 – Adaptações em veículos



Fonte: Ministério da Saúde (2013)

- Adequação postural

São ferramentas que oferecem opções mais confortáveis quando se trata de postura do corpo humano (PROACESSI, 2018). As Figuras 11 e 12 ilustram alguns dos recursos para adequação postural. A Figura 11 representa uma cadeira de rodas com apoio para toda a extensão da coluna, com o intuito de favorecer a postura do usuário.

Figura 11 – Adequação Postural (a)



Fonte: Ministério da Saúde (2013)

A Figura 12 representa vários recursos para a adequação postural dos usuários.

Figura 12 – Adequação Postural (b)



Fonte: Ministério da Saúde (2013)

- Órteses e próteses

Próteses são peças fabricadas artificialmente que substituem partes ausentes do corpo. Enquanto que as órteses são encaixadas junto a um segmento do corpo, garantindo-lhe um melhor posicionamento, estabilização e/ou função (PROACESSI, 2018). Ambos podem ser dispositivos permanentes ou mesmo transitórios (Figura 13).

Figura 13 – Órteses e Próteses



Fonte: Ministério da Saúde (2013)

Na Figura 13 é ilustrada a utilização de uma prótese para substituir um membro amputado (no caso, uma perna), auxiliando para uma melhor qualidade de vida do usuário, permitindo-o locomover-se sem a ajuda de uma bengala ou muleta, por exemplo. Também é representada a utilização de uma órtese para auxiliar na locomoção de uma criança, o que pode representar a deficiência ou insuficiência do membro em questão (No caso, a perna, abaixo do joelho).

As órteses podem ser classificadas como: Internas ou implantadas, externas ou não implantadas, implantada total ou parcialmente por ato cirúrgico ou percutâneo. As próteses podem ser classificadas como: Internas ou implantadas, externas ou não implantadas,

implantadas total ou parcialmente por ato cirúrgico ou percutâneo ou estéticas (não possuem ações funcionais) (MACHADO, G. S., 2018).

Existem inúmeras possibilidades para a utilização de órteses e próteses em diversas áreas, como medicina, fisioterapia, odontologia, etc. Tais áreas obtiveram um grande e constante crescimento nesse sentido. Como exemplo de órteses e próteses no dia a dia, destacam-se: Órteses e próteses dentárias, lentes de contato, próteses oculares substitutivas, aparelhos auditivos, próteses de ouvido médio, implantes cocleares, válvulas cardíacas artificiais, marcapassos, parafusos, placas e hastes ortopédicas, fixação vertebral, reconstrução craniana, entre milhares outras aplicações (MACHADO, G. S., 2018).

Todas essas aplicações podem ser englobadas no conceito de Engenharia de Reabilitação, pois representam a aplicação de conhecimentos científicos para a reintegração social de pessoas portadoras de alguma deficiência.

2.2. Engenharia de Reabilitação

A Engenharia de Reabilitação está presente na Engenharia Biomédica como uma de suas ramificações. Recentemente, tem contribuído de forma considerável com os avanços nos métodos de reabilitação. (CAMARGO, 2008 apud ANTÔNIO, 2004)

Entende-se por Engenharia de Reabilitação toda e qualquer aplicação de conceitos e métodos tanto de engenharia como de ciências exatas na criação, desenvolvimento e projeção de sistemas, equipamentos ou dispositivos que contribuem para a recuperação de enfermidades, defeitos inatos, ou movimentos e aptidões perdidas por consequência de acidentes. Esta, alia-se a outras áreas, como terapia, ortopedia, neurologia, etc., com foco na pesquisa e confecção de produtos e equipamentos para a reabilitação, assim, possibilita a reintegração social de pessoas portadoras de alguma deficiência (ibid., p. 1).

Com relação a reabilitação de movimento dos membros por meio de órteses ou próteses, por exemplo, são comumente utilizadas técnicas de aquisição de biosinais para o desenvolvimento desses equipamentos. Nesse projeto, procurou-se aplicar um sistema de aquisição de sinais eletromiográficos (EMG) para alimentar um manipulador robótico antropomórfico.

A definição de Eletromiografia (EMG) se dá pelo conjunto de métodos e procedimentos utilizados para captar a atividade elétrica proveniente das contrações musculares (DE MENESES, 2021 apud KAMEM;GABRIEL, 2015).

Inicialmente, a eletromiografia foi desenvolvida para fins clínicos, principalmente como ferramenta de diagnóstico durante a segunda guerra mundial e, recentemente, vêm sendo utilizada em outras áreas, como fisioterapia, esportes, medicina, etc. (BARROS, 2005)

Atualmente, as próteses mioelétricas vêm ganhando espaço na engenharia de reabilitação, com o uso de sinais eletromiográficos. (BARROS, 2005)

As próteses mioelétricas destacam-se no mercado devido a sua capacidade de ser adaptada ao usuário, ela pode ser controlada diretamente pelos impulsos do mesmo. Diferentemente de outras em que exigem uma adaptação por parte do usuário, ela pode ser inteiramente adaptável. Pode ser aplicada em diferentes níveis de amputação, a única exigência para o seu funcionamento é que o usuário possa contrair o músculo utilizado, afim de gerar um sinal EMG intenso o suficiente para movimentar a prótese. (PEREIRA, 2016 apud POLIS et al., 2009)

2.3. A Eletromiografia

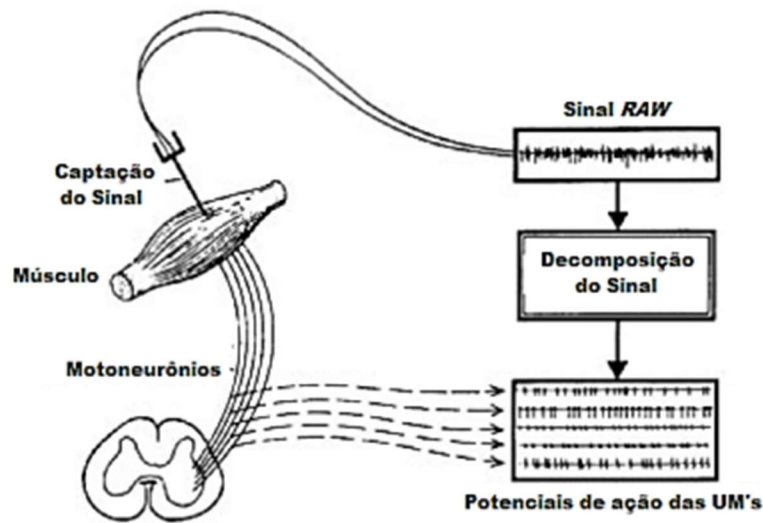
A definição de eletromiografia (EMG) pode ser compreendida como uma técnica experimental que inclui a detecção, o registro, a análise e a utilização do sinal elétrico que provém da musculatura e de sua contração, sendo este sinal também conhecido como sinal mioelétrico (MENDONÇA, 2016 apud DE LUCA, 2006; KONRAD, 2005).

Em relação as aplicações, nos dias atuais, a eletromiografia está presente em diversas áreas profissionais que envolvem anatomia, reabilitação, engenharia biomédica, fisioterapia, esportes, educação física, medicina, odontologia, entre outras (MENDONÇA, 2016 apud ANDRADE, 2007; HENNEBERG, 2000).

O registro de sinais elétricos originados das células musculares é possibilitado por essa técnica que permite uma representação gráfica da atividade elétrica dos músculos. Os eletrodos possuem a finalidade de captar a atividade muscular, que por sua vez é registrada pelo eletromiógrafo, onde o seu traçado é intitulado eletromiograma (MENDONÇA, 2016 apud CORREA; COSTA; PINTO, 2012; LIMA; FREITAS; SILVA, 2013).

Durante a aquisição dos sinais eletromiográficos, é possível que os eletrodos captem diferentes potenciais nas UMs (Unidades Motoras), o que pode gerar uma sobreposição de sinais que dificultam a leitura de saída do sinal bruto. Devido a tais circunstâncias, é necessário que se use ferramentas para decompor esse sinal bruto (*Raw Signal* ou *Sinal Raw*) em sinais de análise mais simples. A Figura 14 demonstra o processo de aquisição e decomposição dos sinais (DE MENESES, 2021 apud MERLETI e PARKER, 2004).

Figura 14 – Representação da aquisição e tratamento de sinais EMG



Fonte: (DE MENESES, 2021 apud Adaptado de MERLETTI, PARKER, 2004)

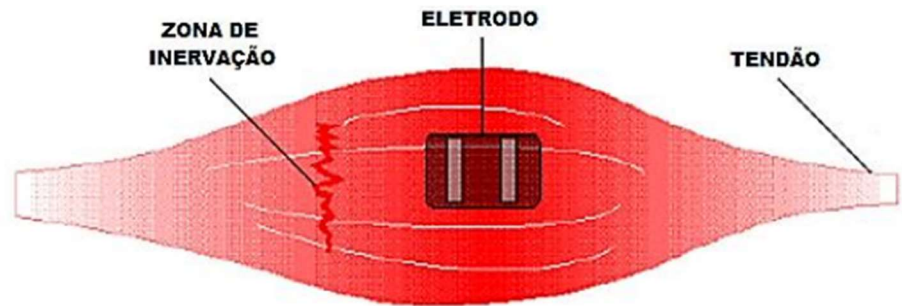
2.4. A aquisição e processamento do sinal EMG

Existem várias técnicas para realizar a aquisição de sinais eletromiográficos. Nesse projeto, o foco principal é a eletromiografia de superfície: trata-se de um procedimento não invasivo e indolor, capaz de acompanhar o exercício elétrico das fibras musculares durante os movimentos de contração e relaxamento (DE MENESES, 2021 apud MIOTEC, 2019)

Os eletrodos, que funcionam como um sensor posicionado sob a superfície da pele, são os responsáveis por captar os sinais eletromiográficos. Ao serem posicionados de forma correta acima da musculatura do indivíduo, é possível obter a diferença de potencial produzida durante a movimentação da musculatura. (DE MENESES, 2021)

O posicionamento dos eletrodos é uma etapa fundamental que requer cuidados na preparação da pele para que atenuie a influência da impedância do tecido epitelial. Alguns desses cuidados incluem: a realização da limpeza da pele (remoção da oleosidade e impurezas), depilação do pelo (tricotomia) e remoção das células epiteliais mortas. Segundo o SENIAM (Eletromiografia de Superfície para Avaliação Não Invasiva de Músculos) criado por Hermenset al.(1996), o posicionamento dos eletrodos deve acompanhar o sentido das fibras musculares e estar localizado entre o ponto motor e o tendão distal do músculo analisado. (RAPOSO; SILVA, 2013). A Figura 15 mostra o posicionamento ideal para o funcionamento dos eletrodos.

Figura 15 – Posição ideal dos eletrodos em relação à unidade motora

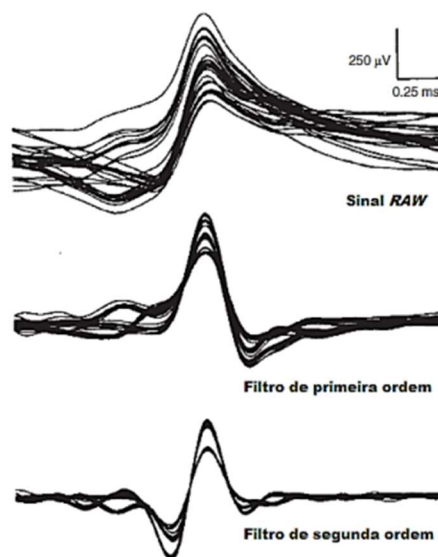


Fonte: (DE MENESES, 2021 apud Adaptado de JAMAL, 2012)

O eletrodo funciona a partir da detecção de corrente elétrica. O posicionamento diferencial é mais comumente utilizado, já que ao detectar sinais em dois pontos diferentes, promove a diminuição dos sinais de modo comum, tornando o sinal menos ruidoso do que o sinal bruto. Para que o sinal seja captado é necessário que haja um referencial, normalmente, fixado em alguma protuberância óssea, o mais distante possível do músculo analisado, pois quanto mais distante, melhor a qualidade do sinal adquirido. O referencial serve para que seja fechada uma malha de circuito, assim, possibilitando a aquisição do sinal (MIOTEC, 2021).

No processo de aquisição, o sinal EMG pode ser afetado por ruídos, que podem afetar a qualidade do sinal adquirido. Por essa razão, o sinal deve ser filtrado, mesmo após a amplificação diferencial (DE MENESES apud JAMAL, 2012). A Figura 16 representa a forma do sinal EMG, desde a aquisição até a filtragem por ambos os filtros, tanto de primeira como de segunda ordem.

Figura 16 - Exemplo de decomposição do sinal EMG por FPF



Fonte: (DE MENESES, 2021 apud Adaptado de MERLETTI, PARKER, 2004)

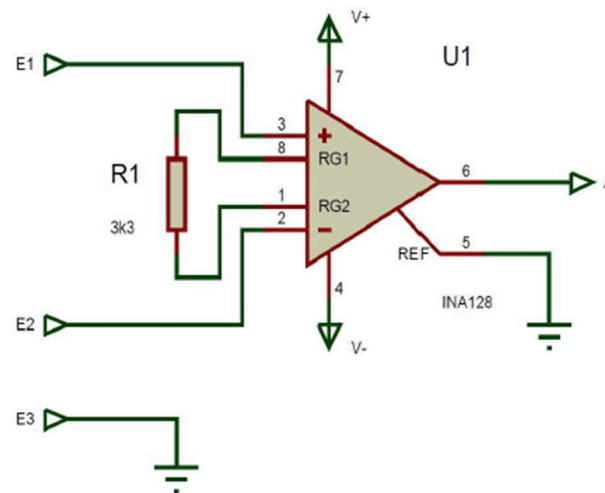
Para realizar o tratamento do sinal EMG, foram desenvolvidas diversas técnicas de amplificação, retificação, suavização e filtragem. Ao utilizar filtros passa banda de primeira e segunda ordem é notável a mudança do sinal conforme ilustra a Figura 16. (DE MENESES, 2021)

A reunião dessas técnicas de tratamento do sinal EMG, torna-se um Circuito EMG, composto por uma etapa de amplificação, uma etapa de filtragem, uma etapa de ganho e uma etapa de ajuste de *offset*. A intenção do circuito é mitigar todo o ruído que interfere na fluidez e interpretação do sinal, fazendo com que posteriormente se torne mais limpo.

2.5. O Circuito EMG

No primeiro estágio do circuito eletrônico há um amplificador de instrumentação (INA128), com um resistor R1 na entrada (Figura 17). A primeira etapa do circuito tem o intuito de amplificar o sinal elétrico captado, já que o mesmo está na casa dos milivolts e possui uma alta impedância de entrada, logo, esse estágio é responsável por tornar o sinal mais legível para as demais etapas.

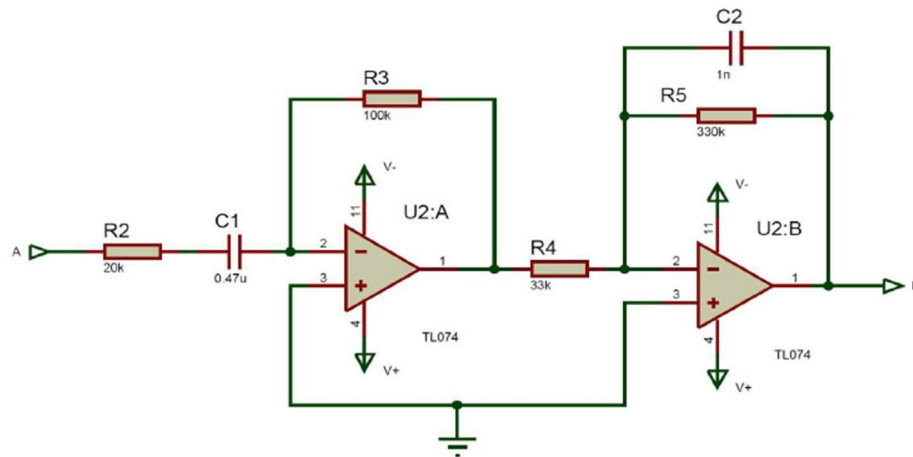
Figura 17 - Etapa de amplificação



Fonte: (MENDONÇA, 2016; RIBAS, 2015)

O circuito de amplificação da Figura 17 antecede o estágio de filtragem, formado por um filtro passa altas (frequência de corte de 17Hz) e um passa baixas (frequência de corte de 483Hz), ambos de primeira ordem, como é mostrado na Figura 18. A junção desses dois filtros torna seu funcionamento semelhante a um filtro passa-faixa, já que haverá um intervalo já predeterminado de frequências que não serão filtradas (Nesse caso, entre 17 e 483Hz). (Adaptado de RIBAS, 2015)

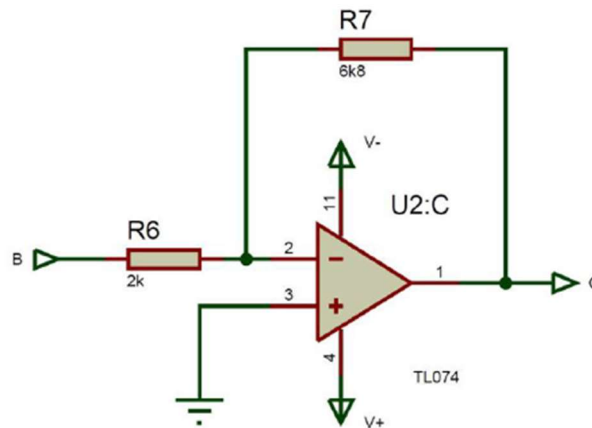
Figura 18 – Etapa de filtragem



Fonte: (MENDONÇA, 2016; RIBAS, 2015)

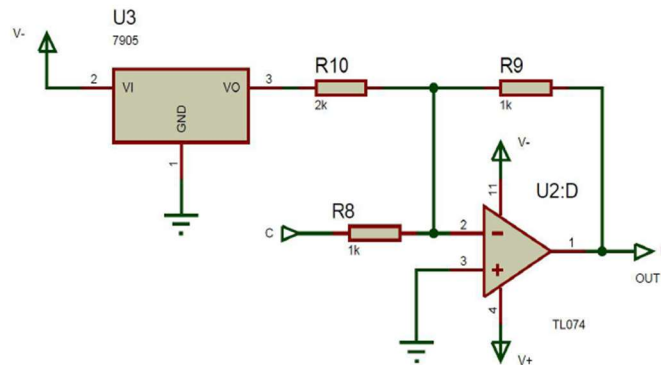
Depois da filtragem, há o processo de ganho, este é primordial para adequar o circuito às condições necessárias para a conversão A/D. Esta etapa faz com que o sinal de saída seja ajustado para um valor “x” vezes maior que a sua entrada. O valor “x” representa o ganho. O circuito é mostrado na Figura 19. (Adaptado de RIBAS, 2015)

Figura 19 – Etapa de ganho



Fonte: (MENDONÇA, 2016; RIBAS, 2015)

Por fim, o último estágio, denominado ajuste de offset. Essa etapa serve para que o circuito seja adequado aos limites das entradas analógicas do microcontrolador, no caso em questão, estabelecidas de 0 e 5V. O circuito é representado pela Figura 20.- (Adaptado de RIBAS, 2015).

Figura 20 – Etapa de ajuste de *offset*

Fonte: (MENDONÇA, 2016; RIBAS, 2015)

O sinal resultante dessas etapas de amplificação e filtragem ainda é um sinal analógico, sendo, portanto, necessário que passe por uma conversão analógico/digital para possibilitar o controle microprocessado do manipulador robótico.

2.6. Conversão A/D

A conversão do sinal analógico para dados digitais consiste na transformação de medidas com infinitos valores (sinal analógico) em dados com valores discretos e finitos (dados digitais). Tal conversão é necessária para que o sinal seja legível para um *software*, por exemplo, o que não seria possível com um sinal analógico (MENDONÇA, 2016 apud AMORIM, 2009; MARCHETTI; DUARTE, 2006)

A conversão A/D pode ser resumida na segmentação de forma discreta do sinal contínuo (analógico). A quantidade de níveis é dada por 2^N , onde N é o número de bits da porta de saída digital. Para definir a tensão mínima que um conversor A/D pode perceber, utiliza-se a equação (2.1) da resolução (MENDONÇA, 2016 apud LOPES, 2014; MARCHETTI; DUARTE, 2006).

$$\text{Resolução} = V_{\text{ref}} / 2^N \quad (2.1)$$

Onde:

V_{ref} = Tensão de referência do conversor

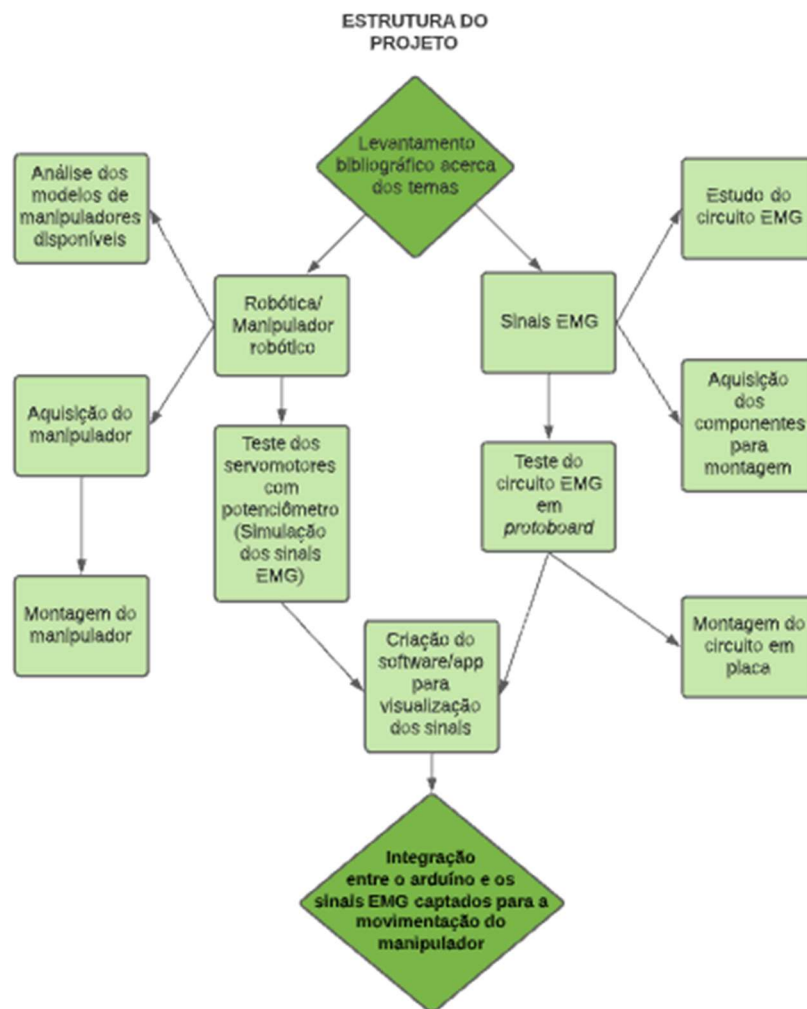
N = Número de bits do conversor

3. MATERIAIS E METÓDOS

Nesse trabalho é proposto o desenvolvimento de um sistema capaz de movimentar um manipulador robótico utilizando sinais eletromiográficos.

Para o desenvolvimento desta proposta, a metodologia aplicada caracteriza-se por três etapas principais: (i) levantamento bibliográfico e desenvolvimento do circuito amplificador e filtrador dos sinais eletromiográficos; (ii) escolha, aquisição e montagem do manipulador robótico, teste dos componentes eletrônicos e definição dos seus graus de liberdade; e (iii) integração entre os sinais EMG e o manipulador robótico. Na Figura 21, apresentamos brevemente o diagrama da estrutura adotada para a elaboração desse projeto.

Figura 21 – Fluxograma do projeto



Fonte: AUTORAS, 2021

A seguir são apresentadas as metodologias utilizadas para o desenvolvimento de cada etapa.

3.1 Levantamento bibliográfico e desenvolvimento do circuito amplificador e filtrador dos sinais eletromiográficos

A primeira etapa de realização deste trabalho consistiu em uma revisão bibliográfica acerca dos princípios e conceitos sobre Engenharia de Reabilitação, Robótica Assistiva, Eletromiografia e Sinal EMG bem como de suas aplicações e possibilidades. O momento posterior corresponde ao desenvolvimento e montagem do circuito amplificador e filtrador dos sinais eletromiográficos. Circuito este, composto por uma etapa de amplificação, uma etapa de filtragem, uma etapa de ganho e uma etapa de ajuste de *offset*, conforme diagramas apresentados no capítulo anterior, tópico 2.5.

Os sinais são obtidos a partir de um conjunto de eletrodos de superfície (não invasivos) colocados em contato com pontos estratégicos de um braço humano. Esses eletrodos são responsáveis pela captação do sinal elétrico proveniente da contração muscular e por enviá-los para o circuito eletrônico, que fará a amplificação e filtragem desses sinais. A Figura 22 mostra a posição dos eletrodos.

Figura 22 – Posição e identificação dos eletrodos



Fonte: Autoras, 2022; adaptado de Clinrio

O microcontrolador é responsável por receber os sinais já filtrados do circuito EMG, convertê-los (analógico para digital) e, de acordo com a sua programação enviá-los para as saídas correspondentes, assim acionando os motores e movendo o manipulador. A ligação entre o microcontrolador e o manipulador deverá ser feita por meio de fios.

Para este projeto, o microcontrolador escolhido foi o Arduino UNO. O Arduino é uma plataforma *open source* (Código Aberto na tradução literal), que possui sua própria plataforma de programação baseada na linguagem C. É uma placa de circuito microcontrolador, onde a saída do circuito EMG será ligada à entrada analógica do Arduino, e o servomotor, no pino digital, onde receberá o sinal já processado.

As especificações técnicas do Arduino UNO são representadas na Tabela 1 e o Arduino Uno é ilustrado na Figura 23.

Tabela 1 – Especificações técnicas Arduino UNO

Arduino UNO	
Microcontrolador	ATmega328
Tensão de operação	5V
Tensão de entrada	7-12V
Portas digitais	12 (6 podem ser usadas como PWM)
Portas analógicas	6
Corrente Pinos I/O	40mA
Corrente pinos 3,3V	50mA
Memória flash	32KB
SRAM	2KB
EEPROM	1KB
Velocidade do clock	13MHz

Fonte: Datasheet Arduino UNO

Figura 23 – Arduino UNO



Fonte: Loja Usainfo

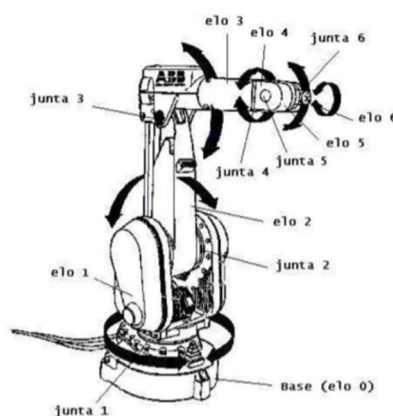
3.2. Manipulador robótico

Ao passo em que a ciência e a tecnologia avançam, o conceito de robô tornou-se mais rebuscado. À medida em que as ferramentas computacionais evoluíram, as concepções de robô passaram a incluir pensamento lógico, raciocínio, resolução de problemas e até mesmo emoções e consciência. Anteriormente, um robô era definido como uma máquina, que era basicamente considerada um dispositivo mecânico especial. Entretanto, tais máquinas não eram realmente robôs, levando em consideração a compreensão atual do que é de fato um robô. Resumidamente, os robôs passaram a se assemelhar cada vez mais com os seres vivos, variando desde mínimos insetos até seres humanos (MATARIC, 2014).

Os manipuladores robóticos são um tipo de robôs que possuem estrutura semelhante aos braços humanos e tem como principal função transportar materiais de um ponto para outro no local desejado e seguindo uma trajetória dentro de um espaço de trabalho. (FRANTZ et al., 2014, p. 32)

A estrutura física de um sistema robótico é formada por elos, estruturas sem flexibilidade, que estão conectadas com juntas, que fazem a movimentação entre os elos próximos. Com relação aos principais modelos de juntas, essas podem ser de revolução (ou rotação, que realizam esse tipo de movimento) ou prismáticas (que realizam movimento de translação) (CRAIG, 1989). O número de graus de liberdade que um manipulador possui é o número de posições independentes variáveis no qual um manipulador pode se movimentar (CRAIG, 1989). Essencialmente, é o número da quantidade de juntas que um robô possui (FRANTZ et al., 2014, p. 32). A Figura 24 demonstra os elos e juntas de um manipulador robótico.

Figura 24 – Elos e juntas de um manipulador

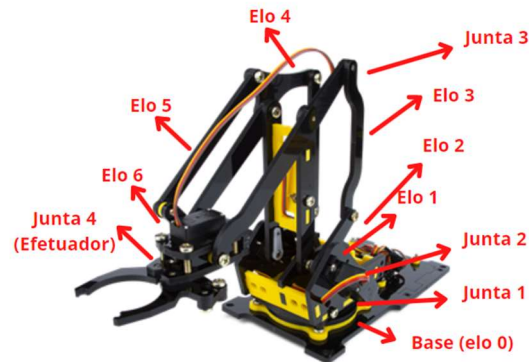


Fonte: VIANNA, 2021 apud ROMANO, 2018

3.2.1 Escolha, aquisição, definição dos seus graus de liberdade e montagem do manipulador robótico e teste dos componentes eletrônicos e do circuito

A segunda etapa de desenvolvimento deste trabalho corresponde à escolha e aquisição do manipulador robótico. O manipulador escolhido para a pesquisa possui uma junta rotacional na base, duas juntas rotacionais em seu “corpo”, uma na base e uma acima, em seu “ombro” (podem ser identificadas como junta 2 e junta 3 na Figura 24) e o efetuator na ponta, logo, para esse tipo de manipulador (Figura 25), considera-se cada junta como um grau de liberdade, ou seja, há 4 graus de liberdade. Como as juntas são rotacionais, o ângulo escolhido anteriormente (45°) deve ser levado em consideração para evitar possíveis danos à estrutura e aos componentes do robô.

Figura 25 – Manipulador robótico

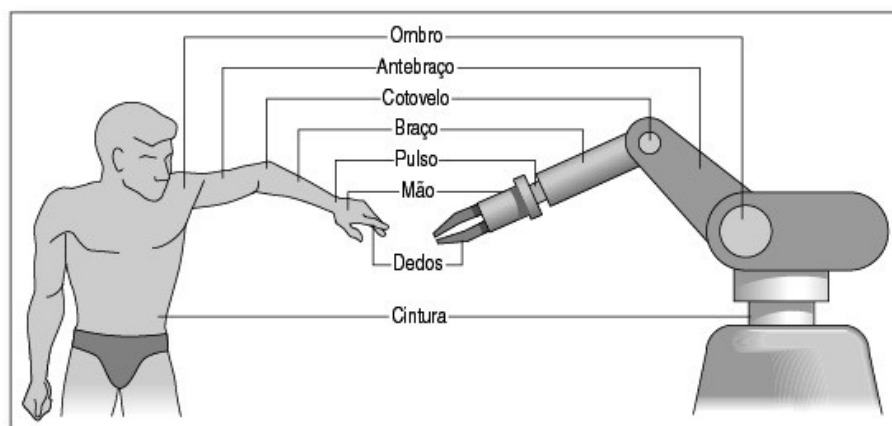


Fonte: (Adaptado de Robocore)

Para a escolha do manipulador, foram levados em consideração pontos como: graus de liberdade, porte, mobilidade e valores. Tais características devem visar um melhor custo benefício, podendo sanar as necessidades da melhor forma possível.

O manipulador escolhido possui quatro graus de liberdade, tal número foi escolhido por ser o que mais se assemelha a um corpo humano. Onde a base rotacional seria a representação do tronco humano, a primeira junta após a base representa o ombro humano, a junta acima entre o braço e o antebraço representa o cotovelo, a junta antes do efetuador que representa o pulso que é o que movimenta a garra e a própria garra que representa a mão (efetuador). A Figura 26 retrata a comparação entre o corpo humano e um manipulador robótico.

Figura 26 – Comparação entre as juntas de um manipulador e o corpo humano



Fonte: ROSÁRIO, 2005

A movimentação do manipulador é feita exclusivamente pelo acionamento dos servomotores. Estes são componentes de extrema importância, já que todo manipulador depende do seu bom funcionamento. O servomotor utilizado foi o 9g SG90, e as informações

técnicas do servomotor são especificadas na Tabela 2 e o Servomotor é ilustrado pela Figura 27.

Tabela 2 – Informações do servomotor

Modelo	9g SG90
Corrente de operação(A)	0,1 - 1,2A
Tensão de alimentação(V)	3,0 - 6,0 V
Torque (kgf.cm)	1,2 - 1,6 kgf.cm

Fonte: Datasheet Servomotor 9g SG90

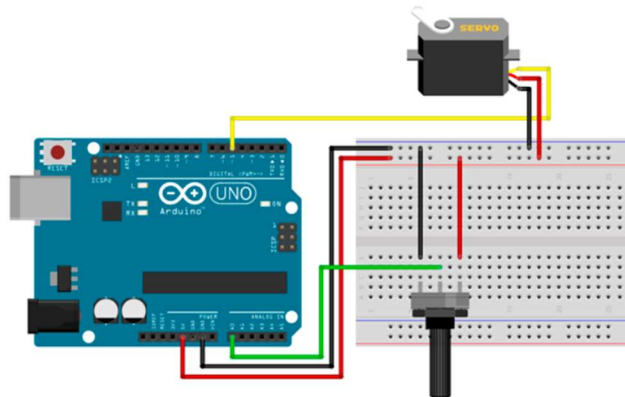
Figura 27 – Servomotor



Fonte: Loja Saravati

Após a escolha e aquisição do manipulador e dos demais componentes, foram feitos testes para verificar o funcionamento dos servomotores e, por conseguinte, executar os testes com o auxílio de um potenciômetro. A ligação utilizada para tal teste é representada pela Figura 28.

Figura 28 – Esquema de ligação servomotor e potenciômetro



Fonte: (Adilson Thomsen, 2011 – filipeflop.com)

O teste tem o intuito de atestar o funcionamento dos servomotores em condições simuladas do sinal EMG. Utiliza-se um potenciômetro para simular uma oscilação mais próxima o possível de um sinal real, possibilitando a verificação do provável comportamento das juntas do manipulador.

A alimentação dos componentes é feita indiretamente pelo próprio Arduino, que é conectado à saída de 5V da porta USB de um notebook por meio de um cabo. Fios mais finos são ligados da saída de 5V e do GND do Arduino para os terminais da *Protoboard*.

Para a programação do movimento dos servomotores, foi utilizada o aplicativo “Arduino IDE 1.8.19”. No algoritmo, foi definido o ângulo máximo para a rotação dos servomotores, no caso, 45°. O valor foi estabelecido visando o melhor funcionamento do manipulador, ao passo que, valores angulares maiores podem comprometer ou sobrecarregar os componentes.

Para o teste, foi utilizado um código adaptado para as condições do projeto. O potenciômetro foi alimentado nas entradas 5V e GND (referência) e ligado à uma entrada analógica do microcontrolador (A0). O primeiro passo foi a declaração do servo como uma variável e atrelando à um pino de saída digital (pino 5, por exemplo), onde o impulso sairia para movimentar de fato o servomotor. O segundo passo foi a definição do intervalo de ângulo que seria lido pelo servomotor, sendo definido em 45°, por meio do comando “*Angle*”. Por fim, ao ligar o cabo do Arduino UNO ao notebook e compilar o código, foi possível movimentar os servomotores por meio da variação do potenciômetro.

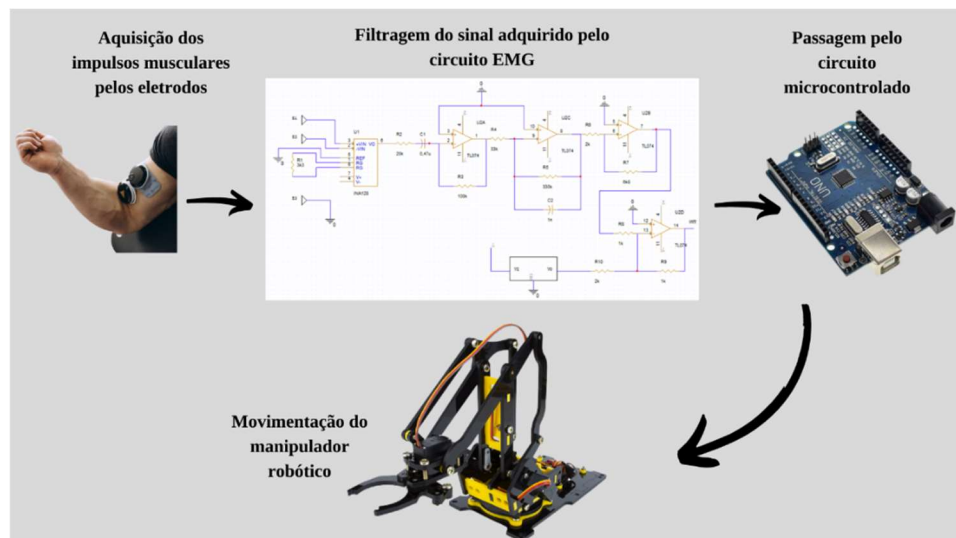
A Figura 25 representa o esquema de ligação real para a execução do teste dos servomotores, onde a *protoboard* é alimentada pelo Arduino, podendo assim, alimentar os demais componentes (servomotor e potenciômetro).

3.3.Integração entre o circuito EMG e o manipulador robótico

A Integração das etapas anteriores tem como intenção final a movimentação do manipulador por meio dos sinais EMG.

Inicialmente, os sinais EMG são captados por meio de eletrodos em um braço humano (de algum voluntário), estes eletrodos estão ligados à entrada do circuito EMG, responsável por amplificar e filtrar esse sinal. A saída desse circuito está ligada ao circuito microcontrolado (Arduino UNO) que é responsável pela conversão desse sinal analógico para digital, assim, fazendo com que os servomotores presentes no manipulador possam interpretar e receber esses impulsos. A Figura 29 ilustra essas etapas.

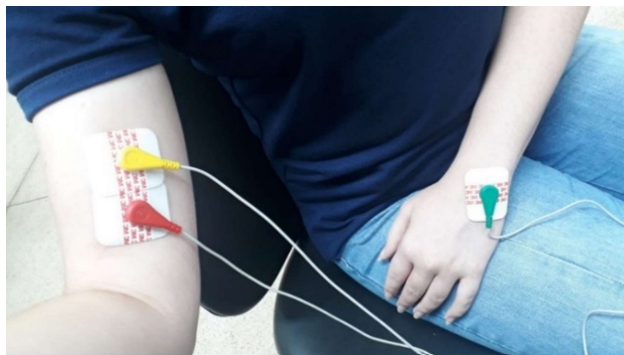
Figura 29 – Etapas para integração dos Sinais EMG e o Manipulador robótico



Fonte: (AUTORAS, 2022)

Para a aquisição do sinal EMG, foram colocados eletrodos de superfície em pontos estratégicos do braço dos voluntários. Para isso, foram posicionados dois eletrodos não invasivos (eletrodos de superfície) no bíceps e um no osso do pulso (ponto de referência), conforme mostra a Figura 30.

Figura 30 – Disposição dos eletrodos no braço da voluntária



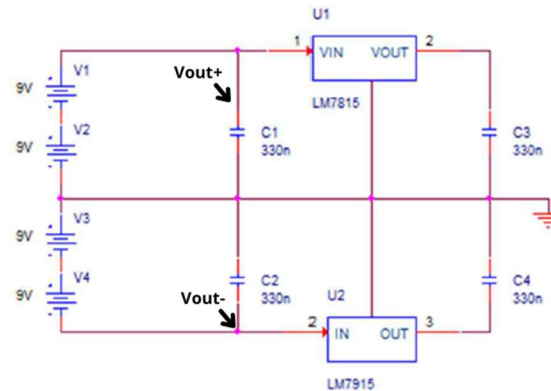
Fonte: Autoras, 2022

Os dois cabos dos eletrodos posicionados no bíceps foram conectados à entrada do circuito EMG, no componente INA128 (pertencente ao estágio de amplificação do circuito), e o ponto de referência ligado ao terra. Como o potencial gerado pela contração do músculo é na casa dos milivolts e com alta impedância, é necessário o estágio de amplificação desse sinal, para que ele fique legível para os demais estágios do circuito, além de rejeitar o modo comum, ou seja, os sinais que aparecem simultaneamente em fase com os sinais de entrada.

Para que não haja interferências por parte da rede elétrica no circuito, a alimentação deve ser feita por meio de uma fonte simétrica independente. O objetivo é que não haja interferência da frequência da rede (60Hz) no sinal obtido por meio do impulso muscular. A

fonte é alimentada por baterias de 9V, o que é suficiente para garantir o funcionamento do mesmo. O esquema da fonte simétrica é representado pela Figura 31.

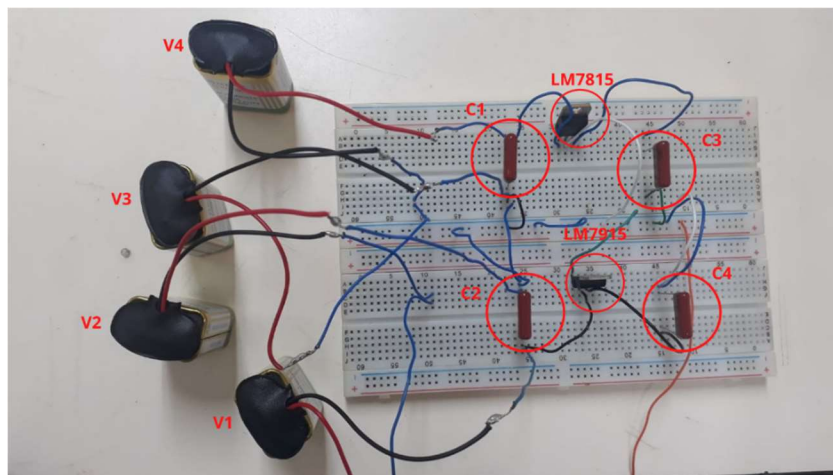
Figura 31 – Esquema de ligação da fonte simétrica



Fonte: Adaptado de Nova Eletrônica

A ligação da fonte consiste na utilização de 4 baterias de 9V, duas em série, ligadas a um LM7815 (Regulador de tensão positiva) que tem a função de regular a tensão para 15V, e as demais também em série, ligadas a um LM7915 (Regulador de tensão negativa) para regular a tensão para -15V. Além dos capacitores de poliéster localizados em pontos estratégicos do circuito (quatro de 330nF) para filtrar os possíveis ruídos. A fonte montada é mostrada na Figura 32.

Figura 32 – Fonte simétrica



Fonte: Autoras, 2022

Inicialmente, a saída do circuito foi ligada a um osciloscópio para monitorar os sinais adquiridos. Pontos como amplitude e frequência dos sinais devem ser levados em consideração, já que interferem no movimento do servomotor. Quanto mais contraído é o músculo, maior a intensidade do movimento (BARROS, 2005).

O circuito foi montado de forma separada, afim de analisar a saída de cada etapa de forma isolada, assim, tendo a possibilidade de identificar possíveis erros que possam surgir em determinados pontos do circuito EMG.

Posteriormente, após a verificação dos sinais por meio do osciloscópio, a saída do circuito foi conectada ao Arduino UNO, responsável pelo processamento dos sinais EMG captados e tratados e pelo envio dos sinais de controle para os servomotores do manipulador. O Arduino UNO é mostrado na Figura 23 (Seção 3.1, capítulo 3).

Como apresentado na seção 2.5, com as informações presentes na Tabela 1 pode-se encontrar a resolução do microcontrolador (Equação 2.1). A tensão de operação (V_{ref}) varia de 0 a 5V e possui 12 portas digitais, assim:

$$Resolução = 5/2^{12} = 5/4096 = 1,22mV$$

A resolução é um ponto importante a se observar pois interfere diretamente na qualidade do sinal convertido, segundo Lima, M. E., quanto maior a ordem de bits, melhor a qualidade de conversão. Quanto melhor o sinal convertido, mais precisos serão os movimentos do efetuador, nesse caso, os servomotores.

Os servomotores são responsáveis pelos movimentos do manipulador. Cada servomotor foi ligado a um circuito EMG independente, para que cada um receba um estímulo diferente. O modelo de servomotor escolhido para esse manipulador foi o 9g SG90. O Servomotor é mostrado na Figura 27 (Seção 3.2.1, capítulo 3).

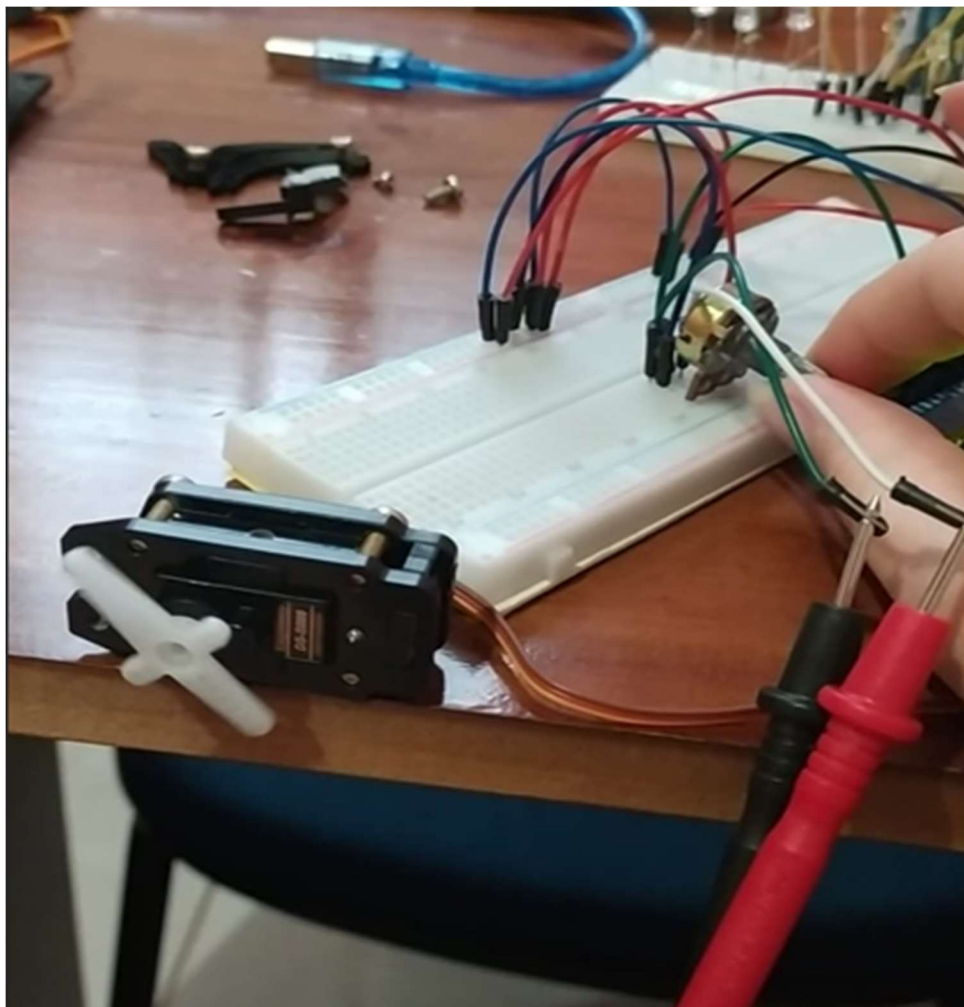
À medida em que o servomotor se movimenta, uma junta do manipulador também se moverá, fazendo com que os movimentos do mesmo possam se comparar aos movimentos humanos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Devido ao Ensino Remoto Emergencial, em decorrência da pandemia mundial do Covid-19, não estava prevista a etapa de implementação e testes da integração do sistema. Mas, com o retorno gradual das atividades presenciais, foi possível realizar a montagem do sistema e realizar os testes, porém, com um curto prazo de 3 dias.

Os testes iniciais foram feitos com um potenciômetro simulando a entrada dos sinais EMG, indicando ser possível executar a movimentação do manipulador. A Figura 33 ilustra um dos testes feitos com o potenciômetro. No teste, a hélice do servomotor movimentou-se assim como esperado, de acordo com a variação do potenciômetro. Também foi utilizado um multímetro para analisar e comprovar a variação da resistência do potenciômetro.

Figura 33 – Teste dos servomotores



Fonte: (AUTORAS, 2021)

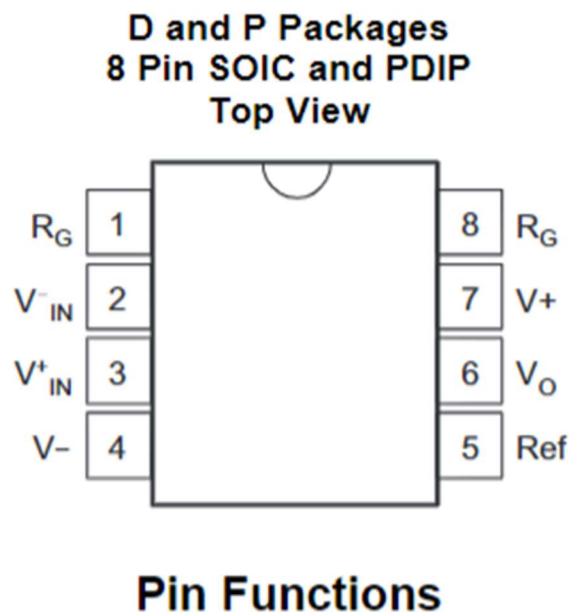
Após o teste com os servomotores, foi possível iniciar a montagem do circuito EMG na *protoboard*. A montagem foi feita por etapas afim de analisar a saída de cada estágio

individualmente, assim, tornando mais simples a identificação de possíveis danos ao circuito ou mau funcionamento do mesmo.

Como mencionado tópico 3.3, referente à Integração do Circuito EMG com o manipulador cada etapa do circuito EMG foi montada e testada individualmente com o auxílio de um osciloscópio.

Em primeiro momento, foi montado o primeiro estágio, o de amplificação, segundo o diagrama ilustrado pela Figura 17 (Capítulo 2, seção 2.5). Quando finalizado, foi feita a ligação dos eletrodos nas entradas do INA128 (pinos 2 e 3) e estabelecida a referência. A ponteira do osciloscópio foi posicionada na saída do INA (pino 6), conforme demonstra a sua pinagem (Figura 34). Pelos sinais mostrados no visor do osciloscópio, foi constatado que a etapa estava correta, já que cumpria a sua função de amplificar o sinal de entrada, mesmo que apresentasse uma grande quantidade de ruído. O esquema de ligação desse estágio é mostrado na Figura 17 (Capítulo 2).

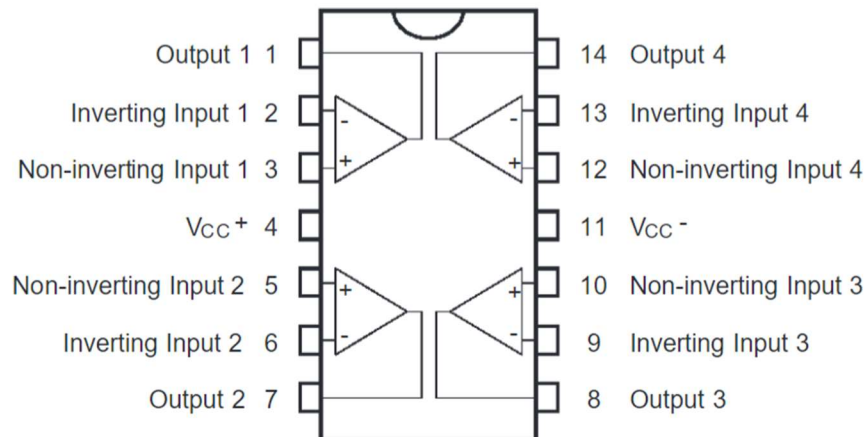
Figura 34 – Pinagem INA128



Fonte: Datasheet INA128

A segunda etapa refere-se à etapa de filtragem. O estágio dos filtros foi montado e testado juntamente com o estágio de amplificação. A ponteira do osciloscópio foi posicionada na saída do segundo TL074, localizada no pino 1, conforme ilustrado na Figura 35, atestando que o estágio estava funcionando da forma esperada. O esquema de ligação desse estágio é mostrado na Figura 18 (Capítulo 2).

Figura 35 – Pinagem TL074



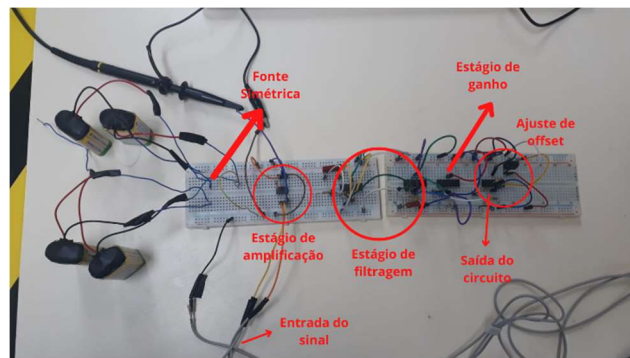
Fonte: Datasheet TL074

A terceira etapa é o estágio de ganho, onde, da mesma forma foi montado e testado juntamente com as etapas anteriores. O osciloscópio foi posicionado no pino 1 do TL074, assim como ilustrado na pinagem na Figura 35. Foi atestado o seu funcionamento, assim como esperado, mesmo ainda apresentando uma alta incidência de ruídos. O circuito é representado na Figura 19 (Capítulo 2).

A quarta e última etapa é a etapa de ajuste de *offset*, ela foi montada conforme a Figura 20 (Capítulo 2) e, a ponteira do osciloscópio posicionada na saída do TL074 (pino 1). Foi identificado um mau funcionamento nesta etapa, assim, fazendo com que o resultado final não fosse o esperado. O circuito foi remontado com outros componentes, mas persistiu com o mau funcionamento.

Ao realizar novos testes nas etapas anteriores foi constatado um mau funcionamento de todo o circuito, porém não foi possível identificar a razão, já que foi feita a troca de componentes algumas vezes, e o erro persistiu. O circuito montado por completo é mostrado na Figura 36.

Figura 36 – Circuito EMG alimentado

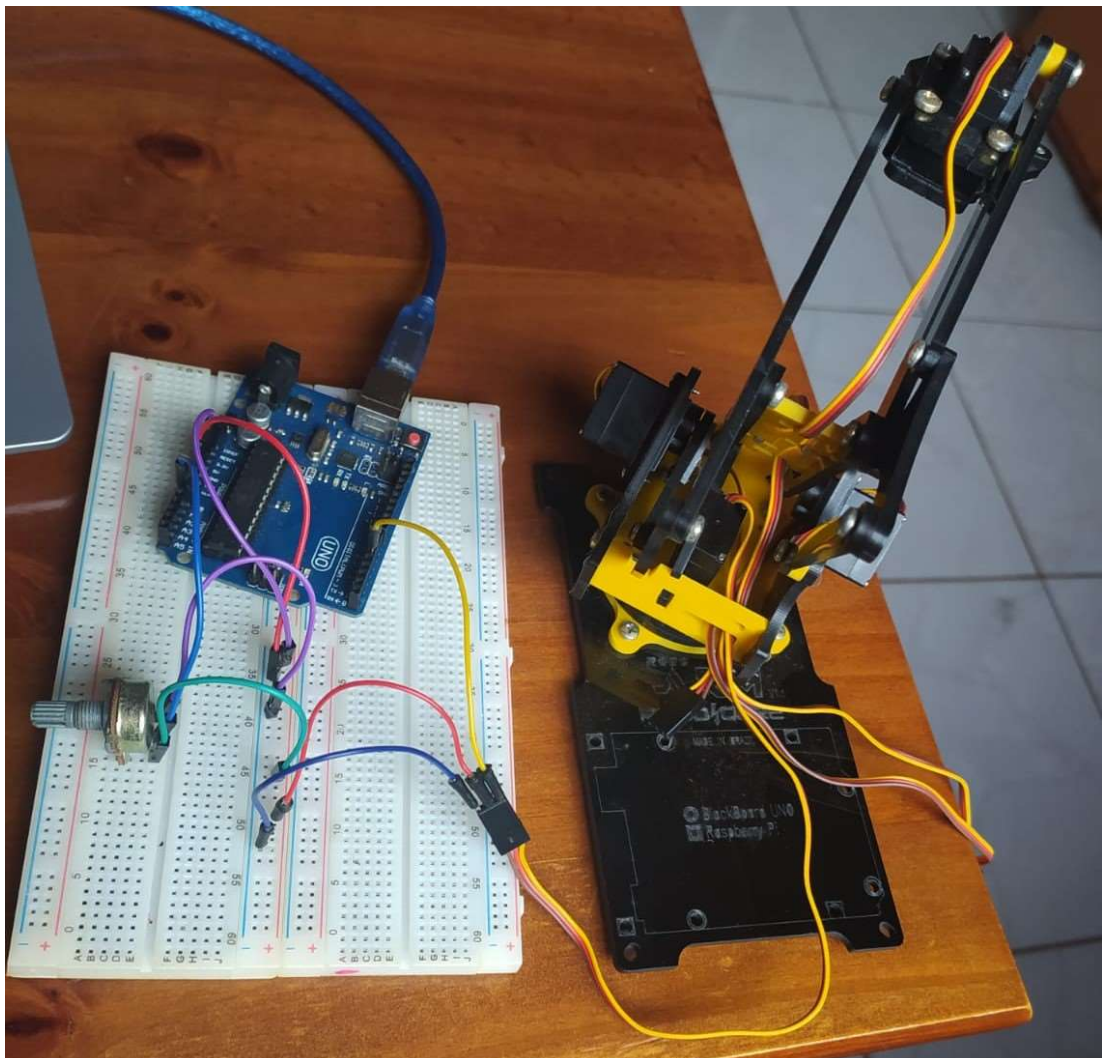


Fonte: Autoras, 2022

Há várias possibilidades para explicar o motivo do não funcionamento por completo do circuito, inclusive há possibilidades de ter ocorrido um curto-circuito em algum componente crucial do circuito, porém nada foi comprovado ou identificado de imediato e, devido ao curto prazo, não há previsão para o estudo. Pode ser objeto de análise para trabalhos futuros.

Como o circuito EMG não funcionou da maneira esperada, testes com potenciômetro foram refeitos, afim de atestar o funcionamento mesmo que em uma situação simulada. Os motores foram testados de forma individual, mas dessa vez com o manipulador montado. A testagem individual seria para aproximar-se da situação do EMG, onde cada canal movimentaria um motor. A Figura 37 mostra o teste com o manipulador.

Figura 37 – Teste com o manipulador



Fonte: AUTORAS, 2022

O teste simulado obteve êxito, indicando assim que é possível a utilização de sinais eletromiográficos na movimentação de um manipulador robótico.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em decorrência da pandemia de Covid-19, algumas atividades presenciais começaram a retornar tardiamente, por isso, o período de testes foi curto e insuficiente para conseguir identificar precocemente todos os problemas no funcionamento do circuito EMG. Devido ao breve e incerto prazo de experimentos, fez-se necessário a aquisição de componentes nacionais, o que levaria menos tempo na entrega, porém sem certezas da procedência, o que pode ter sido um ponto agravante. É importante ressaltar que o principal amplificador de instrumentação, INA128, utilizado no primeiro estágio para obtenção dos biosinais é um componente difícil de ser encontrado com qualidade no mercado brasileiro.

Sabe-se que para circuitos EMG a etapa de amplificação é uma das mais importantes. Por esse motivo, o INA (*Instrumental Amplifier*) é considerado o coração do circuito. Atestando o mau funcionamento dessa etapa, as etapas posteriores também não funcionam da forma esperada, já que a etapa de amplificação é responsável por amplificar o sinal de entrada e rejeitar o sinal de modo comum.

Ainda que existiam componentes guardados, que foram usados em um segundo momento, não se sabe se tinham alguma avaria. Dessa forma, podemos supor que esse é um provável ponto agravante para o não funcionamento adequado do circuito.

O projeto tem potencial transformador, por isso dá abertura para estudos futuros, afim de solucionar os problemas do circuito e lograr êxito na movimentação do manipulador. É um projeto que deve ser testado com um prazo maior, afim de conseguir corrigir os problemas a tempo, se houver.

Por fim, vale ressaltar que esse projeto se iniciou em um projeto de PIBITI (Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica e Tecnológica), edital nº 011/2020. Esse primeiro contato foi de suma importância para construção do conhecimento acerca do método científico e da interdisciplinaridade das áreas que envolvem medicina, engenharia, reabilitação, entre outras. Embora boa parte das atividades tenham sido desenvolvidas remotamente, em decorrência da pandemia provocada pelo COVID-19, foram essencialmente relevantes para a formação acadêmica das autoras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMORIM, C. F. Eletromiografia de superfície como ferramenta de quantificação aplicada no estudo da reabilitação motora e funcional. Tese de Doutorado, Universidade do Vale do Paraíba. São José dos Campos, 2009.
- ANDRADE, N. A. Desenvolvimento de um sistema de aquisição e processamento de sinais eletromiográficos de superfície para a utilização no controle de próteses motoras ativas. Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Elétrica. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica. Brasília/DF, 2007.
- BARROS, K. R. Metodologia para Classificação de Sinais EMG para Controle de Próteses com Baixo Esforço Computacional. Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica. Uberlândia/MG, 2005.
- CAMARGO, D. R. Desenvolvimento de um protótipo de uma prótese antropomórfica para membros superiores. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica. São Carlos/SP, 2008.
- CORREA, C. S.; COSTA, R.; PINTO, R. S. Utilização de diferentes técnicas para o controle do posicionamento dos eletrodos de superfície na coleta do sinal eletromiográfico. Rev. Acta Brasileira do Movimento Humano, v.2, n.2, p.5-13 – Abr/Jun, 2012.
- COUGHLIN, R. F.; DRISCOLL, F. F. Operational Amplifiers and Linear Integrated Circuits. 6 ed. Prentice Hall, 2001.
- CRAIG, J. J. Robótica. 3 ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2012.
- DE LUCA, C. J. Electromyography. In: Webster JG (Ed). Encyclopedia of Medical Devices and Instrumentation, John Wiley Publisher, 98-109, 2006.
- DE LUCA, C. J. et al. Decomposition of Surface EMG Signals. J Neurophysiol, vol 96, p. 1646–1657, 2006.
- DE MENESES, L. H. S. Prótese mecânica de baixo custo controlada pelo método de eletromiografia e internet das coisas. Instituto Federal de Santa Catarina, Departamento acadêmico de metal – mecânica. Florianópolis/SC, 2021.

FORTI, F. Análise do sinal eletromiográfico em diferentes posicionamentos, tipos de eletrodos, ângulos articulares e intensidades de contração. Dissertação de Mestrado em Fisioterapia. Universidade Metodista de Piracicaba. Piracicaba, 2005.

FRANTZ, S.H; MENDES JUNIOR, J. J. A; SARRO JUNIOR, A. D. Controle de um braço robótico através de eletromiografia. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Trabalho de conclusão de curso em Tecnologia em Automação Industrial. Ponta Grossa/PR, 2014.

HAMILL, J.; KNUTZEN, K. M. Bases biomecânicas do movimento humano. 2 ed. Barueri, SP: Manole, 2008.

HENNEBERG, K. Principles of Electromyography. In: The Biomedical Engineering Handbook. (Joseph D. Bronzino, Ed.). Second Edition. Boca Raton: CRC Press LLC, 2000. Cap. 14.

JAMAL, M. Z. Signal Acquisition Using Surface EMG and Circuit Design Considerations for Robotic Prosthesis. In: NAIK, G. R. Computational Intelligence in Electromyography Analysis – A Perspective on Current Applications and Future Challenges. INTECH publishing, cap. 18, p. 427-448, 2012.

KONRAD, P. The ABC of EMG - A Practical Introduction to Kinesiological Electromyography. Powered by Noraxon INC, USA, version 1.0, 2005.

LIMA, L. M.; FREITAS, M. C. R.; SILVA, H. J. Análise e Leitura do Sinal Eletromiográfico. Cap 2. In: SILVA, H. J. Protocolos de Eletromiografia de Superfície em Fonoaudiologia. Barueri/SP: Pró-Fono, 2013.

LIMA, M. E., Conversão Digital Analógico e Analógico Digital. Disciplina de Eletrônica Básica, UFPE.

MACHADO, G. S. Órteses e próteses no Sistema Único de Saúde. Estudo Técnico. 2018

MATARIC, MAJA J. Introdução à Robótica. 2 ed. Editora Unesp, 2014.

MARCHETTI, P. H.; DUARTE, M. Instrumentação em Eletromiografia. Laboratório de Biofísica, Universidade de São Paulo, 2006.

MENDONÇA, K. R. – Análise de desempenho de filtragem biomecânica derivada de biomaterial látex aplicada em sistema de aquisição, exibição e análise de sinais eletromiográficos. 2016. 163 p. Dissertação de mestrado – Universidade de Brasília.

MINISTÉRIO DA SAÚDE – Confecção e Manutenção de órteses, próteses e meios auxiliares de locomoção. Brasília, 2013. Disponível em: https://bvsmis.saude.gov.br/bvs/publicacoes/confecao_manutencao_orteses_proteses.pdf

MIOTEC. Eletrodos descartáveis de Superfície. 2021. Disponível em: <https://blog.miotec.com.br/eletrodos-descartaveis-de-superficie/#:~:text=Os%20eletrodos%20descart%C3%A1veis%20de%20superf%C3%ADcie,capta%C3%A7%C3%A3o%20de%20sinal%20de%20eletromiografia.&text=Ao%20ser%20posicionado%20corretamente%2C%20%C3%A9,atrav%C3%A9s%20da%20interface%20pele%20Deletrodo.>

MOTION LAB SYSTEMS. A software user guide for EMG Graphing and EMG Analysis. Motion Lab Systems, Inc. 2009.

NOVA ELETRÔNICA – O que é uma fonte simétrica? Disponível em: <http://blog.novaeletronica.com.br/o-que-e-uma-fonte-simetrica/>

ORTOLAN, Rodrigo L; DEL CURA, Vanderlei O; FERREIRA, Fábio A; et al. Proposta de um sistema de controle de uma prótese mioelétrica multifunção para membros superiores. Anais.. Madrid: CSIC/CYTED, 2000.

PEREIRA, H. Prótese mioelétrica para membro superior implementada em FPGA. 2016. 103 p. Trabalho de conclusão de curso – Universidade Federal de Santa Catarina.

PROACESSI – Criar Oportunidades: Tecnologias Assistivas. Recife – PE, 2018. Disponível em: http://proacessi.com.br/texto_resultado.php?show=Nw==

RAPOSO, R. D.; SILVA, H. J. Proposta de um protocolo de avaliação da atividade elétrica dos músculos masseter e supra-hióideos em recém-nascidos pré-termo durante a alimentação. Rev. CEFAC. 15(4):803-814, 2013.

RIBAS, A. S. F. Amputados Transfemorais: Sistema de Captura de Sinais Eletromiográficos com Interface de Biomaterial Látex. Universidade de Brasília, FGA, Brasília/DF, 2015.

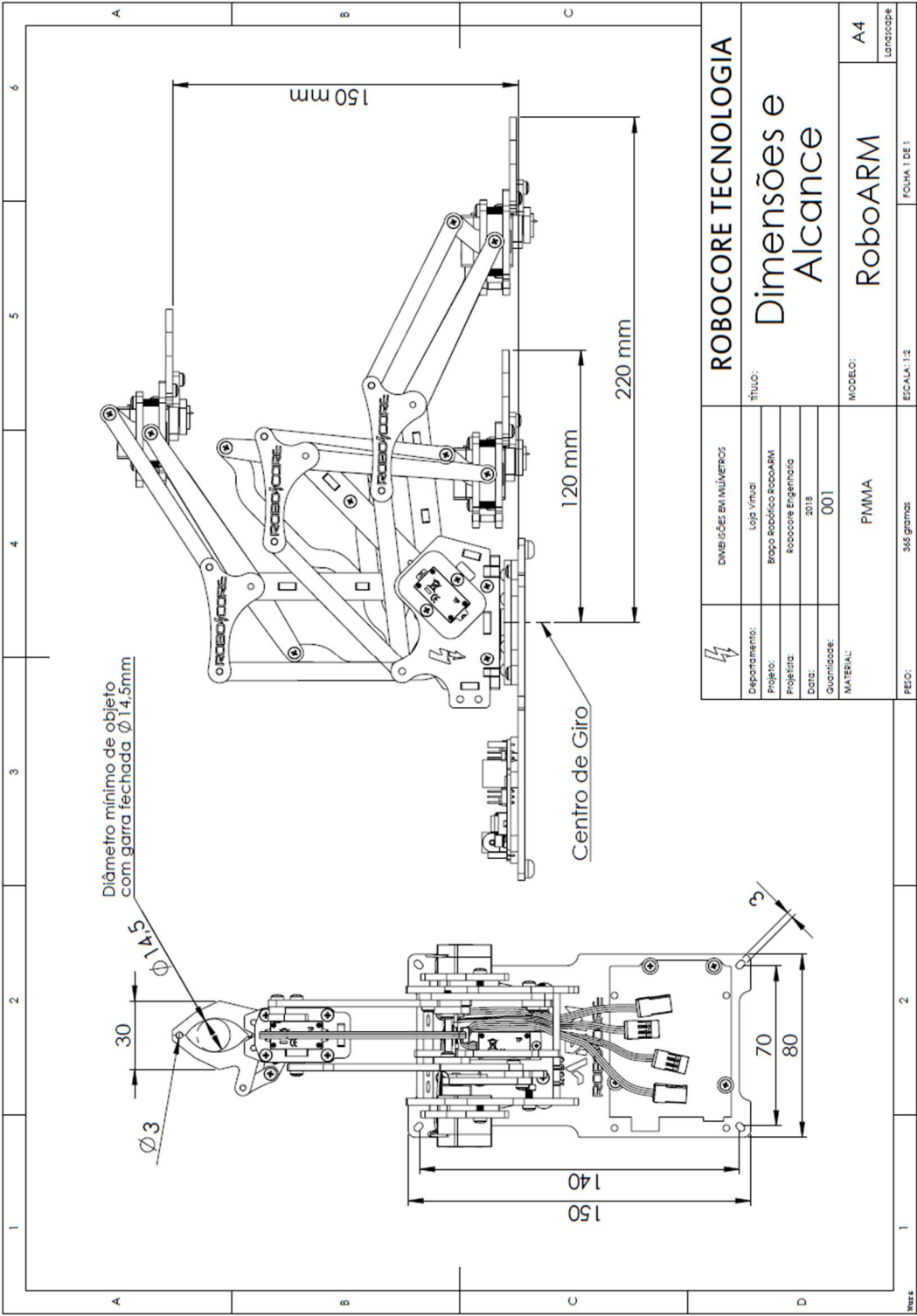
ROSARIO, J. M. Princípios de Mecatrônica, Pearson Brasil. 2005.

TOMÉ, F. B. Metodologias de concepção de eletrodos para Eletromiografia de Superfície. Dissertação Mestrado Engenharia Biomédica. Universidade de Brasília, 2015.

VIANNA, E. R. Projeto conceitual de protótipo de Manipulador Robótico para a realização de cirurgias de revascularização do miocárdio minimamente invasivas. 2021. 119p. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal do Rio de Janeiro

ANEXO I

Neste apêndice é mostrado o desenho técnico do manipulador robótico adquirido, disponível no site da RoboCore.



ANEXO II

Neste apêndice é mostrado o código utilizado para o teste dos servomotores com o potenciômetro. Disponível no site: filipeplofp.com.br

A screenshot of a code editor window with a teal header bar. The header bar contains five icons: a checkmark, a right arrow, a document, an up arrow, and a down arrow. Below the header bar, there is a search bar with the text "servo §". The main area of the editor displays C++ code for controlling a servo motor using a potentiometer. The code includes comments in Portuguese and uses the Servo library. The code is as follows:

```
//Programa: Controle de Servo Motor com Potenciometro

//Carrega a biblioteca Servo
#include "Servo.h"

// Criar um Objeto Servo
Servo servol;
void setup()
{
    // Anexa o Servo ao Pin5
    servol.attach(5);
}

void loop()
{
    // Lê o valor do Potenciometro
    int angle = analogRead(0);
    // Mapeia o valor de 0 a 180 graus
    angle=map(angle, 0, 1023, 0, 180);
    // Repassa o angulo ao ServoWrite
    servol.write(angle);
    // Delay de 15ms para o Servo alcançar a posição
    delay(15);
}
```

Disponível em: <https://www.filipeflop.com/blog/potenciometro-controlando-servo-motor/>

