



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
UNIDADE ACADÊMICA DE SERRA TALHADA
BACHARELADO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO**

Protótipo de prótese robótica de punho e mão utilizando arduino

Por

Frederyk Antunnes de Sousa Alves

Serra Talhada,
Agosto/2018



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
UNIDADE ACADÊMICA DE SERRA TALHADA
CURSO DE BACHARELADO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

FREDERYK ANTUNNES DE SOUSA ALVES

Protótipo de prótese robótica de punho e mão utilizando arduino

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Bacharelado em Sistemas de Informação da
Unidade Acadêmica de Serra Talhada da Universidade
Federal Rural de Pernambuco como requisito parcial
à obtenção do grau de Bacharel.

Orientador: Prof. Me. Héldon José Oliveira Albuquerque

Serra Talhada,
Agosto/2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca da UAST, Serra Talhada - PE, Brasil.

A474p Alves, Frederyk Antunnes de Sousa

Protótipo de prótese robótica de punho e mão utilizando arduino / Frederyk Antunnes de Sousa Alves. – Serra Talhada, 2018.

62 f.: il.

Orientador: Héldon José Oliveira Albuquerque
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Bacharel em Sistema de Informação) – Universidade Federal Rural de Pernambuco. Unidade Acadêmica de Serra Talhada, 2018.

Inclui referências.

1. Robótica na medicina. 2. Membros artificiais. 3. Arduíno (Controlador programável). I. Albuquerque, Héldon José Oliveira, orient. II. Título.

CDD 004

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
UNIDADE ACADÊMICA DE SERRA TALHADA
BACHARELADO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO**

FREDERYK ANTUNNES DE SOUSA ALVES

Protótipo de prótese robótica de punho e mão utilizando arduino

Trabalho de Conclusão de Curso julgado adequado para obtenção do título de Bacharel em Sistemas de Informação, defendida e aprovada por unanimidade em 29/08/2018 pela banca examinadora.

Banca Examinadora:

Prof. Me. Héldon José Oliveira Albuquerque
Orientador
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof. Me. Ygor Amaral Barbosa Leite de Sena
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof. Me. Hidelberg Oliveira Albuquerque
Universidade Federal Rural de Pernambuco

*Este trabalho dedico a meu Pai, minha Mãe,
meus Irmãos e minha Namorada.*

AGRADECIMENTOS

Em toda etapa de nossa vida, na busca diária contamos com a presença contínua deste DEUS maravilhoso, que muitas vezes nos concede mais do que havíamos pedido e abre caminhos que ainda não havíamos imaginado. Também nos levanta nos desafios e nos cerca de pessoas que irão nos ajudar a vencê-los. Agradeço a participação de todos os meus familiares: pais, irmãos e namorada, que me acompanharam e auxiliaram durante mais esta etapa. Agradeço aos colegas de sala, que sempre foram companheiros, acima de qualquer interesse. Aos professores da área de robótica e programação pelo apoio prestado. A professora Lilian Ramires, pelas orientações sempre que solicitado. Ao professor José Héldon, pela dedicação prestada, podendo eu assim contar com um orientador competente e interessado.

"Sem Deus nem tente."

Sousa Alves

RESUMO

O avanço acelerado da tecnologia em todo o mundo, traz consigo sempre inovações e soluções para os mais diversos problemas, como exemplo disso temos a *Internet of Things* (Internet das Coisas), inovando nas mais diversas formas como os dispositivos inteligentes, os dispositivos vestíveis (*Wearable Devices*) é um tipo de dispositivo inteligente, que rastreia comportamentos da saúde, trazendo praticidade ou surpreendendo cada vez mais necessidades de seus usuários. Muitas áreas tecnológicas estão se aprofundando, com uma atenção especial é o caso da robótica, empregada em inúmeras aplicações por todo o mundo como laboratórios, indústrias e com atenção especial em aplicações na medicina, como podemos citar robôs cirurgiões, robôs órgãos, bem como robôs membros artificiais como são os casos das próteses. Na área da robótica na medicina, mais voltada para aplicações em próteses, encontram-se diversos tipos de soluções nas quais as próteses substituem acima de tudo os músculos que vem a obedecer aos comandos de seu utilizador. Vários tipos de próteses são comercializadas, entretanto com valores de aquisição que inviabilizam o acesso a essas próteses, bem como sua produção ou maior parte dele faz uso de materiais importados tornando ainda mais alto seu custo de aquisição. Dessa forma o projeto tem o objetivo de criar um protótipo de prótese, mais específico dos membros superiores (punho e mão) com intuito de levantar informações acerca de custos, materiais acessíveis para seu desenvolvimento fazendo uso de Arduino como placa de prototipação, sensores de eletromiografia para capturar ações desejadas do usuário via atividade muscular, parte física desenvolvida em impressão 3D e desenvolvimento de aplicativo para configuração da prótese e demonstração de movimentações possíveis executadas, tornando um meio mais acessível para reprodução dessa prótese de baixo custo e viabilizando ainda mais o desenvolvimento desse tipo de prótese.

Palavras-chave: Mão Robótica, Arduino, Impressora 3D.

ABSTRACT

The accelerated advancement of technology around the world always brings with it innovations and solutions to the most diverse problems, such as the Internet of Things, innovating in the most diverse ways like intelligent devices, Wearable Devices is a type of intelligent device , which traces health behaviors, bringing practicality or supplying more and more needs of its users. Many technological areas are deepening, with special attention is the case of robotics, employed in numerous applications all over the world as laboratories, industries and with special attention in applications in medicine, as we can mention robots surgeons, robot organs as well as robots artificial limbs such as prostheses. In the field of robotics in medicine, more focused on applications in prostheses, there are several types of solutions in which the prostheses replace above all the muscles that come to obey the commands of its user. Several types of prostheses are commercialized, however with acquisition values that make access to these prostheses impossible, as well as their production, or most of them make use of imported materials, making their acquisition cost even higher. In this way the project has the objective of creating a prototype of a prosthesis, more specific of the upper limbs (wrist and hand) in order to raise information about costs, materials available for its development using Arduino as a prototyping plate, electromyography sensors to capture desired actions of the user through muscular activity, physical part developed in 3D printing and development of application for configuration of the prosthesis and demonstration of possible movements performed, making a more accessible means for reproduction of this prosthesis of low cost and making possible even more the development of this type of prosthesis.

Keywords: Robotic Hand, Arduino, 3D Printer.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Articulações da Mão	20
Figura 2.2 – Movimentos da Mão	21
Figura 2.3 – Prótese Estética ou Passiva	22
Figura 2.4 – Prótese Mecânica ou Ativas	23
Figura 2.5 – Próteses Mioelétricas	23
Figura 2.6 – Prótese Híbrida	24
Figura 2.7 – Diferentes tipos de eletrodos	26
Figura 2.8 – Industria Automotiva na Construção de Veículos de Forma Automatizada	29
Figura 2.9 – Motor de Passo	30
Figura 2.10–Estrutura de Servo motor	30
Figura 2.11–Buzzer	30
Figura 2.12–Leds	31
Figura 2.13–Sensores	31
Figura 2.14–Robô Helpmate	33
Figura 2.15–Prótese de Braço Robótico	34
Figura 2.16–Robô Cirurgião STAR	35
Figura 2.17–Exoesqueleto HAL	36
Figura 3.1 – Esquema de Interação Usuário-Protótipo	44
Figura 3.2 – Projeto final da prótese de punho e mão	45
Figura 3.3 – Mão 3D impressa	46
Figura 3.4 – Servo MG995	46
Figura 3.5 – Arduino UNO Rev3	47
Figura 3.6 – Sensor EMG 1.2	48
Figura 3.7 – Módulo <i>Bluetooth</i> RS232 HC-06	48
Figura 3.8 – Conexões Módulo <i>Bluetooth</i>	49
Figura 3.9 – Conexões Sensor EMG	49
Figura 3.10–Esquemas de Ligação	50
Figura 3.11–Leitura do sensor EMG	51
Figura 3.12–APK Android	52

Figura 3.13–Interface do Software Arduino	53
Figura 3.14–Interface do Software Android Studio	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Demonstração da porcentagem de SO nos dispositivos móveis	39
Tabela 2.2 – Resumo esquemático de trabalhos relacionados	43
Tabela 4.1 – Comandos de movimentação a partir do APK Android	56
Tabela 4.2 – Comandos de configuração da prótese para alterar a ação desejada na utilização do sensor EMG	57
Tabela 4.3 – Tabela de custos de produção da prótese	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABS	Acrilonitrila Butadieno Estireno
APK	<i>Android Application Package</i>
EEG	Eletrencefalograma
EMG	<i>Electromyography</i>
GND	<i>Graduated Neutral Density Filter</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
IDE	Interface de Desenvolvimento Integrado
PLA	<i>Polylactic Acid</i>
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
RX	Recepção/ <i>Upload</i>
TX	Transmissão/ <i>Download</i>
VCC	Tensão Corrente Contínua
XML	<i>Extensible Markup Language</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Introdução	15
1.2	Motivação e Justificativa	17
1.2.1	Motivação	17
1.2.2	Justificativa	17
1.3	Objetivos	18
1.3.1	Objetivos Gerais	18
1.3.2	Objetivos Específicos	19
1.4	Visão Geral da Monografia	19
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
2.1	A Mão Humana	20
2.2	Próteses	21
2.2.1	Tipos	22
2.3	Eletromiografia	24
2.3.1	Conceito e aplicação	24
2.3.2	Eletrodos	25
2.3.3	Amplificadores e Filtros	27
2.4	Robótica	28
2.4.1	Conceitos	28
2.4.2	Robótica na medicina	32
2.4.3	Aplicação na reabilitação	34
2.5	Arduíno	36
2.5.1	Definição e Tipos	36
2.5.2	Shield	37
2.5.3	Sensores	37
2.5.4	Utilização de Arduíno no desenvolvimento de próteses	37
2.6	Android	38
2.6.1	Áreas de aplicação	38
2.6.2	Popularidade em dispositivos móveis	38

2.6.3	Interação com arduino	39
2.7	Trabalhos Relacionados	40
2.7.1	Aplicações com arduino em eletrodinâmica e biomecânica para comunicação de um mecanismo biônico por comando de voz: Protótipo para prótese de membro superior	40
2.7.2	Prótese eletrônica feita em impressora 3D controlada pro sinais mioelétricos .	40
2.7.3	Desenvolvimento de protótipo e software de controle de prótese de membro superior	41
2.7.4	Projeto e controle de uma mão robótica servo controlada por tendões . .	42
2.7.5	Visão geral dos trabalhos relacionados	42
2.8	Resumo do capítulo	42
3	MODELO DESENVOLVIDO E MÉTODOS	44
3.1	Protótipo Desenvolvido	44
3.1.1	Prótese da mão robótica	45
3.1.2	Comunicação entre os componentes da prótese	48
3.1.3	Reconhecimento e variação EMG	51
3.1.4	Aplicação Android	52
3.1.5	Softwares	53
4	RESULTADOS	55
4.1	Resultados de testes realizados	55
4.2	Reprodução da ação desejada	56
4.3	Aplicação Android	57
4.4	Levantamento de Custos	57
4.5	Dificuldades Encontradas	58
5	CONCLUSÃO	59
5.1	Considerações finais	59
5.2	Proposta para trabalhos futuros	59
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61

1 Introdução

1.1 Introdução

Atualmente a tecnologia está evoluindo de forma acelerada em todo o mundo, sempre surgindo inovações e soluções para os mais diversos tipos de problemas, nas mais distintas áreas. A tecnologia encontra-se em todos os lugares, bancos, lojas, praças, escolas, computadores e nas palmas das mãos com os Smartphones. Sem mencionar que a cada momento estão surgindo novos conceitos e paradigmas, como a *Internet of Things* (Internet das Coisas). O mundo hoje está conectado na rede global, através de redes sociais, grupos de trabalho, TVs, com tantos tópicos de procura diárias e de tantas soluções tecnológicas. Um estudo revela que 6,4 bilhões de objetos conectados deverão estar em uso até o final de 2018. (GARNTER, 2012).

Dispositivos inteligentes como *Wearable Devices* (Dispositivos vestíveis) que rastreiam comportamentos de saúde, é um exemplo real dessas soluções tecnológicas, que estão tornando cada vez mais prática a vida de seus usuários, sendo eles dos mais diversos tipos e funções que visam a praticidade ou forma de suprir alguma necessidade (CASE et al., 2015).

Uma das áreas que está crescendo em relação a dispositivos tecnológicos é a robótica, ramo da mecatrônica que é a ciência que une mecânica com a eletrônica (BRAGA, 2017), onde vem se desenvolvendo muito atingindo áreas distintas, e trata-se sistemas compostos que envolvem partes mecânicas automáticas, controladas por circuitos integrados, onde são projetadas para algum propósito que tem existência em mundo físico e realizando algum tipo de movimento ou ações mecânicas pré-definidas. A robótica está aplicada em diversas áreas e soluções (GUEDES; KERBER, 2011), como por exemplo, robôs auxiliares domésticos que tem, por fim, auxiliar nas atividades domésticas, outro exemplo já atual são os robôs industriais com o intuito de aumentar a produção e reduzir falhas. Os Robôs têm sido empregados em laboratórios científicos, processos industriais, explorações do espaço, sensoriamento terrestre, marítimo, aéreo e uma infinidade de outras aplicações (NASCIMENTO et al., 2016).

Não se sabe até onde esse avanço chegará, pois até homens estão sendo substituídos por dispositivos como podemos citar, empresas que optam na maior parte de sua produção por automação utilizando robôs, a Foxconn é uma delas, que tem planos de demissão de cerca

de 10 mil funcionários que serão substituídas por braços robóticos para produção de displays (CLARK, 2018).

Na área da medicina, quando se fala de aplicações robóticas, com os estudos na área de próteses, surgiu os mais diversos tipos de soluções para deficientes, entre essas soluções estão as próteses dos membros superiores e inferiores, contudo, não é qualquer prótese que substitua um ou mais membros que pode ser considerada um robô, ela deve ter mecanismos robóticos com sensores e atuadores, ser automatizada e ter um sistema de realimentação. Uma prótese robótica substitui acima de tudo os músculos (dos braços, das mãos ou das pernas) obedecendo comandos do seu utilizador deficiente (SOUZA, 2005). Vários tipos de próteses de mão já são vendidos, maioria com tecnologia ou produção totalmente importados, e preços que tornam inviável sua aquisição pela grande maioria das pessoas que necessitam destes equipamentos. Estudos já foram desenvolvidos no meio acadêmico nacional, grande maioria com o foco no estudo da captação dos sinais mio-elétricos para construção de próteses de membro superior (POLIS et al., 2009).

Mesmo com o sucesso na captação desses sinais, a construção física e aprimoramento de um protótipo que ofereça aparência e funcionalidade o mais associado possível à mão humana, ainda não se tornou algo disponível para a população, devido à dificuldade de aquisição por meio do SUS (Sistema Único de Saúde), dificultando ainda mais seu acesso para a população de baixa renda.

Nesse trabalho será abordado a criação de um protótipo de prótese de punho e mão robótica com intuito de levantamento consistentes de custos relacionados ao desenvolvimento de prótese que seja capaz de realizar movimentos semelhantes a mão humana, fazendo uso de placa de prototipação arduino e captura de impulsos musculares, obtidos com sensor muscular EMG, decodificados e convertidos em movimentos realizados por servo-motores, como também, o uso de impressora 3D para elaboração do protótipo físico, será também desenvolvido um APK (*Android Package*) que será utilizado para demonstração de movimentos e para configuração da prótese, tendo em vista os poucos projetos open source disponíveis para reprodução dessas próteses.

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos:

- Capítulo 1, é apresentada uma descrição geral do trabalho, objetivo geral e específicos exaltando uma solução de acordo a problemática abordado com o presente trabalho de pesquisa.
- Capítulo 2, a fundamentação teórica do trabalho que embasará a pesquisa como um todo;

- Capítulo 3, apresenta o modelo desenvolvido, materiais utilizados, e método utilizado para desenvolvimento;
- Capítulo 4, os resultados esperados para o projeto quando concluído e
- Capítulo 5 trata da conclusão com todas as referências bibliográficas utilizadas no decorrer do trabalho.

1.2 Motivação e Justificativa

1.2.1 Motivação

A deficiência física é uma alteração completa ou parcial de um ou mais segmentos do corpo humano, acarretando o comprometimento da função física. A sociedade deverá garantir os direitos das pessoas com deficiência, suprindo-as, para uma vida digna e com qualidade segundo (VANESSA et al., 2016).

Observa-se já que existem várias próteses atualmente para os diversos tipos de deficiência física, contudo, realizando análise de custos de aquisição e manutenção dessas próteses, identifica-se valores relativamente altos, onde próteses robóticas desse tipo disponíveis no mercado custam em torno de R\$ 28 mil a R\$ 72 mil (GARCIA, 2009), podendo chegar até os R\$ 200 mil (G1, 2015).

Dessa forma, o desenvolvimento de uma prótese robótica de mão que reproduza de forma similar os movimentos da mão humana para facilitar a realização de diversas tarefas para essas pessoas, e de baixo custo, torna-se motivo de estudo deste trabalho.

1.2.2 Justificativa

No Brasil atualmente existe um grande número de deficientes com necessidades da utilização de próteses, existem 45,6 milhões de pessoas com algum tipo de deficiência, sendo que destes, 4,1% são portadores de deficiência física, ou seja, estamos falando de 1,8 milhões de pessoas (IBGE, 2010), portanto representam um numero considerável, podendo essa deficiência ser de nascença ou traumas.

As amputações por sua vez, representam um efeito com maior intensidade negativa sobre a saúde física e mental de um indivíduo, podendo ser originados através de acidentes, conflitos armados, ou diferentes doenças de caráter vascular, infecções, neoplásicas ou de tipo congênita e outras, gerando grande preocupação na saúde pública, devido aos problemas acarretados sobre cada indivíduo.

Dessa forma, a elaboração de um levantamento de custos para produção de prótese de mão robótica, é motivado pela necessidade de tentar prover meios de melhor custo benefício, para tentar amenizar essa problemática, bem como influenciar sobre o desenvolvimento e desempenho das atividades do individuo durante sua vida diária.

Por fim, a quantidade de pessoas que possuem deficiências físicas, como punho e mão, que afetam diretamente as atividades de trabalho no dia a dia, é um número razoável, mas considerável, que expõe a necessidade de aprofundar o conhecimento e criar soluções práticas, simples, inovadoras e funcionais com o objetivo de que essa tecnologia seja acessível para uma maior quantidade de pessoas, e desta forma possam ter uma vida semelhante à normal de qualquer indivíduo.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivos Gerais

O presente trabalho tem como objetivo a criação de um protótipo de prótese de mão robótica, com intuito de realizar estimativas consistentes de custo para o desenvolvimento de prótese do projeto em questão, fazendo uso de placa de prototipação arduino, buscando a facilidade de construção, fazendo uso de componentes e matérias-primas disponíveis comercialmente e de custo relativamente baixo, podendo assim desenvolver a base estrutural de um produto em desenvolvimento e viabilizar assim sua utilização por um maior número de pessoas.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Desenvolver prótese de mão capaz de realizar movimentos e ações semelhantes a mão humana;
- Desenvolver a aplicação Android para demonstração de movimentos e configuração da prótese;
- Realizar medições através da variação do potencial elétrico muscular, categorizar e definir padrões de movimentos;
- Integração das tecnologias utilizadas, sensores, aplicações e prótese;
- Teste prático de utilização e reprodução dos movimentos de acordo com o proposto a ser realizado.

1.4 Visão Geral da Monografia

Neste capítulo foi apresentado uma introdução dos tópicos abordados nesta monografia, proporcionando uma visão geral de próteses, tecnologias utilidades, e também foi apresentado uma motivação e justificativa para a realização deste estudo. O restante do trabalho está divididos em quatro capítulos, onde o capítulo 2, relacionado a Fundamentação Teórica, apresenta um estudo dos componentes e tecnologias utilizadas para a construção do projeto. No capítulo 3 é apresentado o protótipo robótico desenvolvido neste trabalho, bem como métodos utilizados, o capítulo 4 demonstra os resultados de experimentos realizados e, por fim no capítulo 5 as considerações finais desta monografia.

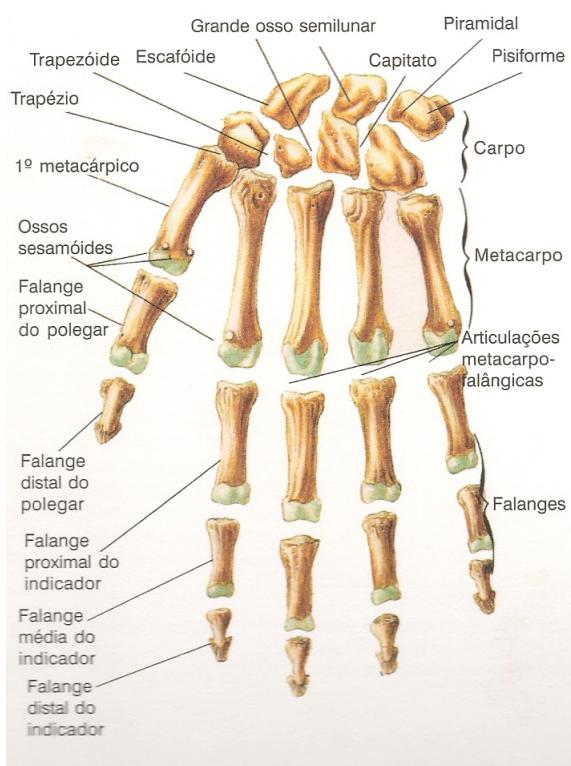
2 Fundamentação Teórica

2.1 A Mão Humana

A mão é a parte final do membro superior próxima ao antebraço constituída pelo carpo, metacarpo e falanges. É composta do punho, palma, dorso das mãos e dos dedos, sendo ricamente provida de terminações sensoriais que permitem sensação de toque, dor e temperatura (MOORE; DALLEY, 2007).

Figura 2.1 – Articulações da Mão

Ossos da mão: face posterior ou dorsal



Fonte: <http://nathyciencias.blogspot.com/2011/09/>

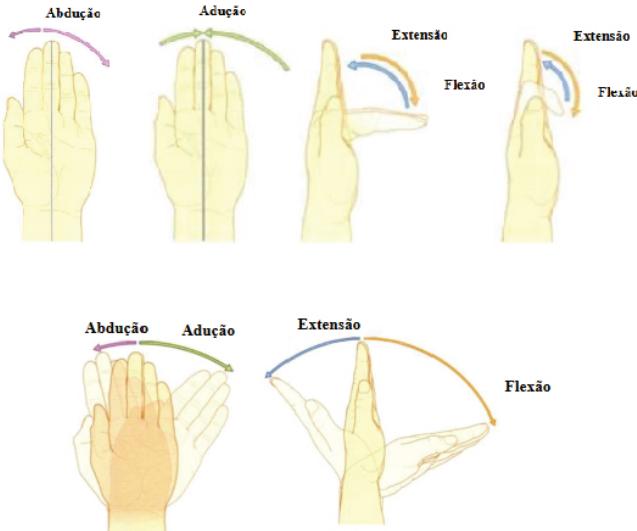
Cada mão é anatomicamente composta por 14 falanges, sendo que, são duas falanges no polegar: uma proximal e uma distal e as outras 12 estão espalhadas, do segundo ao quarto dedo, cada dedo com três falanges: a proximal, a média e a distal. (NETTER, 2008), como representada na figura 2.1.

Ainda segundo (NETTER, 2008), o carpo é a parte da mão formada por oito ossos

pequenos articulados entre si, posicionadas na parte proximal da mão.

A Figura 2.2, ilustra os Movimentos que podem ser realizados pela mão.

Figura 2.2 – Movimentos da Mão



Fonte: Adaptado de Drake et al., 2004, p. 612 e 613

2.2 Próteses

A protetização é um método bem antigo, bastante usado para suprir a falta e auxiliar nos trabalhos realizados por um membro com má formação ou que tenha sido amputado ou por deficiência de nascença. (TAGLIARI, 2008).

De acordo com a Fundação de Articulação e desenvolvimento de políticas públicas (FADERS, 2018), Prótese é um aparelho ou dispositivo destinado a substituir um órgão, de um membro ou parte do membro destruído ou gravemente acometido, já órtese é um aparelho destinado a suprir ou corrigir a alteração morfológica de um órgão, de um membro ou de um segmento de um membro, ou a deficiência de uma função. Levando em consideração esse conceito de próteses e órteses, as próteses tem o objetivo de substituir um membro, independente do motivo da ausência, tenha sido por sequela ou nascença.

Vários tipos de próteses de mãos são comercializadas atualmente, sendo que quase todas com tecnologia ou produção totalmente importada, e com preços que se tornam quase que inviável seu uso pela grande maioria das pessoas que tem necessidade de seu uso.

2.2.1 Tipos

Com a grande necessidade do ser humano da utilização desse recurso, surgiu a necessidade de construir próteses mais funcionais que implicou em grande quantidade de tipos e modelos construídos, embora nem todas completamente funcionais e antropomórficas.

Dessa forma, torna-se importante classificar de alguma forma as próteses para membros superiores. A principal classificação de uma prótese, como visto anteriormente, se dá de acordo com o nível de amputação, já que o paciente merece as maiores atenções, (BLOHMKE, 1994). Porém, para os engenheiros, é mais interessante classificar uma prótese de acordo com os parâmetros técnicos, como sua fonte de alimentação de energia, propriedades específicas de construção e funcionalidades. Sendo assim, a *Otto Bock Industry, Inc* (BLOHMKE, 1994), desenvolveu um método de classificação, sendo classificadas da seguinte forma:

- Próteses Passivas;
- Próteses Ativas;
- Próteses Mioelétricas;
- Próteses Híbridas.

Próteses Estéticas ou passivas como exemplificado na Figura 2.3, são utilizadas por aqueles que teriam dificuldade de operar uma prótese ativa, ou por aqueles que estão mais interessados na aparência;

Figura 2.3 – Prótese Estética ou Passiva



Fonte: <http://www.lojaortolab.com/protese/ombro-estetica.html>

Próteses Mecânicas ou Ativas como ilustrado na Figura 2.4, que são próteses ativas com cotovelo e mão, podendo ser acionado pelo ombro contralateral e a amputação através de cabos retirantes;

Figura 2.4 – Prótese Mecânica ou Ativas



Fonte: <https://www.ortosan.com.br/produtos/protese-mecanica/27>

Próteses Mioelétricas (Figura 2.5) que permitem aos usuários movimentos com extrema coordenação, destreza e precisão. Com movimentos de todos os dedos, independentes, incluindo o polegar, controle desse tipo de prótese é feito através de potenciais elétricos, que são detectados na superfície da pele durante a contração muscular.

Figura 2.5 – Próteses Mioelétricas



Fonte: [https://medium.com/tendências-digitais/próteses-biônicas-a909e8da8834](https://medium.com/tend%C3%Aancias-digitais/pr%C3%B3teses-bi%C3%B4nica-a909e8da8834)

Próteses Híbridas combinam dois tipos de próteses, a mecânica e a mioelétrica, como demonstra na Figura 2.6, para amputações acima do cotovelo é comum usar uma articulação de cotovelo mecânica em combinação com uma mão mioelétrica. Este tipo de prótese é chamado de híbrida, já que possui tanto uma mão suprida por uma fonte de energia externa, como um cotovelo acionado pela tração de um tirante ou um auxílio de flexão

Figura 2.6 – Prótese Híbrida



Fonte: <http://g1.globo.com/ciencia-e-saude/noticia/2015/02cientistas-criam-mao-bionica-tao-habil-quanto-mao-enxertada.html>

2.3 Eletromiografia

2.3.1 Conceito e aplicação

Segundo (MARCHETTI; DUARTE, 2006), a eletromiografia é uma ferramenta importante na análise clínica da marcha e bastante utilizada para revelar informações relacionadas ao estado de ativação do músculo. De forma geral a eletromiografia é um método de monitoramento da atividade elétrica das membranas excitáveis, representando a medida dos potenciais de ação do sarcolema, como efeito de voltagem em função do tempo. O sistema eletromiográfico é a somação algébrica de todos os sinais detectados em determinado espaço, podendo ser afetado por propriedades musculares, anatômicas e fisiológicas, bem como pelo controle do sistema nervoso periférico e pela instrumentação utilizada para a aquisição dos sinais (MARCHETTI; DUARTE, 2006).

O Sinal EMG (Eletromiográfico) é adquirido através de um eletromiógrafo que normalmente está conectado a um computador. Alguns dos parâmetros para aquisição desses sinais são a frequência e a amostragem, alguns componentes como os eletrodos, amplificadores, filtros, conversores analógico/digitais que serão necessários para converter o sinal analógico enviado e recebido dos músculos para um sinal digital que seja possível utilizá-lo no computador.

A amostragem é definida como sendo a leitura de um valor do sinal em certo momento específico. O sinal analógico, reproduzido digitalmente com uma baixa frequência de amostragem, pode não conter todas as informações relevantes, e para isso propõe utilizar uma frequência

de amostragem de no mínimo, o dobro maior que sua frequência.

O sinal EMG de superfície pode ter frequências de até cerca de 400Hz a 500Hz (a frequência máxima é afetada por fatores como tipo de unidade motora e contração, tamanho do eletrodo e distância entre eletrodos e músculos, entre outros fatores). Portanto, considera-se como frequência de amostragem mínima para o sinal EMG superficial da ordem de 1000Hz ou mais (MARCHETTI; DUARTE, 2006).

2.3.2 Eletrodos

Os eletrodos são dispositivos de entrada e saída de corrente em um sistema elétrico. O eletrodo é o local de vinculação entre o corpo e o sistema de aquisição (computador ou receptor) devendo ser colocado próximo o bastante do músculo para que este possa captar sua corrente iônica. A área da interface eletrodo-tecido é chamada de superfície de detecção, fazendo o papel de um filtro passa-baixa, com características dependentes do tipo de eletrodo e do eletrólito utilizado (LUCA, 1997).

Existem diversos tipos de eletrodos como exemplificados na figura 2.7, utilizados para diferentes tipos de aquisição, tarefa, tipo de pesquisa, e músculo específico, e pode-se citar eletrodos de fio ou de agulha, que possuem pequena área de detecção e são limitados nos estudos de unidades motoras, já que possuem menor área de detecção, eletrodos de malha (*array*), que são utilizados para aquisição das características de propagação dos potenciais de ação das fibras musculares.

Os eletrodos superficiais são aderidos a pele e faz a captação através da interface pele-eletrodo, são comumente compostos por um sistema Ag-AgCL (Prata Cloreto de Prata) associados a um gel condutor chamado de eletrólito.

O sinal EMG pode ser adquirido, não necessariamente por um simples eletrodo, mas pode resultar de uma combinação dos sinais advindos de vários detectores, podendo, deste modo, serem classificados como monopolar, bipolar e sistema multipolar segundo (GAMET et al., 1993).

Eletrodos com forma bipolar são os mais utilizados em estudos que envolvem exercícios de contração voluntária, ou sob condições de estimulação elétrica. A detecção diferencial é aplicada para eliminar grandes ruídos das linhas de força. O sinal é detectado em dois locais, onde a circuitaria eletrônica subtrai e então amplifica sua diferença. Como resultado, qualquer

Figura 2.7 – Diferentes tipos de eletrodos



Fonte: (MARCHETTI; DUARTE, 2006)

sinal que é comum a ambos os locais de detecção será removido, e os sinais que são diferentes nos dois locais serão amplificados (LUCA, 1997)

Normalmente são utilizados os eletrodos superficiais passivos, em outras palavras são os que não tem amplificação no próprio eletrodo, ele apenas detecta o sinal EMG e o envia ao amplificador que por sua vez esta associado ao filtro analógico.

Já quando o caso de aplicação tem-se ruídos oriundos de movimentos dos cabos ou algo semelhante, é bem utilizado eletrodos ativos, que amplificam o sinal desde antes de ser enviado ao condicionador. Contam com um pré-amplificador para subtrair e amplificar o sinal, deixando assim o movimento dos cabos ou ruídos menos significativos ao valor final enviado para o computador.

Relacionado a escolha do eletrodo, vale levar em consideração dois pontos: a distância entre as superfícies de detecção que é conhecida como inter-eletrodos e tem por definição a distância de centro a centro entre as áreas condutivas dos mesmos, influenciando diretamente no comprimento da banda das frequências e na amplitude do sinal EMG, e o segundo ponto a ser levado em consideração é o tamanho e a forma das superfícies de detecção, sendo que quanto maior o tamanho da superfície de detecção, maior a amplitude do sinal EMG detectado e menor o ruído elétrico que será gerado na interface entre a pele e a superfície de detecção, porém, vale ressaltar que este deve ser pequeno suficiente para evitar o *cross-talk* de outros músculos (MARCHETTI; DUARTE, 2006).

Em se tratando da qualidade de aquisição do sinal EMG por parte dos eletrodos, faz-se

necessário minimizar a influência da impedância pele/eletrodo. Deste modo, certos cuidados devem ser tomados, tais como limpeza da pele, remoção dos pêlos e leve abrasão para remoção de células mortas.

De acordo com (WINTER, 2009), o local e posicionamento dos eletrodos podem ter grande interferência na qualidade do sinal EMG. Sendo assim alguns cuidados tem que ser tomados como remoção de pelos, limpeza de pele, remoção de células mortas, e se faz relevante a discussão de alguns aspectos, considerados fundamentais como localização do eletrodo, forma de interferência do sinal EMG, direção do eletrodo e eletrodo de referencia.

A localização do eletrodo com relação ao ponto motor, onde é definido como o local no músculo que a inserção baixa corrente elétrica causa um perceptível estímulo nas fibras musculares superficiais. Este ponto por várias vezes corresponde a parte da zona de inervação em um músculo possuindo grande densidade neural, que se tratando da estabilidade do sinal EMG, um ponto motor fornece um péssimo local para a detecção do sinal EMG, pois nesta região os potencias de ação viajam em ambas as direções, onde as fases positivas e negativas dos potencias de ação podem ser subtraídos, logo, cancelando-se, é proposto que o eletrodo seja colocado entre o ponto motor e o tendão distal do músculo avaliado.

Já no caso das formas de Interferência do sinal EMG, existem três formas principais de interferência do sinal EMG, que estão relacionadas ao batimento cardíaco, aquisição do sinal EMG de músculos vizinhos (*cross-talk*) e artefatos eletromecânicos (movimentos do equipamento/cabo e influência da rede elétrica).

Quando se trata da direção do eletrodo em relação às fibras musculares, como o potencial de ação tem trajetória no mesmo sentido das fibras musculares, o eletrodo deve estar alinhado em determinado sentido para a melhor captação do sinal EMG. O SENIAM (acrônimo para o consórcio europeu *Surface EMG for the Non-Invasive Assessment of Muscles*) recomenda que sejam utilizados os eletrodos de referência, dependendo dos músculos analisados, as regiões do punho, tornozelo ou processo espinhal C7.

2.3.3 Amplificadores e Filtros

Quando se tem baixa amplitude de sinal EMG durante a captação, é necessário realizar a amplificação do sinal para apenas depois ser processado. Alguns cuidados tem que ser tomados para a realização dessa amplificação como características do ruído, razão sinal/ruído, ganho, taxa

de rejeição de modo comum, impedância de entrada, input bias corrente largura de banda, onde o ruído se trata de qualquer sinal EMG não desejado ao longo do sinal captado (MARCHETTI; DUARTE, 2006).

Ainda de acordo com (MARCHETTI; DUARTE, 2006), a razão sinal/ruído é onde é mensurado a qualidade do sinal amplificado, que quanto maior a razão, maior também a redução do ruído. O Ganho é a quantidade de amplificação aplicada ao sinal captado, e se tem um limite desse ganho que está associada a largura de banda do amplificador. Já a mensuração da habilidade de um amplificador diferencial em eliminar o sinal de modo comum chama-se taxa de rejeição de modo comum.

2.4 Robótica

2.4.1 Conceitos

A robótica está relacionada com a ciência e tecnologia de mecanismos autônomos controlados por computador, de caráter altamente interdisciplinar, combinando ciência da computação, engenharia e física aplicada segundo (SCHWARTZ; YAP, 2016), e envolve várias ciências como engenharia mecânica, elétrica, inteligência artificial, entre outras, todas elas em harmonia para se criar tecnologias que se tem atualmente.

Robôs que prestam serviço como desarmamento de bombas, robôs operários, robôs com finalidade de pesquisas científicas segundo (ROSARIO, 2010), podem até mesmo ser utilizados para o auxílio em atividades de grande periculosidade. Dentro deste contexto, em que encontramos a reunião dos diferenciados tipos de dispositivos robóticos, emerge a robótica, tida como a ciência dos sistemas que interagem com o mundo real, com pouco ou mesmo nenhuma intervenção humana, por esta definição, portanto autonomia é uma de suas características (EXACTARUM, 2016).

Segundo o Guia Almanaque da Modelix Robotics *open source* (ROBOTICS, 2015), robótica é a ciência que estuda a construção de robôs, e diz ainda que se trata de um sistema composto por partes mecânicas automáticas, controladas por circuitos integrados, tornando esses sistemas motorizados e podendo ser controlados manualmente ou automaticamente por circuitos elétricos. Temos como exemplos de robôs, braços mecânicos utilizados em indústrias

na construção de Veículos como ilustrados na Figura 2.8.

Figura 2.8 – Industria Automotiva na Construção de Veículos de Forma Automatizada



Fonte: <https://www.notibras.com/site/robo-toma-lugar-do-homem-nas-fabricas-de-carros/>

De acordo com o Almanaque, a robótica se divide em 6 Módulos que são: Mecânica, Atuadores, Sensores, Lógica, Comunicadores, Processadores e Micro controladores onde cada módulo é de suma importância para funcionamento do conjunto como um todo (ROBOTICS, 2015).

A Mecânica é responsável pelo conjunto estrutural e de movimento, ou seja, o esqueleto que será capaz de movimentar. Nesse módulo encontramos duas categorias que são: Estrutural e Movimento, onde o Estrutural pode conter estático ou dinâmico que é um subsistema do robô responsável pela sustentação física que pode fixar qualquer componente em qualquer lugar, por exemplo barras, bases, parafusos, conectores, já o Estrutural dinâmico é o responsável pelo movimento gerado por alguns atuadores, fazendo sempre uso da estrutura estática para sua fixação, temos como exemplos os elementos polias, engrenagens, eixos, rodas, girabrequim (ROMANO; DUTRA, 2002). O Movimento é onde faz-se uso de diversas leis na Física para que o robô possa se movimentar e transformar a energia como desejar para que será realizado o movimento.

No Segundo Módulo se trata de Atuadores que são componentes que consomem energia elétrica para realizar uma ação, esses por sua vez estão fixados sempre na estrutura estática do robô. Esses atuadores são divididos em dois grupos que são Rotacionais e Emissores, onde os rotacionais fazem uso da energia para gerar ou fornecer ação em movimentos que possuam torque ou rotação, e normalmente atuam nas estruturas dinâmicas para que essa energia possa ser transmitida (ROMANO; DUTRA, 2002). Itens atuadores na robótica são por exemplo motor

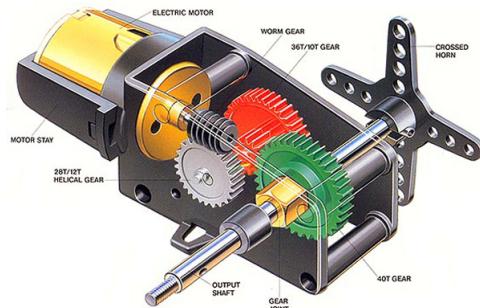
de giro, representado na Figura 2.9, servo motor (Figura 2.10) de rotação ou de posição, motor de passo.

Figura 2.9 – Motor de Passo



Fonte: <http://www.baudaelectronica.com.br/motor-de-passo-nema-34-42-00-kgf-cm-4-20a.html>

Figura 2.10 – Estrutura de Servo motor



Fonte: <http://www.gorge.net.au/servo-motor-working-principle-what-you-need-to-know/>

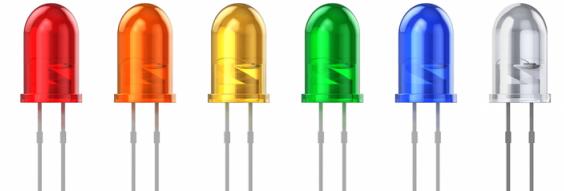
No grupo dos Emissores, se tratam de atuadores diferentes dos geradores, que invés de produzir energia cinética, fazem uso de energia elétrica para emissão visão, sonora, calórica, magnética. Itens desse grupo são *buzzer* (ilustrado na Figura 2.11), *leds* (ilustrado na Figura 2.12), *selonoíd*, resistências de calor (GONÇALVES; SILVA; BATISTA, 2015).

Figura 2.11 – Buzzer



Fonte: <https://www.modmypi.com/raspberry-pi/audio-dacampdigi/noise-makers-1046/piezo-transducer-15v-buzzer-2800hz>

Entrando no Módulo de sensores, vemos que se trata de dispositivos sensíveis à alguma forma de energia do ambiente que pode ser luminosa, térmica, cinética, relacionando informações sobre uma grandeza física que precisa ser mensurada (medida), como: temperatura, pressão,

Figura 2.12 – Leds

Fonte: <https://www.baldengineer.com/led-basics.html>

velocidade, corrente, aceleração, posição, etc (WENDLING, 2010). Normalmente a saída deve ser tratada antes da sua leitura no sistema de controle (Arduino). No sinal digital ele recebe e trata apenas lógica booleana ou binária que são 0 ou 1, verdadeiro ou falso, já na analógica ele transmite uma medida que é verificada pela tensão da corrente (“voltagem”) que chega no micro controlador, que pode se fazer uso dessa informação. Temos como exemplo de sinais digitais sensor de luz, de presença, de nível, de fim de curso. Em relação a sinal analógico temos sensor de intensidade de calor, intensidade de luz, sensor de cor, distância, intensidade sonora, exemplificados na Figura 2.13.

Figura 2.13 – Sensores

Fonte: <http://flexquest.ufrpe.br/projeto/2525/caso/2526/minicaso/2529>

No Módulo que se refere a Lógica, é aí que vemos o conceito essencial para a robótica, pois é responsável pelo controle do robô, ou seja, pela ativação dos atuadores através do sinal. Temos aí dois tipos de lógica que é a das ligações e de programação. Lógica das ligações é o ato do robô tomar decisões sem precisar utilizar programação ou intervenção humana, usando sensores, chaves para tomar decisões por exemplo. Temos itens como relés, transistores, sensores, capacitores entre vários outros se tratando de Lógica das Ligações. A segunda que se trata de

Lógica de Programação, é exatamente quando fazemos uso de micro controlador para que tome as decisões que queremos.

Fazendo uso da programação e do micro controlador, interpretamos sinais dos sensores e tratamos da forma desejada e para o fim que desejamos que realize e deve-se fazer uso de estrutura de programação para isso.

Quando se trata de Comunicação (sem fio), temos a possibilidade de fazer uso de comunicação entre computador e micro controlador como também entre o controle remoto e o robô ou micro controlador para se realizar conexões. É interessante essa utilização pois dá mais liberdade em relação de não necessariamente estar perto do robô para enviar algum comando ou solicitar alguma ação, e temos como exemplo de comunicação a rádio frequência, *Bluetooth*, Wifi.

Por fim, os Processadores e Micro controladores, onde são os responsáveis por “dar vida” ao robô, recebendo informações dos sensores, enviando sinais para funcionamento dos atuadores.

Segundo (MACEDO; PRIETCH, 2011) , “micro-controladores são conhecidos como computadores embutidos em circuitos integrados, em um micro-controlador pode ser encontrado memória, unidade central de processamento, entradas e saídas, outros ainda possuem periféricos como conversores Analógicos/Digitais e Digitais/Analógicos, comparadores.”

2.4.2 Robótica na medicina

No campo da medicina se encontra também robótica nas mais diferentes formas e utilidades, podemos citar entre robôs de apoio a idosos e deficientes (BASTOS, 2014), robôs membros artificiais (próteses) (ROCHA, 2015), robôs órgãos artificiais, robôs que participam de cirurgias dentre outros tipos.

Segundo (BASTOS, 2006), nanotecnologia é uma ciência relacionada à manipulação da matéria ao nível molecular, visando a criação de novos materiais, substâncias e produtos, com uma precisão de átomo a átomo. A Nanotecnologia está emergindo como a próxima revolução tecnológica, com eventuais efeitos sobre todos os aspectos da vida.

Um dos motivos da robótica na medicina surgiu por parte da necessidade dos hospitais, onde os mesmos contavam com profissionais especializados, sendo que a maioria dos hospitais sofriam, e ainda sofrem com a escassez de médicos e enfermeiros, que por muitas vezes quando

se tem, estão sempre muito ocupados, mesmo levando em consideração toda as barreiras a serem quebradas para a implementação de tais tecnologias segundo (PITASSI et al., 2016). Surgiu assim essa necessidade, e podemos citar como exemplo de uma dessas soluções robóticas o robô de apoio logístico o Helpmate (Figura 2.14) da empresa *Pyxis Corp* que automatiza o trabalho de transporte nos hospitais de refeições, medicamentos e roupa suja, libertando o pessoal auxiliar de enfermagem para que possam realizar tarefas mais diretamente relacionadas com os doentes (RUSSELL; NORVIG, 2013).

Figura 2.14 – Robô Helpmate



Fonte: (EVANS, 1994)

O *Helpmate* é um robô equipado com sensores que fazem o mesmo desviar das pessoas, pegar elevador para mudar de piso, evitar obstáculos entre uma série de itens agregados. Uma característica interessante em relação a robôs na medicina é que eles ajudam a eliminar erros médicos, já que são programados para executar determinada ação com precisão impecável, onde segundo Felippe “Os erros médicos matam mais que muitas doenças” (SOUZA, 2005).

Ainda segundo (SOUZA, 2005), já existe uma série de robôs hospitalares com os mais diversos tipos de funções como o RX que prepara as receitas dos pacientes (pílulas, comprimidos etc.), temos o AHC que também prepara medicamentos, só que líquido, em gotas, o Intellifill que prepara medicamentos injetáveis, ou seja, seringas de injeção.

Robôs membros artificiais por sua vez são robôs de apoio a pessoas com deficiência, como por exemplo antebraço e mão (exemplificado na Figura 2.15), pernas artificiais.

Os Robôs Órgãos artificiais também são uma realidade atualmente, que funcionam de forma automatizada e contém elementos robóticos, por exemplo, o primeiro coração artificial

Figura 2.15 – Prótese de Braço Robótico



Fonte: <http://engenhariae.com.br/tecnologia/novo-braco-robotico-da-darpa-e-uma-maravilha-da-ciencia/>

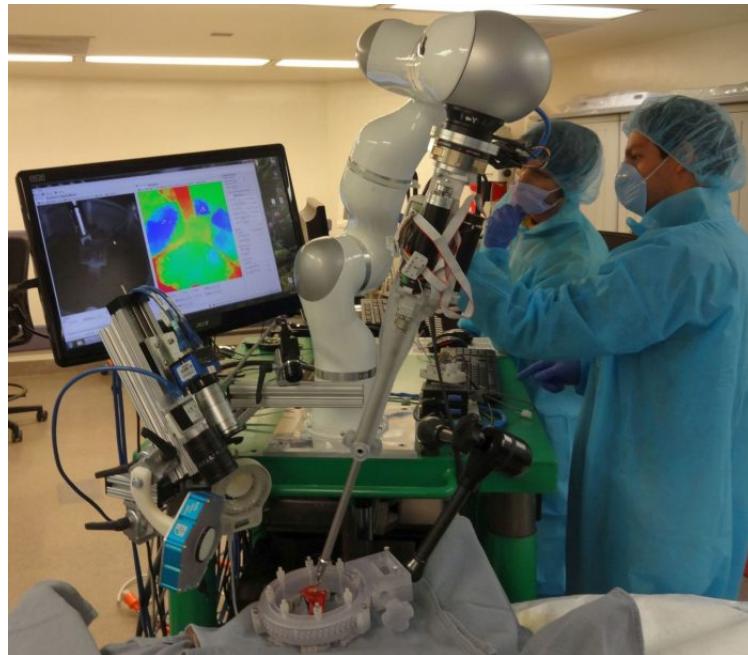
que foi construído no Texas, EUA, em 1981 pelo Dr. Akutson, médico japonês (BOCK et al., 2011). Não apenas coração artificial, tem-se também pulmões, rins dentre outros. Vale salientar que esses órgãos ficaram internos no corpo humano, e existe também vários órgãos externos como o próprio coração artificial utilizado durante a realização de alguns tipos de cirurgias, quando é necessário que interrompa o funcionamento do coração natural do paciente.

A Utilização da robótica nas cirurgias com os robôs cirurgiões, ilustrado na Figura 2.16, vem aumentando significativamente, e atualmente já fazem parte de grande parte das cirurgias médicas, como de coração no reparo de válvulas cardíacas, nas artérias que são as cardiovasculares, no estomago, próstata, até no cérebro que requer um nível crítico de cuidado minucioso, levando em conta a necessidade de muita exatidão na realização das mesmas (JATENE et al., 2010).

2.4.3 Aplicação na reabilitação

A robótica de assistência é um ramo da robótica que visa melhorar a qualidade de vida de usuários com necessidades especiais como, por exemplo, idosos, indivíduos com deficiência física e/ou em reabilitação, com alguma deficiência cognitiva, além de indivíduos com distúrbios sociais (BASTOS, 2014). O principal objetivo é utilizar da interação humano-robô para proporcionar uma maior independência em atividades diárias ao seus usuários e uma melhor experiência de vida, mais próxima da normal. A área da assistência une aspectos da robótica, da medicina e de estudos envolvendo comportamento das pessoas na sociedade. Existem vários desafios e

Figura 2.16 – Robô Cirurgião STAR



Fonte: <https://tecnoblog.net/195204/robo-cirurgiao-star>

barreiras nesse tipo de pesquisa, como por exemplo, a inserção de pessoas e robôs em ambientes compartilhados, interação com as pessoas e com o meio ao redor que exige que o robô tenha uma resposta, de acordo com cada estímulo, com tempo de resposta razoável e aceito, e é importante também que o robô apresente um comportamento previsível, ou seja, mesmo sob falhas deverá ser possível antecipar o comportamento desse sistema, realizando testes e mais testes. Dessa forma, este sistema precisa ser robusto e se preocupar com a interface com os seres humanos segundo (BASTOS, 2014).

Diversas soluções robóticas tem aplicação na reabilitação, nos mais diversos tipos, como na aplicação fisioterápica, onde pode-se citar a utilização de sensores EMG para controlar cadeira de rodas, no caso de pessoas com determinados tipos de deficiência, pode ser citado também o uso do mesmo sensor para controlar um mini robô manipulador que tem a utilidade de ajudar crianças com deficiência severa (BORTOLE; FILHO, 2011).

Exoesqueletos são outro caso de dispositivos robóticos utilizados na reabilitação de pessoas com deficiência como por exemplo o HAL-5 (Figura 2.17), cuja a intenção era fornecer suporte no caminhar para pacientes com hemiplegia resultante de derrame ou de AVE (acidente vascular encefálico) (AMARAL, 2011).

Figura 2.17 – Exoesqueleto HAL



Fonte: (AMARAL, 2011)

2.5 Arduíno

2.5.1 Definição e Tipos

Segundo (Arduino, 2018), o Arduino é definido como uma plataforma de prototipação eletrônica baseada em um conjunto de hardware e software que possui o intuito de interagir com elementos do meio externo de forma fácil e flexível. O hardware é composto basicamente por uma placa com um microcontrolador Atmel AVR, que possui diversas portas I/O (entrada e saída) de dados. Quanto a parte do software, o Arduino atua em conjunto com uma IDE (interface de desenvolvimento integrado), baseada em *Processing*, que é responsável pela programação do hardware.

“Em termos práticos, um Arduino é um pequeno computador que você pode programar para processar entradas e saídas entre o dispositivo e os componentes externos conectados a ele. O Arduino é o que chamamos de plataforma de computação física ou embarcada, ou seja, um sistema que pode interagir com seu ambiente por meio de hardware e software.” (MCROBERTS, 2011).

De acordo com (ARDUINO, 2018), a programação do microcontrolador da plataforma é feita através da linguagem Arduino, tendo como base um *framework* em C/C++ para programação de microcontroladores, o *Wiring*.

Como se trata de open-source, o Arduino possui diversas versões como Uno, Leonardo,

Mega, Nano, entre outros, e é até mesmo possível para os desenvolvedores criarem suas versões da placa, que atendam melhor os requisitos de seu projeto.

2.5.2 Shield

Todo *Shield* é um módulo. “*Shield*” é um termo adotado pelos criadores do Arduino para designar módulos que foram construídos especificamente para montagem sobre um Arduino. Shields são convenientes e mais fáceis de usar isoladamente e produzem um resultado final mais elegante. Mas não tem flexibilidade por causa da pinagem fixa. Se dois shields usarem os mesmos pinos do Arduino você precisa fazer alteração em um deles. Módulos são mais flexíveis nesse sentido e mais baratos, por não serem “especializados”. Isto é: quando um fabricante cria um “*Shield GPS (Global Positioning System)*” ele está visando o Arduino apenas mas se ele fizer um “módulo GPS”, vai ter um público mais amplo: usuários de Arduino, ESP8266, Raspberry Pi, etc (JEFFERSON, 2016).

2.5.3 Sensores

Um sensor é um dispositivo capaz de detectar/captar ações ou estímulos externos e responder em consequência. Estes aparelhos podem transformar as grandezas físicas ou químicas em grandezas eléctricas. Em suma, são artefatos que permitem obter informação do meio e interagir com o mesmo. Deste modo, como os seres humanos recorrem ao seu sistema sensorial para esta tarefa, as máquinas e os robôs requerem sensores para interagirem com o meio em que se encontram (WENDLING, 2010).

2.5.4 Utilização de Arduíno no desenvolvimento de próteses

Em 2015 foi publicado um artigo pela UNISALESIANO que se tratou de desenvolvimento de protótipo e software de controle de prótese de membro superior, e nesse projeto foi utilizado exatamente o arduino como controlador desse protótipo, utilizou como sensor de captura para movimentar a prótese o EEG que se trata de um leitor de atividade cerebral

(eletroencefalograma) (SANTOS BRUNO CALHIARI, 2015).

Mais recente, em 2016, foi desenvolvido pelo departamento de Industria, segurança e proteção cultural em Teresina-PI em uma Olimpíada, que se tratou de uma prótese eletrônica feita em impressora 3D, controlada por sinais mioelétricos, onde a movimentação foi realizada através do sensor EMG que faz leitura te atividade muscular através eletrodos fixados a algum local específico do deficiente físico (COSTA¹ et al., 2015).

2.6 Android

Segundo (CIDRAL, 2015), Android se trata de um sistema operacional do Google desenvolvido para dispositivos móveis com arquitetura Linux, onde gerenciam todas as tarefas de um dispositivo, e nos fornece uma interface visual para que possamos interagir com um sistema eletrônico sem necessariamente saber o que acontece dentro dele.

2.6.1 Áreas de aplicação

O Android foi inicialmente para smartphones, mas atualmente é usado em diversas outras aplicações como tablets, netbooks, relógios, carros, e vários outros dispositivos (SCHULTE, 2016).

Pode-se citar aplicações fora de smartphones como o Android Wear que é bastante utilizado no desenvolvimento de aplicações para Dispositivos Vestíveis (RAWASSIZADEH; PRICE; PETRE, 2015), Android Auto implementado em veículos, Android TV como pode-se ver presente em *smart TV's*.

2.6.2 Popularidade em dispositivos móveis

De acordo com (MEYER, 2015), estatísticas mostram que em 2009 o Android representava apenas 2,8% dos aparelhos vendidos em todo o mundo; do fim de 2010 chegou a 33%. Em 2011 já tinha passado da metade em quantidade de aparelhos que utilizava Android, mais precisamente 52,5%, em 2012 passou para 75%, em 2013 para 78.7% e, em 2014, para 81,5%.

Nos últimos dois anos, seu aumento se manteve estável na média de 84% em popularidade. A Tabela 2.2 demonstra a porcentagem de aparelhos (apenas celulares) que utilizam Android como SO, relacionado a outros sistemas operacionais disponíveis em mercado.

Período	Android	iOS	Windows Phone	Others
2016.1	83,4%	15,4%	0,8%	0,4%
2016.2	87,6%	11,7%	0,4%	0,3%
2016.3	86,8%	12,5%	0,3%	0,4%
2016.4	81,4%	18,2%	0,2%	0,1%
2017.1	85,0%	14,7%	0,1%	0,1%

Tabela 2.1 – Demonstração da porcentagem de SO nos dispositivos móveis

Fonte: <https://www.idc.com/promo/smartphone-market-share/vendor>

2.6.3 Interação com arduíno

Atualmente existem vários trabalhos acadêmicos utilizando Arduíno e Android, temos como exemplo Automações Residenciais, levando o conceito de comodidade, “A Automação Residencial veio trazer comodidade e segurança, buscando sempre a redução no custo da sua implementação” (WORTMEYER; FREITAS; CARDOSO, 2005). Tornando-se assim um aliado aos projetos deste seguimento.

Monk, em seu livro "Projetos com Arduino e Android"(MONK, 2017), demonstra vários projetos de automação que utiliza Arduino associado a aplicações Android como pode-se citar automação residencial, robôs, controles remotos, fechaduras, entre diversos outros projetos.

2.7 Trabalhos Relacionados

2.7.1 Aplicações com arduino em eletrodinâmica e biomecânica para comunicação de um mecanismo biônico por comando de voz: Protótipo para prótese de membro superior

Um dos trabalhos relacionados é o trabalho de Xavier (2013), onde o mesmo tem como objetivo incorporar novas tecnologias para aperfeiçoar dispositivos com comunicação de mecanismo biônico, criando um protótipo de mão para indivíduos com características específicas e necessárias para implantação e adaptação da mesma.

Nos resultados desse trabalho foi possível demonstrar a independência das articulações da prótese e capacidade de força de até 10 quilogramas-força.

O trabalho diferencia pelo fato que o modo de obtenção dos dados, não se trata de sensores EMG, e sim de comandos de voz obtidos com o EasyVr™ Voice Command, fazendo o tratamento da informação recebida e enviando os comandos aos servos para a movimentação. Importante citar que o trabalho não faz uso de nenhuma aplicação android, seja para configuração, bem como para demonstração de movimentos possíveis

2.7.2 Prótese eletrônica feita em impressora 3D controlada pro sinais mioelétricos

O presente trabalho relacionado é o (COSTA, 2015). Refere-se ao desenvolvimento de uma prótese direcionada as pessoas afetadas com má formação em algum dos membros superiores. O projeto tem como objetivo desenvolver uma prótese que realize as funções de uma prótese vendida no mercado, mas com baixo custo. Possui um sistema EMG, capaz de captar sinais enviados pelos músculos através da diferença de potencial. Conectado a este sistema temos a plataforma Arduino, que trata os sinais dos movimentos de acordo com a força dos músculos. Os indivíduos que utilizaram o protótipo, realizaram satisfatoriamente o desejado, relata que o projeto ainda pode ser melhorado, e visa a melhoria das tecnologias existentes para

a implementação na fabricação de modelos de próteses mais sofisticadas.

O trabalho difere na realização dos movimentos pela prótese, onde foi utilizado apenas um servo motor para reprodução das ações desejadas e também pelo fato de não contar com um APK para configuração da prótese ou até mesmo demonstração dos possíveis movimentos.

2.7.3 Desenvolvimento de protótipo e software de controle de prótese de membro superior

Outro trabalho relacionado citado é o trabalho de Santos, Bruno e Calhiari (2015) Que tem como objetivo o desenvolvimento de uma prótese de membro superior, nesse caso mão biônica, de baixo custo controlada por uma interface cérebro-computador, ou seja, impulsos neuro cerebrais fazendo o uso de um eletroencefalograma para mapeamento da atividade cerebral, tratando e convertendo em sinais para a movimentação da prótese.

A metodologia aplicada, fez uso como artefato o treino cognitivo de imageria mental. Basicamente, envolve uso de padrões do EEG (Eletroencefalograma) e ritmos cerebrais, decodificados (aquisição de sinal analógico e transformação para sinal digital), formatados para protocolos de comunicação e estabelecimento de interface com o software do Arduino, via linguagem C++. A interpretação dos dados EEG e ritmos cerebrais Alpha, Beta, Delta e Theta, conhecidos como neurocognitivos, foram realizados pelo software LabChart.

De forma geral tem similaridade com o presente trabalho, o fato de se tratar de prótese, mas como diferencial, faz uso de outro tipo de sensor para aquisição de sinais e tratamento para realização de ações da prótese, levando em consideração que a forma de aquisição de dados para a movimentação se trata de uso de dispositivo de eletroencefalograma e não eletromiografia. Vale ressaltar que não faz uso de nenhuma aplicação android, seja para configuração, bem como para demonstração de movimentos possíveis

2.7.4 Projeto e controle de uma mão robótica servo controlada por tendões

Outro dos trabalhos relacionados é o (MARINHO, 2016), onde refere-se a projetar e construir um protótipo de uma mão robótica antropomórfica servo-controlada, acionada por tendões de aço, e conta com uma serie de movimentos da mão humana que é suficiente para realizar funções básicas como pegar objetos, permitindo segurá-los de formas arbitrárias.

Como metodologia de desenvolvimento do projeto, foram definidas etapas, que são a revisão bibliográfica, concepção e design 3D, modelagem, desenvolvimento do protótipo, controle e comunicação.

O diferencial desse projeto é a forma de movimentação da prótese que faz uso de tendões de aço, não conta com sensores EMG para obtenção de dados, nem faz uso de APK Android para qualquer fim.

2.7.5 Visão geral dos trabalhos relacionados

2.8 Resumo do capítulo

O capítulo 2 desta monografia apresentou conceitos relacionados ao que foram utilizados para o desenvolvimento do presente trabalho. Na seção 2.1 é apresentado um estudo relacionado a a formação da mão do corpo humano, especificado as articulações, movimentos possíveis realizáveis e características específicas. A seção 2.2 traz o conceito de próteses de modo geral, e detalha informações relativas a próteses de mão, tipos, características e utilização. É apresentado na Seção 2.3 conceitos sobre Eletromiografia, mostrando os principais fundamentos utilizados, detalhes técnicos, composição necessária de utilização, bem como demonstra a forma de como é capturada as informações fazendo uso do sensor EMG. A seção 2.4 está disposto os principais conceitos, tanto de modo geral, quanto sua aplicação em reabilitação, em próteses. Na seção 2.5 é estudado base de conceito de Arduino, seus tipos disponíveis e aplicações e na última seção, 2.6, se trata de Android, sua popularidade, integração com Arduino. No próximo capítulo será visto quatro trabalhos que utilizam dessas técnicas e métodos semelhantes e que estão relacionados a

Trabalho	Forma de movimentação	APK Android	Custos / Qualidade 3D / Torque do Servo Motor
(COSTA ¹ et al., 2015)	Sensor EMG	Não	319,70 (Impressão 3D e Construção de Sensor EMG e Placa de Circuito feitos pelo autor), Impressão PLA, Servo com Torque de 9g
(SANTOS BRUNO CALHIARI, 2015)	Sensor EEG	Não	Custo não informado (Média de Sensor 1.558,00), 01 Servo com Torque 9g
(XAVIER, 2013)	Comandos de Voz	Não	Custo não informado, Não informado, Torque de 10kg
(MARINHO, 2016)	Tendões de Aço	Não	Custo não informado, Material em Alumínio, Torque 10kg
Presente Trabalho	Sensor EMG v1.2	Sim	R\$ 921,90, Impressão em ABS, Torque de 15Kg

Tabela 2.2 – Resumo esquemático de trabalhos relacionados

Fonte: Elaborado pelo autor

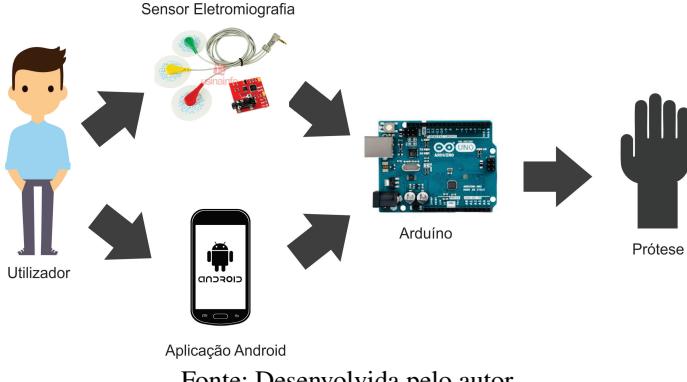
esta monografia.

3 Modelo Desenvolvido e Métodos

3.1 Protótipo Desenvolvido

O protótipo implementado se trata de uma prótese de mão e punho com fisionomia semelhante a mão humana, capaz de reproduzir uma série de movimentos similares a movimentação de uma mão real. A interface de comunicação procede de duas formas. A primeira forma da-se fazendo uso de sensores EMG que são distribuídos em pontos estratégicos, e a segunda forma é através da aplicação Android desenvolvida para demonstração de movimentações e configuração de sensores da prótese, como representado na figura 3.1 a interação entre o usuário e a prótese, prototipada com a placa Arduíno.

Figura 3.1 – Esquema de Interação Usuário-Protótipo



Fonte: Desenvolvida pelo autor

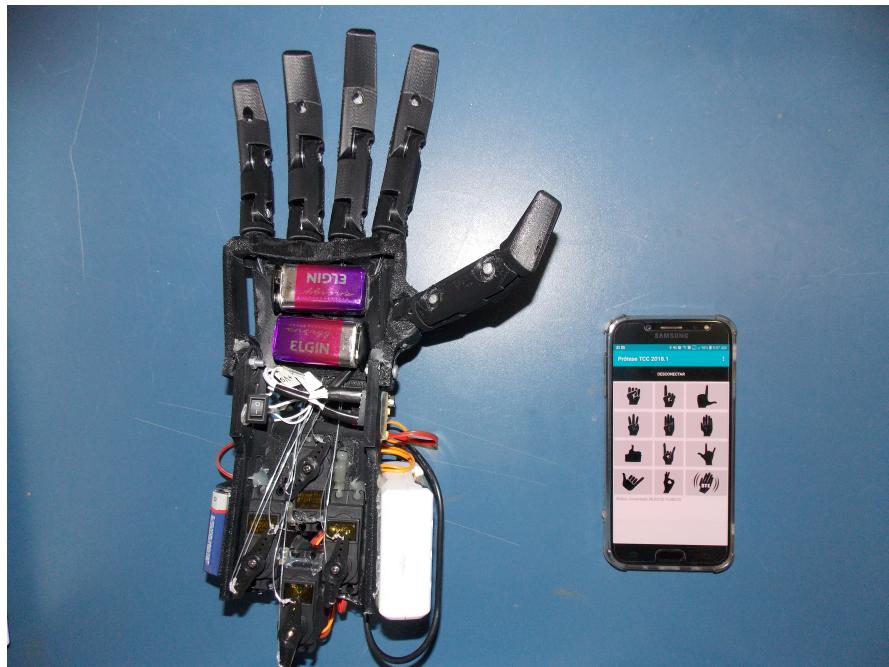
Fazendo o uso dos sensores de eletromiografia, onde estes estarão dispostos em locais predefinidos e estratégicos (três pontos), recebem sinais mioelétricos de acordo com a intensidade de contração dos músculos, onde essa intensidade é variável de pessoa para pessoa e retornam o potencial elétrico que é passado pelo músculo utilizando a unidade de medida Volts. Por sua vez essa diferença de potencial elétrico é enviada para a placa arduino pela porta analógica onde é realizada o tratamento da informação e enviada para as portas digitais para realização da ação desejada.

Já utilizando o segundo meio de comunicação, o utilizador faz uso de um aparelho celular com a aplicação desenvolvida nesta monografia em execução, onde a forma de comunicação entre a placa de prototipação e o aparelho é via *Bluetooth*, enviando comandos predefinidos na

aplicação e na codificação arduino para tratamento da informação.

A Figura 3.2 demonstra a prótese em estado final após todos os testes realizados e documentados.

Figura 3.2 – Projeto final da prótese de punho e mão



Fonte: Elaborado pelo autor

3.1.1 Prótese da mão robótica

Foi desenvolvido a prótese fazendo uso de diversas tecnologias acessíveis. Para o esqueleto, foi utilizado o esquema 3D desenvolvido pela empresa FabLab <<http://www.garagemfablab.com.br/>>, demonstrado na figura 3.3, onde se trata de um projeto *open source* e já vem projetada com todas as vias de passagem de fios para tração e retração, locais de fixação, conta com todas as articulações semelhantes a mão humana.

O Material Utilizado para impressão foi o ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*), feito usando uma resolução de 2.0mm para ficar com melhor acabamento e resistência, impressa pela empresa Impressão 3D Fácil. Vale lembrar que foi optado pelo ABS e não PLA (*Polylactic Acid*) por conta da resistencia de suas camadas, pois o PLA realiza a impressão em mesa fria, e como se trata algumas peças de tamanho maior, corre o risco que resfrie a camada antes que seja aplicada a próxima, ficando assim as camadas menos aderentes, diferente da ABS que faz a impressão em mesa quente e torna assim, a impressão mais resistente também a temperaturas

mais altas em relação a impressão PLA.

Figura 3.3 – Mão 3D impressa



Fonte: Elaborado pelo autor

A estrutura de movimentação é disposta de quatro servomotores MG995, representado na figura 3.4, posicionados na parte que representa o pulso, onde os mesmos são controlados através de sinais de PWM (Modulação de Largura de Pulso, em inglês *Pulse Width Modulation*), gerados pela placa e que passam pelo *buffer*, antes de serem enviados para os motores, de modo a prover um simples grau de proteção à placa. Cada servo será utilizado para um movimento diferente que serão eles os 5 dedos (fechar e abrir). Nesse modelo utilizado (MG995), de acordo com a alimentação de entrada que pode variar de (4 a 6 volts), é definido a capacidade de torque no servo, variando de 13kg a 15kg, e conta com 3 pinos de conexão: Vcc(+), GND(-) e Sinal.

Figura 3.4 – Servo MG995



Fonte: <https://www.amazon.in/Robodo-Electronics-MG995-TowerPro-Servo/dp/B00MTH0RMI>

Também fixada a estrutura principal da prótese está a placa de prototipação Arduino UNO Rev3 conforme ilustrado na Figura 3.5, onde disponibiliza um micro controlador Atmel

Figura 3.5 – Arduino UNO Rev3



Fonte: <https://arduino.cc>

AVR com suporte a 6 entradas analógicas e 14 entrada/saída digitais, possui entrada de tensão que pode variar de 7V a 12V, um cristal oscilador de 16 MHz, um regulador de tensão de 5V. A linguagem de programação usada para programar o Arduino é a *Wiring*. Os códigos são escritos em uma IDE (Ambiente de Desenvolvimento Integrado) amigável a qual através dela podemos também transmitir para o microcontrolador por meio de comunicação USB (*Universal Serial Bus*) (MCROBERTS, 2011).

O sensor EMG fica fixado na parte lateral da prótese, provendo espaço suficiente para o encaixe e desencaixe do cabo de conexão com os eletrodos. O sensor muscular EMG versão 1.2, como ilustrado na Figura 3.6, por sua vez é utilizado para medir a atividade muscular através da variação do seu potencial elétrico aplicado no músculo desejado, coletados usando eletrodos de superfície, essa medição é comumente chamada de eletromiografia (ERFANIAN; CHIZECK; HASHEMI, 1998), com saída de leitura analógica. A Captação será distribuída em três pontos estratégicos, onde um dos pontos é fixado onde existe menor atividade muscular para tomar como ponto de referência e os dois pontos restantes é fixado onde apresente melhor atividade muscular, para calcular a diferença de potencial entre os dois pontos de maior atividade e subtrair do ponto de referencia só após enviar ao arduíno o sinal obtido.

O Módulo *Bluetooth* HC-06 RS232, Figura 3.7, é fixado na parte superior da prótese, próximo a placa Arduino, onde irá se conectar por meio das portas TX (Transmissão/Download) e RX (Recepção/Upload) do arduíno e terá comunicação serial para envio e recebimento de informações. Esse módulo é usado no projeto para a comunicação com o dispositivo que irá enviar comandos de configuração e de demonstração para a prótese através do aplicativo android desenvolvido, e se dá de forma simples, com o envio de caracteres, sendo o arduíno por sua vez responsável por realizar o tratamento da informação e execução da ação desejada na prótese. Esse módulo é compatível com o protocolo *Bluetooth*, tem voltagem de alimentação que pode

Figura 3.6 – Sensor EMG 1.2



Fonte: <https://www.usinainfo.com.br/outros-sensores-arduino/sensor-muscular-emg-v12-para-arduino-3515.html>

variar entre 3.3V e 6V, sendo que fará uso de apenas 3.3V, e tem corrente de operação menor que 40mA. O módulo possui 4 pinos: VCC (Tensão Corrente Contínua), GND (*Graduated Neutral Density Filter*), RX e TX, como citado anteriormente, utilizados para comunicação com o Arduino via serial. É importante lembrar que esse modelo do módulo funciona apenas em modo *Slave*, ou seja, ele não se conecta a nenhum dispositivo partindo dele próprio a conexão, e sim apenas recebe conexão.

Figura 3.7 – Módulo Bluetooth RS232 HC-06



Fonte: <http://buildbot.com.br/loja/produto/modulo-bluetooth-hc06/>

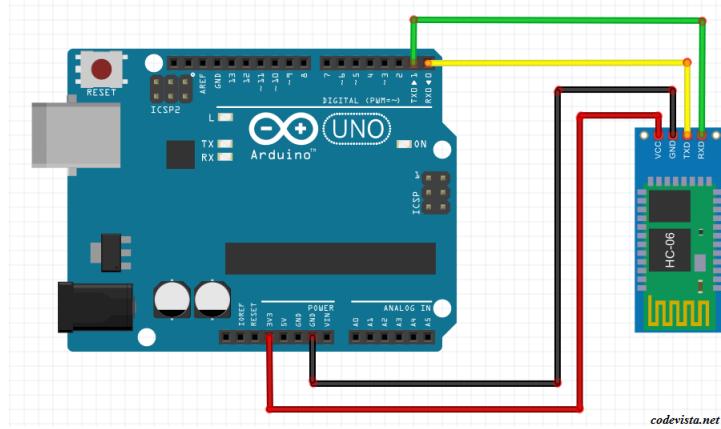
3.1.2 Comunicação entre os componentes da prótese

- Placa Arduino/Módulo *Bluetooth* - A forma de comunicação ocorre por meio dos pinos TX e RX da placa arduíno (Figura 3.8, sendo que a TX(Arduino) faz conexão com a RX(*Bluetooth*) e a RX(Arduino) conecta ao pino TX(*Bluetooth*) fazendo com que a escrita de um módulo seja a leitura do outro e vice-versa.

O Tipo de comunicação é via Serial, que faz envio de dados um bit de cada vez, sequencialmente, num canal de comunicação.

Como o módulo *Bluetooth* conta com 4 pinos, os dois pinos restantes são 5V e GND para alimentação do módulo que pode ser conectado diretamente na saída de alimentação da prótese.

Figura 3.8 – Conexões Módulo Bluetooth

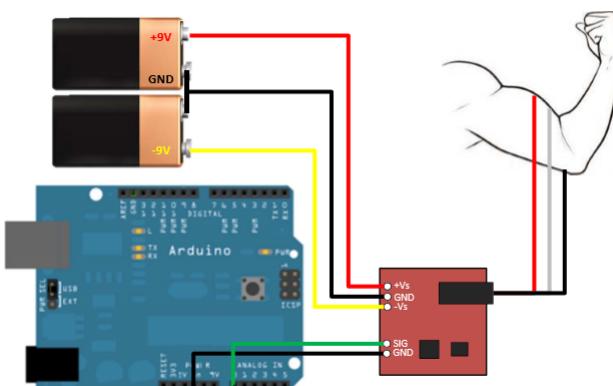


Fonte: <http://www.codevista.net/182/how-to-connect-bluetooth-module-hc-06-with-arduino-uno>

- Placa Arduíno/Sensor EMG - O módulo sensor EMG conta com um pino de dados e um GND, onde esse pino de dados tem que obrigatoriamente estar conectado em alguma das portas analógicas, levando em consideração que a leitura se trata da variação de potencial elétrico e é retornado exatamente essa diferença de potencial. No caso desse projeto, é utilizado a porta A0 da placa arduíno, onde terá apenas a função de leitura.

O Módulo conta com 5 pinos, que são Vcc(9v), GND(fonte de alimentação0, Vcc(9v), Sinal e GND (Arduino), como exemplificado na figura 3.10.

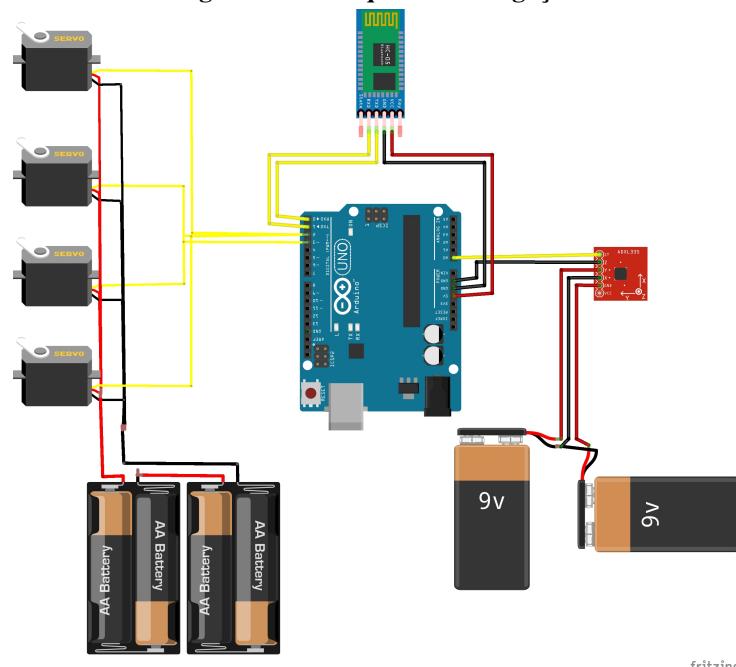
Figura 3.9 – Conexões Sensor EMG



Fonte: Muscle Sensor v3 - Advancer Tecnologies

- Módulo *Bluetooth/APK* Android - Como o módulo HC-06 *Bluetooth* se trata de um Slave onde apenas recebe conexão, o celular se conecta com o módulo e faz a comunicação enviando dados, sendo que estes são tratados na Placa Arduino, como é exemplificado na tabela 4.1.
- Tratamento de concorrência entre informações Sensor EMG/Módulo *Bluetooth* - É realizado um tratamento na própria codificação no Arduino, onde assim que é iniciado o módulo é feita uma leitura do estado atual de variação do potencial elétrico muscular, onde essa leitura é considerada base para realizar as ações desejadas, e é determinada como "músculo relaxado".

Figura 3.10 – Esquemas de Ligação



Fonte: Elaborado pelo autor

A leitura serial e a leitura analógica(A0) são constantes, onde se tem uma variável para tratamento de concorrência. Se obtiver uma leitura analógica do sensor que defina um movimento, o mesmo é realizado no mesmo momento e a variável é definida como uso de sensor, e caso seja enviado algum comando pelo APK ao módulo *Bluetooth*, é modificada essa variável para uso de *Bluetooth*, executada a ação e só retorna para o sensor após realizada alguma ação.

3.1.3 Reconhecimento e variação EMG

O reconhecimento de padrão é determinado a partir de uma variável do tipo *Integer*, definida no código arduíno, onde inicialmente tem valor 0 (zero), e ao iniciar o arduíno é realizado a primeira leitura do sensor para definir uma base de comparação de atividade muscular. A leitura que é retornada do sensor pode variar de um ponto a outro de pessoa para pessoa.

Na figura 3.11, é demonstrada a leitura do sensor com os músculos relaxados e com os músculos contraídos.

Figura 3.11 – Leitura do sensor EMG

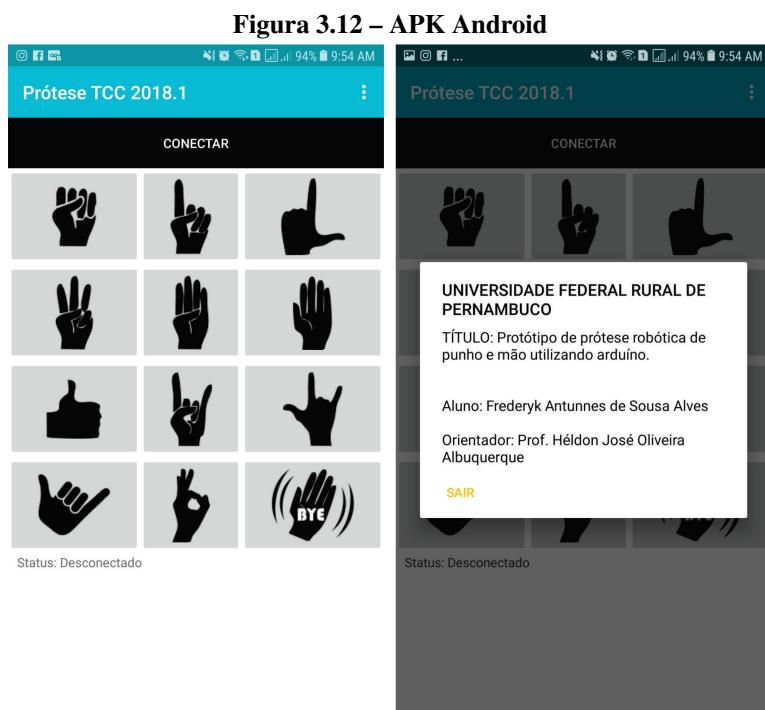
The figure consists of two side-by-side screenshots of the Arduino Serial Monitor. Both windows are titled "COM4 (Arduino/Genuino Uno)". The top window is labeled "Músculo Relaxado" and displays a series of integer values: 144, 141, 141, 139, 142, 140, 141, 140, 139, 141, 142, 140, 151, 142, 126. The bottom window is labeled "Músculo Contraído" and displays a series of integer values: 219, 210, 207, 214, 193, 203, 201, 193, 202, 208, 185, 175, 167, 199, 397. Both windows have standard serial monitor controls at the bottom, including "Enviar" (Send), "Auto-rolagem" (Auto-scroll), and dropdown menus for "Nenhum final-de-linha" (None line ending), "9600 velocidade" (9600 baud), and "Delete a saída" (Delete output).

Fonte: Elaborado pelo autor

Na inicialização é capturada uma leitura, e como se trata de captura analógica sensível, que é definida como base de comparação para realizar os movimentos, foi acrescida em 30 o valor recebido para a prótese ignorar leituras de baixa alteração da atividade muscular, evitando movimentos não estimulados para realização.

3.1.4 Aplicação Android

A aplicação Android, desenvolvida em linguagem nativa Android e utilizado como plataforma o Android Studio, conta com 13 botões, sendo que 01 para conexão *Bluetooth* onde vai listar os dispositivos pareados, e outros 12 botões que serão utilizados para enviar comandos para realização dos movimentos pela prótese como demonstrado na figura 3.12.



Fonte: Elaborado pelo autor

No Desenvolvimento foram criadas duas classes onde uma é o controle da tela principal do sistema, nela é possível clicar para exibir os dispositivos pareados a serem selecionados, é possível clicar em botoes para realização dos movimentos e na parte inferior demonstra informações acerca de status de conexão ou de configuração de ação desejada. Na outra classe faz a listagem dos dispositivos em uma classe estendida ao *ListActivity* onde ele busca no android todos os dispositivos previamente pareados e exibe ao usuário.

No *manifest* do APK foi necessário fornecer duas permissões, uma delas é relacionado ao uso no *Bluetooth* e a outra é relacionado a administração do *Bluetooth* como utilizado no caso de iniciar a aplicação que é solicitado a ativação do *Bluetooth* e não lista nenhum dispositivo sem essa ativação.

Para desenvolvimento do Layout foi utilizado O *TableLayout* em conjunto com *Table-Row* fazendo com que o design forneça três botões de tamanho uniforme para clique de ação.

13 componentes do tipo *ImageButton* para demonstrar visualmente o ação a ser executada, e 2 elementos *TextView* para exibir em um o status da conexão e no outro exibir Informações para Configuração da Prótese.

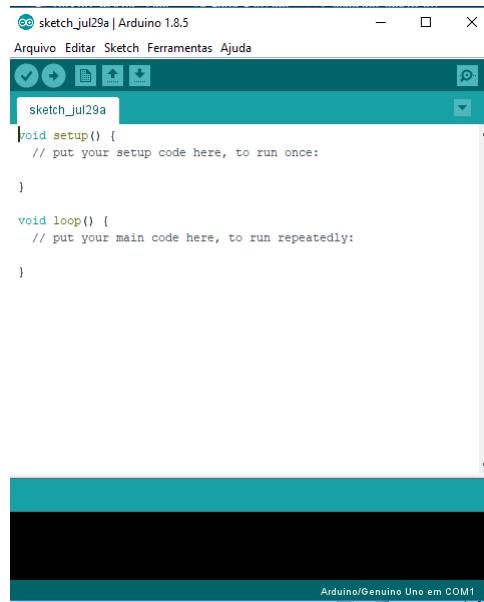
3.1.5 Softwares

- Arduino

O Ambiente de Desenvolvimento Integrado Arduino -ou Arduino Software (IDE) é uma aplicação multiplataforma escrita em JavaTM. É composto por um editor de texto para escrever o código, uma área de mensagem, uma barra de ferramentas e uma série de menus. Ele se conecta ao hardware Arduino para compilar, carregar programas e comunicar com eles.

Programas escritos usando o Software do Arduino (IDE) são chamados de esboços. Estes esboços são escritos no editor de texto e são salvos em .ino como extensão. A interface do software pode ser vista na Figura 3.13.

Figura 3.13 – Interface do Software Arduino



Fonte: Elaborado pelo autor

A linguagem de programação é basicamente c/c++. Duas funções devem ser definidas ao criar um programa, que são: a função *setup()*, que é inserida no início que define as configurações de entrada, saída e informações da comunicação serial, e a função *loop()*, utilizada para repetir um bloco de comandos.

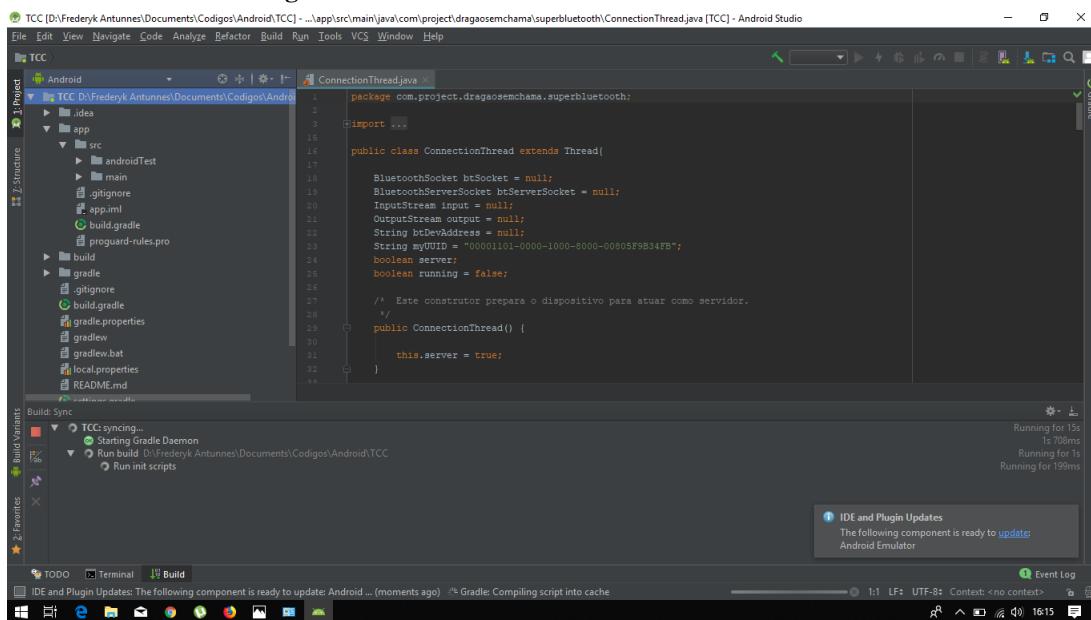
No arduino será feita a análise dos dados recebidos pelo sensor EMG e/ou *Bluetooth* e a partir disso serão tratados e enviados aos servos os comandos necessários para reproduzir a movimentação desejada da prótese.

- Android Studio

É uma IDE elaborado para desenvolver aplicações nativas na plataforma Android. A linguagem de programação é baseada em java, com recursos específicos do Android e o layout do aplicativo em .xml, o que permite que sejam desenvolvidos aplicativos para vários tipos de dispositivos Android, como tablets, *smartwatches*, e *smartphones*. O Android Studio permite a comunicação de dispositivos Android com o Arduino, por meio de *Bluetooth* ou cabo USB.

A interface do software pode ser vista na Figura 3.14. Nesse ambiente foi desenvolvida a interface para o usuário se comunicar com a prótese, seja para configuração bem como para demonstração das movimentações possíveis.

Figura 3.14 – Interface do Software Android Studio



Fonte: Elaborado pelo autor

4 Resultados

4.1 Resultados de testes realizados

O software desenvolvido no Arduino é responsável por receber, analisar e processar o sinal vindo dos eletrodos do sensor EMG pela porta analógica A0, e o módulo *Bluetooth* por meio da porta Serial. Na primeira etapa do projeto, foram enviados comandos aleatórios de um celular por meio de comunicação *Bluetooth*, a fim de realizar testes de comunicação e tratamento da informação recebida pelo Arduíno. A partir desse ponto foi determinado os padrões de dados a serem utilizados.

Na segunda etapa, ocorreram os testes com o sensor EMG, onde os eletrodos foram colocados sobre minha própria pele, em três pontos distintos e pré determinados de acordo com o grau de atividade muscular, e as contrações realizadas foram enviadas para o arduino. A análise dos dados coletados foi feita no próprio arduino. A pessoa com deficiência física deveria ficar inicialmente em repouso para ser coletado o dado que seria tomado por base para realização dos movimentos. Quando o software detecta uma contração é realizada uma comparação entre o dado informado pelo sensor com o dado capturado como indivíduo em repouso, enquanto não houver contração nenhuma ação é realizada pela prótese.

O Tratamento de concorrência é realizado dentro do próprio código arduino, onde existe uma variável *flag* determinada como "sensor_ativo" onde é atribuído valor 1 para reprodução dos movimentos a partir dos sensores e 0 para reprodução dos movimentos a partir do uso do APK Android. Essa variável inicialmente é determinada como 1, sendo alterada para 0 quando é enviado algum comando pelo APK via *Bluetooth*, desativando a ação realizada a partir do sensor, e no caso inverso, existe mais uma variável *flag* determinada como "mudar" que é atribuído valor inicial 0 e se no caso da ação a partir do sensor estiver desativada, é necessário contrair o músculo, determinando essa *flag* como 1, e relaxar o músculo para mudar sensor_ativo para 0 bem como a *flag* com valor zero, retornando aos movimentos com o sensor.

4.2 Reprodução da ação desejada

A ação desejada é reproduzida no caso do Aplicativo, de acordo com o comando enviado para o arduino como é exemplificado na tabela 4.1, onde o arduino faz a leitura pela porta serial e na função `loop()`, executa a ação de alguma das condições presentes no código.

Comando Android	Ação Realizada
0	Mão fechada
1	Somente dedo indicador estendido
2	Somente dedos indicador e polegar estendidos
3	Dedos indicador, médio e anelar estendidos
4	Dedos indicador, médio, anelar e mínimo estendidos
5	Mão aberta
6	Apenas dedo polegar estendido
7	Dedos indicador e mínimo estendidos
8	Dedos polegar, indicador e mínimo estendidos
9	Dedos polegar e mínimo estendidos
a	Dedos médio, anelar e mínimo estendidos
b	Reproduz ação de despedida "bye bye"

Tabela 4.1 – Comandos de movimentação a partir do APK Android

Fonte: Elaborado pelo autor

Já no cenário da ação desejada, reproduzida de acordo com o sensor, é possível apenas um modo de reprodução que é configurado e escolhido via APK Android, por exemplo: É iniciado como ação desejada no caso do músculo contraído, a ação de fechar a mão, e por padrão de abrir. Essa ação de fechar com o músculo contraído pode ser alterada para qualquer outra função através do APK, com exceção de abrir a mão, que já é o padrão de quando o músculo estiver relaxado, bem como do comando de despedida "*bye bye*", pois de trata da reprodução de fechar e abrir duas vezes seguidas, podendo ser reproduzida pelo comando fechar *default*.

Para a alteração desses movimentos, é enviado um comando para a prótese e o arduíno por sua vez, entra no laço de acordo com o dado informado pelo APK, alterando uma variável que determina a ação que será realizada quando o músculo for contraído, esses comandos são demonstrados na tabela 4.2.

Comando Android	Variável Local	Ação ao contrair o músculo
q	0	Mão fechada
w	1	Somente dedo indicador estendido
e	2	Somente dedos indicador e polegar estendidos
r	3	Dedos indicador, médio e anelar estendidos
t	4	Dedos indicador, médio, anelar e mínimo estendidos
y	5	Apenas dedo polegar estendido
u	6	Dedos indicador e mínimo estendidos
i	7	Dedos polegar, indicador e mínimo estendidos
o	8	Dedos polegar e mínimo estendidos
p	9	Dedos médio, anelar e mínimo estendidos

Tabela 4.2 – Comandos de configuração da prótese para alterar a ação desejada na utilização do sensor EMG

Fonte: Elaborado pelo autor

4.3 Aplicação Android

A aplicação android conta com uma interface amigável onde é de única tela, disposta de botões e menu apenas. Dispõe das opções de "conectar" que lista os dispositivos *Bluetooth* pareados com o celular, para que possa ser selecionado e estabelecida a ponte de comunicação entre o celular e a prótese, conta com 12 botões com função de realizar movimentos com a prótese, no qual esses movimentos estão pre-determinados no código arduino, um texto informativo de status da conexão e um menu no topo da aplicação que dispõe das opções de configuração da prótese, e informações do projeto.

Após conectado, foram realizados os testes de acordo com a movimentação desejada a ser reproduzida, obtendo-se êxito em todos os testes, tanto no que se trata da execução, quanto ao tempo para essa reprodução.

Na parte de configuração da prótese pelo aplicativo, ao clicar na função "Configurar ação do sensor", os botões da tela, invés de reprodução da ação, será definida a nova ação da prótese, para reprodução no momento em que os músculos forem contraídos, e logo após selecionado é retornado o estado da prótese para reproduzir pelo aplicativo.

4.4 Levantamento de Custos

Destaca-se no presente trabalho o preço de confecção final da prótese fazendo uso do sensor EMG, no qual o seus respectivos componentes e valores monetários estão na tabela 4.3.

Quantidade	Material	Valor Unitário	Total
01	Placa Arduino UNO Rev3	R\$ 35,00	R\$ 35,00
04	Servo Motor MG995	R\$ 49,00	R\$ 196,00
01	Sensor EMG v1.2	R\$ 294,00	R\$ 294,00
01	Módulo <i>Bluetooth</i> HC-06	R\$ 46,90	R\$ 46,90
01	Impressão 3D	R\$ 350,00	R\$ 350,00
		TOTAL	R\$ 921,90

Tabela 4.3 – Tabela de custos de produção da prótese

Fonte: Elaborado pelo autor

4.5 Dificuldades Encontradas

Algumas dificuldades foram encontradas em relação ao desenvolvimento da prótese, devido a algumas limitações ou tempo de desenvolvimento.

Uma delas está relacionada ao sensor EMG v1.2 que é projetado com apenas 03 (três) pontos de captura de variação de potencial, sendo que esses três pontos fazem a captura e tratamento de apenas um ponto de referência muscular, sendo assim, o tratamento da movimentação da prótese tendo como fonte de comandos o sensor EMG, fica limitado a apenas 02 (dois) movimentos, sendo que um desses movimentos pode ser alterado a partir do APK Android desenvolvido no projeto.

Outra dificuldade encontrada foi em relação aos testes com pessoas com deficiência, pois como no desenvolvimento do projeto foi demandado um tempo superior ao estimado, ficou inviável a solicitação junto a Plataforma Brasil, onde se trata de um sistema eletrônico criado pelo Governo Federal para sistematizar o recebimento dos projetos de pesquisa que envolvam seres humanos nos Comitês de Ética em todo o país, que é necessário submeter o projeto, aguardar retorno, fazer seleção e documentação de pessoas com deficiência, solicitar autorização do Conselho de Ética da própria instituição e após todo o processo realizar os testes devidos, sendo possível apenas testes práticos com o próprio desenvolvedor do projeto.

Os materiais necessários para desenvolvimento da prótese, como a impressão 3D, que é possível fazer impressão em algumas universidades com custo zero, demandou um tempo superior ao esperado, e foi dos custos mais altos em todo o projeto.

5 Conclusão

Neste capítulo apresentam-se as considerações finais sobre o trabalho desenvolvido nesta monografia. Na Seção 6.1 apresentam-se as considerações finais e conclusões e na Seção 6.2 algumas propostas para trabalhos futuros.

5.1 Considerações finais

Neste trabalho foi proposto o desenvolvimento de um protótipo de prótese robótica de punho e mão capaz realizar movimentos semelhantes aos de uma mão humana, fazendo uso de materiais de baixo custo, bem como uso do sensor EMG para realizar as movimentações e desenvolvimento de um APK Android para demonstração e configuração da prótese.

Para atingir o objetivo proposto, foi desenvolvido em Material ABS, impresso em impressora 3D a estrutura da prótese, e fazendo uso de módulos e shields toda a parte eletrônica da mesma. Os objetivos específicos propostos nesse trabalho foram satisfeitos, mesmo com as limitações como citado nas dificuldades relacionadas ao teste prático.

Se tratando dos resultados obtidos relacionados a reprodução de ação pelo APK e pelo sensor, foram apresentados dados bem satisfatórios para realização do projeto em questão, em relação tanto aos custos de produção da prótese, quantos aos testes de execução de movimentação.

Portanto, conclui-se com este trabalho que o modelo desenvolvido é capaz realizar movimentos semelhantes a de uma mão humana, partindo de impulsos musculares, podendo ainda ser aperfeiçoado para realização de todas as movimentações de uma mão humana com o aumento da quantidade de sensores EMG.

5.2 Proposta para trabalhos futuros

Como possíveis trabalhos futuros, pode-se apontar:

- Realizar testes práticos em pessoas com deficiência física para obtenção mais específica de resultados relacionados ao projeto;

- Implementação de mais sensores EMG, para aumentar a capacidade de realização de movimentos partindo da atividade muscular do deficiente;
- Realizar aprimoramento em relação a toda estrutura e disposição eletrônica da prótese, a fim de melhorias em aspecto visual e possível modularização de componentes;
- Realizar estudos para melhor forma de alimentação e melhor adequação ao deficiente e reduzir peso da prótese.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL, L. M. S. d. *Desenvolvimento de um atuador elástico em série compacto e suas aplicações em reabilitação*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2011.
- ARDUINO. *Arduino*. 2018. Disponível em: <<https://www.arduino.cc>>.
- BASTOS, P. M. S. *Robótica De Assistência E Seus Aspectos Humanitários*. 2014.
- BASTOS, R. M. de P. *NANOTECNOLOGIA: UMA REVOLUÇÃO NO DESENVOLVIMENTO DE NOVOS PRODUTOS*. Tese (Doutorado) — UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA, 2006.
- BLOHMKE, F. Compêndio otto bock: Próteses para o membro superior. *Berlin: Schiele & Schön*, p. 31, 1994.
- BOCK, E. G. P. et al. Projeto, construção e testes de um dispositivo de assistência ventricular= bomba de sangue centrífuga implantável. [sn], 2011.
- BORTOLE, M.; FILHO, T. F. B. Desenvolvimento de um sensor híbrido para aplicacoes em robotica e fisioterapia. In: *X Simposio Brasileiro de Automacao Inteligente*. [S.I.: s.n.], 2011.
- BRAGA, N. C. *Projetos Educacionais de Robótica e Mecatrônica*. [S.I.]: Editora Newton C. Braga, 2017. v. 1.
- CASE, M. A. et al. Accuracy of smartphone applications and wearable devices for tracking physical activity data. *Jama*, American Medical Association, v. 313, n. 6, p. 625–626, 2015.
- CIDRAL, B. *Afinal, o que é Android*. 2015.
- CLARK, B. *Even underpaid Foxconn workers are losing their jobs to robots*. 2018. Disponível em: <<https://thenextweb.com/artificial-intelligence/2018/02/12/even-underpaid-chinese-factory-workers-losing-jobs-robots/>>.
- COSTA¹, I. S. P. et al. Prótese eletrônica feita em impressora 3d e controlada por sinais mioelétricos. 2015.
- ERFANIAN, A.; CHIZECK, H. J.; HASHEMI, R. M. Using evoked emg as a synthetic force sensor of isometric electrically stimulated muscle. *IEEE transactions on biomedical engineering*, IEEE, v. 45, n. 2, p. 188–202, 1998.
- EVANS, J. M. Helpmate: An autonomous mobile robot courier for hospitals. In: IEEE. *Intelligent Robots and Systems' 94.'Advanced Robotic Systems and the Real World', IROS'94. Proceedings of the IEEE/RSJ/GI International Conference on*. [S.I.], 1994. v. 3, p. 1695–1700.
- EXACTARUM, C. *Colloquium Exectarum*. [S.I.]: Colloquium Exectarum, 2016. v. 8.
- FADERS. *Conceito Órteses e Proteses. Fonte: Fundação de Articulação e Desenvolvimento de Políticas Públicas para Pessoas com Deficiência e com Altas Habilidades no Rio Grande do Sul* FADERS. 2018. Disponível em: <<http://www.faders.rs.gov.br/servicos/3/9/1439>>.

- G1, G. *Estudante pernambucano cria braço robótico que custa menos de 2 mil reais.* 2015. Disponível em: <<http://g1.globo.com/pernambuco/noticia/2015/09/estudante-pernambucano-cria-braco-robotico-que-custa-menos-de-r-2-mil.html>>.
- GAMET, D. et al. Surface electromyogram power spectrum in human quadriceps muscle during incremental exercise. *Journal of Applied Physiology*, v. 74, n. 6, p. 2704–2710, 1993.
- GARCIA, V. *Próteses no Brasil são para poucos.* 2009. Disponível em: <<https://www.deficienteciente.com.br/proteses-no-brasil-sao-para-poucos.html>>.
- GARNTER. *Internet das Coisas: 6,4 bilhões de objetos estarão em uso em 2016.* 2012. Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/sociedade/tecnologia/internet-das-coissas-64-bilhoes-de-objetos-estarao-em-uso-em-2016-18018605>>.
- GONÇALVES, A. J.; SILVA, J. R. d.; BATISTA, J. C. *Sistema didático de automação baseado em computador para seleção de esferas.* Dissertação (B.S. thesis) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015.
- GUEDES, A. L.; KERBER, F. M. Usando a robótica como meio educativo. *Unoesc & Ciência-ACET*, v. 1, n. 2, p. 199–208, 2011.
- IBGE. *Instituto Brasileiro de geografia e Estatística.* Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Goiás, 2010.
- JATENE, F. B. et al. Dissecção robótica da artéria torácica interna direita por esternotomia mediana. *Arq Bras Cardiol*, v. 94, n. 6, p. e139–42, 2010.
- JEFFERSON. *A diferença entre “shield” e “módulo”.* 2016. Disponível em: <<http://www.automalabs.com.br/a-diferenca-entre-shield-e-modulo/>>.
- LUCA, C. J. D. The use of surface electromyography in biomechanics. *Journal of applied biomechanics*, v. 13, n. 2, p. 135–163, 1997.
- MACEDO, R. d.; PRIETCH, S. S. Proposta interdisciplinar de ensino de disciplinas da computação utilizando micro-controlador arduino. *Anais: II-Encontro Nacional de Informática e Educação. Cascavel: UNIOESTE*, 2011.
- MARCHETTI, P. H.; DUARTE, M. Instrumentação em eletromiografia. *Laboratório de Biofísica, Escola de Educação Física e Esporte. São Paulo: Universidade de São Paulo*, 2006.
- MARINHO, T. de S. S. Projeto e controle de um mÃo robÓtica servo controlada por tendÃes. *PIBIC*, 2016.
- MCROBERTS, M. Arduino bÁsico. *São Paulo: Novatec*, v. 1, 2011.
- MEYER, M. *A história do Android.* 2015. Disponível em: <<https://www.oficinadanet.com.br/post/13939-a-historia-do-android>>.
- MONK, S. *Programação com Arduino: começando com Sketches.* [S.l.]: Bookman Editora, 2017.
- MOORE, K.; DALLEY, A. O membro superior. *Anatomia orientada para a clínica*, v. 5, 2007.
- NASCIMENTO, A. P. d. et al. Benefícios da robótica nos processos produtivos. *REVISTA DE TRABALHOS ACADÊMICOS-UNIVERSO RECIFE*, v. 2, n. 2, 2016.

- NETTER, F. H. *Netter-Atlas de anatomia humana*. [S.l.]: Elsevier Brasil, 2008.
- PITASSI, C. et al. A cirurgia robótica nas organizações públicas de saúde: O caso do instituto nacional do câncer (inca). *Administração Pública e Gestão Social*, v. 1, n. 3, p. 187–197, 2016.
- POLIS, J. E. et al. Projeto e construção de parte estrutural de prótese de mão humana com movimentos. [sn], 2009.
- RAWASSIZADEH, R.; PRICE, B. A.; PETRE, M. Wearables: Has the age of smartwatches finally arrived? *Communications of the ACM*, ACM, v. 58, n. 1, p. 45–47, 2015.
- ROBOTICS, M. *Introdução a Robótica*. 2015. Disponível em: <<http://www.modelix.cc>>.
- ROCHA, T. S. Desenvolvimento de prótese transfemural robótica: projeto mecânico e de atuação. 2015.
- ROMANO, V.; DUTRA, M. Introdução a robótica industrial. *Robótica Industrial: Aplicação na Indústria de Manufatura e de Processo*, São Paulo: Edgard Blücher, p. 1–19, 2002.
- ROSARIO, J. M. *Robótica Industrial I Modelagem, Utilização e Programação*. [S.l.]: Editora Baraúna, 2010. v. 1.
- RUSSELL, S.; NORVIG, P. *Inteligência Artificial 3^a Ed.* Rio de Janeiro. 2013.
- SANTOS BRUNO CALHIARI, F. H. A. B. C. P. Desenvolvimento de protótipo e software de controle de prótese de membro superior. *V ENCONTRO CIENTÍFICO E SIMPÓSIO DE EDUCAÇÃO UNISALESIANO*, 2015.
- SCHULTE, R. G. Escalonamento no sistema operacional android. *Anais do Congresso de Sistemas Operacionais do CPoli da UCPEL*, v. 1, n. 1, 2016.
- SCHWARTZ, J. T.; YAP, C.-K. *Algorithmic and Geometric Aspects of Robotics (Routledge Revivals)*. [S.l.]: Routledge, 2016.
- SOUZA, F. de. *Introdução à Robotica*. [S.l.: s.n.], 2005. v. 1. 110 p. (Robótica, 5).
- TAGLIARI, R. A incrível evolução das próteses na medicina moderna. *O Próximo Passo*, p. 1–6, 2008.
- VANESSA, G. et al. Percepção dos deficientes físicos sobre a acessibilidade. *Anais do Encontro Mãos de Vida*, v. 2, n. 1, 2016.
- WENDLING, M. Sensores. *Universidade Estadual Paulista. São Paulo*, v. 2010, p. 20, 2010.
- WINTER, D. A. *Biomechanics and motor control of human movement*. [S.l.]: John Wiley Sons, 2009.
- WORTMEYER, C.; FREITAS, F.; CARDOSO, L. *Automação Residencial: Busca de Tecnologias visando o Conforto, a Economia, a Praticidade e a Segurança do Usuário*. [S.l.]: sn, 2005.
- XAVIER, R. T. Aplicações com arduino em eletrodinâmica e biomecânica para comunicação de um mecanismo biônico por comando de voz: Protótipo para prótese de membro superior. Congresso Nacional de Iniciação Científica, 2013.