



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA E BIOMÉDICA

Wederson Medeiros Silva

Sistema de Aquisição e Transmissão de Dados Usando Sensor de Flexão Bioinspirado

Belém – Pará

2018

Wederson Medeiros Silva

Sistema de Aquisição e Transmissão de Dados Usando Sensor de Flexão Bioinspirado

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia da Computação. Instituto de
Tecnologia. Faculdade de Engenharia da
Computação e Telecomunicações. Universi-
dade Federal do Pará.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Menezes Rodriguez

Coorientador: Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl A. Costa

Belém – Pará

2018

Wederson Medeiros Silva

Sistema de Aquisição e Transmissão de Dados Usando Sensor de Flexão Bioinspirado/ Wederson Medeiros Silva. – Belém – Pará, 2018-

43 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Menezes Rodriguez

Coorientador: Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl A. Costa

Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Pará – UFPa
Instituto de Tecnologia – ITEC

Faculdade de Engenharia da Computação e Telecomunicações – FCT, 2018.

1. Modo fantasma de segunda camada. 2. Taxa agregada. 3. *Vectoring*. 4. EVM. I.
Prof. Dr. Roberto Menezes Rodriguez. II. Universidade Federal do Pará. III. Faculdade
de Engenharia Elétrica e Biomédica. IV. Sistema de Aquisição e Transmissão de
Dados Usando Sensor de Flexão Bioinspirado

Wederson Medeiros Silva

Sistema de Aquisição e Transmissão de Dados Usando Sensor de Flexão Bioinspirado

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
para obtenção do título de Bacharel em Enge-
nharia da Computação. Instituto de Tecnolo-
gia. Faculdade de Engenharia da Computação
e Telecomunicações. Universidade Federal do
Pará.

Trabalho aprovado. Belém – Pará, 11 de janeiro de 2018:

Conceito: .

Prof. Dr. Roberto Menezes Rodriguez
Orientador

**Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl A.
Costa**
Coorientador

Prof. Dr. Gilvan Borges
Convidado 1

Belém – Pará
2018

Este trabalho é dedicado...

Agradecimentos

Agradeço ao Professor Dr. ...

*“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito.
Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”*

(Martin Luther King)

Resumo

O modo *fronthaul* de redes 5G ...

Palavras-chaves: Modo fantasma.

Abstract

Phantom mode has...

Keywords: Phantom mode.

Listas de ilustrações

Figura 1 – Funcionamento de sistemas baseados em luvas	17
Figura 2 – (a) Movimento através do tendão e (b) <i>Exo-Glove</i> instalada.	17
Figura 3 – Funcionamento do potenciômetro linear.	19
Figura 4 – Placa Arduino modelo Nano.	20
Figura 5 – Módulos RF transmissor (esq.) e receptor (dir.).	21
Figura 6 – (a) Sistema biomecânico e (b) sistema desenvolvido.	23
Figura 7 – (a) Mão em posição inicial e (b) Mão após flexão.	23
Figura 8 – Movimentos da luva de (a) flexão e (b) extensão.	24
Figura 9 – Comandos a partir de flexões e extensões para controle do carrinho . .	29
Figura 10 – Costura do transdutor em um dedo.	31
Figura 11 – (a) Potenciômetro adaptado e (b) bateria.	32
Figura 12 – Dimensões aproximadas da PCI e seus componentes.	33
Figura 13 – Desenhos projetados no Kicad do (a) esquemático e (b) PCI.	33
Figura 14 – (a) Placa de fenolite cobreada e (b) com os componentes soldados. . . .	34
Figura 15 – Luva montada.	34
Figura 16 – Sensor de Flexão.	35
Figura 17 – Sensor flex comercial na mão durante a flexão.	36
Figura 18 – (a) Transmissão do sinal. (b) Recepção do sinal.	38

Lista de tabelas

Tabela 1 – Valores de A para B	27
Tabela 2 – Valores de A para B e remapeados (R).	28
Tabela 3 – Valores recebidos dos dedos e comandos de movimento	30
Tabela 4 – Valores obtidos e número de posições entre 0 e 90 graus.	36

Lista de abreviaturas e siglas

AM	<i>Amplitude Modulation</i>
I	Corrente
IDE	<i>Integrated Development Interface</i>
$k\Omega$	<i>Kilohm</i>
LED	<i>Light-Emitting Diode</i>
LiPo	<i>Lithium-ion Polymer</i>
mAh	<i>Milliampere Hour</i>
Mhz	<i>Megahertz</i>
mm	<i>Millimeter</i>
PCI	Placa de Circuito Impresso
PVC	<i>Polyvinyl Chloride</i>
R	Resistência
RF	<i>Radio Frequency</i>
V	Tensão

Listas de símbolos

α	Contante de atenuação
β	Contante de fase
γ	Contante de propagação
Γ_L	Coeficiente de reflexão na carga
δ	Constante da restrição de potência transmissão
Δ_f	Subcanais ou tons em Hz
Γ	Gap de <i>RSIR</i>
Λ	Matriz que contém os elementos da diagonal principal de H
ρ	Máscara espectral utilizada pelo sistema DSL
σ^2	Densidade espectral de potência do ruído Gaussiano branco aditivo

Sumário

1	INTRODUÇÃO	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1	Introdução	16
2.2	Movimentação dos dedos	16
2.3	Captura de movimentos	18
2.4	Potenciômetro	18
2.5	Microcontroladores	19
2.6	Transmissão de Sinal	20
3	TRABALHO PROPRIAMENTE DITO	22
3.1	Introdução	22
3.2	Mecânica Bioinspirada	22
3.2.1	Transdutor de Flexão	22
3.2.2	Adaptação na Luva	23
3.3	Programação do microcontrolador	24
3.3.1	Digitalização do sinal	24
3.3.2	VirtualWire	25
3.4	Ajustes	26
3.4.1	Introdução	26
3.4.2	Deslocamento e número de posições	26
3.4.3	Remapeamento	27
3.5	Protocolo de comunicação	28
3.5.1	Introdução	28
3.5.2	Posições e movimentos	28
3.5.3	Software de recepção	29
3.6	Assembling	30
3.6.1	Transdutor de Flexão	30
3.6.2	Escolha de componentes	31
3.6.3	Posicionamento de componentes	32
3.6.4	Placa Embarcada	33
4	RESULTADOS E ANÁLISES	35
4.1	Introdução	35
4.2	Sensibilidade	35

5	BUFFER	38
5.1	Transmissão e Recepção de Dados	38
6	ANÁLISES E RESULTADOS	40
6.1	Configurações	40
6.2	Testes	40
6.3	Resultados	40
7	CONCLUSÃO	41
7.1	Conclusões	41
7.2	Trabalhos Futuros	41
	REFERÊNCIAS	42

1 Introdução

Contextualização; Estado da arte (se tiver); Motivação; O que vai fazer; Metodologia; O que terá no resto do documento;

2 Referencial Teórico

2.1 Introdução

Ao longo dos últimos anos, diversos trabalhos estão sendo realizados para mensurar os movimentos da mão e estes possuem as mais variadas motivações. A pesquisa de (LEE; PARK, 2009), por exemplo, criou um controle remoto baseado na abertura dos dedos. O sistema processa imagens de uma câmera em busca de comandos pré-configurados que respondem a abertura de dedos mão. Ou seja, em sua pesquisa é possível usar a mão como controle remoto. Além disso, existem trabalhos como o de (M., 2013) e de (RAJAMOHAN; R.; M., 2013) que buscam traduzir gestos das mãos em palavras, buscando assim facilitar a comunicação de surdos e/ou mudos com outras pessoas. Já (KUMAR; VERMA; PRASAD, 2012) busca uma interação humano-computador através do uso de uma luva, nesse trabalho o autor demonstra que é possível realizar ações no computador, como desenhar ou manipular objetos tridimensionais, através de movimentos da mão pré-determinados.

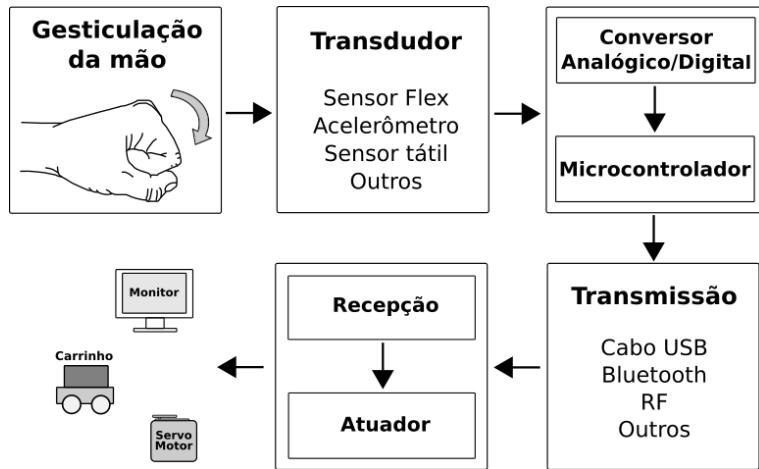
Dentre os produtos que ficaram famosos usando o movimento das mãos para controle, estão as luvas *Data Glove* e a *Power Glove*, ambas criadas nos anos 80. A primeira, foi desenvolvida por volta de 1986 e era usada para controlar um supercomputador, mas também foi utilizada pela *NASA (National Aeronautics and Space Administration)* para controlar robôs. Logo depois, por volta de 1987, uma licença foi comprada para desenvolver uma outra versão da luva, só que seria para uso do público em geral. Então, finalmente em 1989, através de uma parceria entre as empresas Mattel, Nintendo e AGE, foi lançada a *Power Glove* que serviria para controlar jogos de videogames. (GARDNER, 1989).

Entre os demais sistemas que buscam mensurar flexão e extensão dos dedos estão o de (SYED et al., 2012) e o de (BORGHETTI; SARDINI; SERPELLONI, 2013). Estes e outros trabalhos, incluindo o trabalho proposto, nos quais utilizam luvas para auxiliar a captura dos movimentos dos dedos, costumam ter um bloco de funcionamento parecido ao da figura 1.

2.2 Movimentação dos dedos

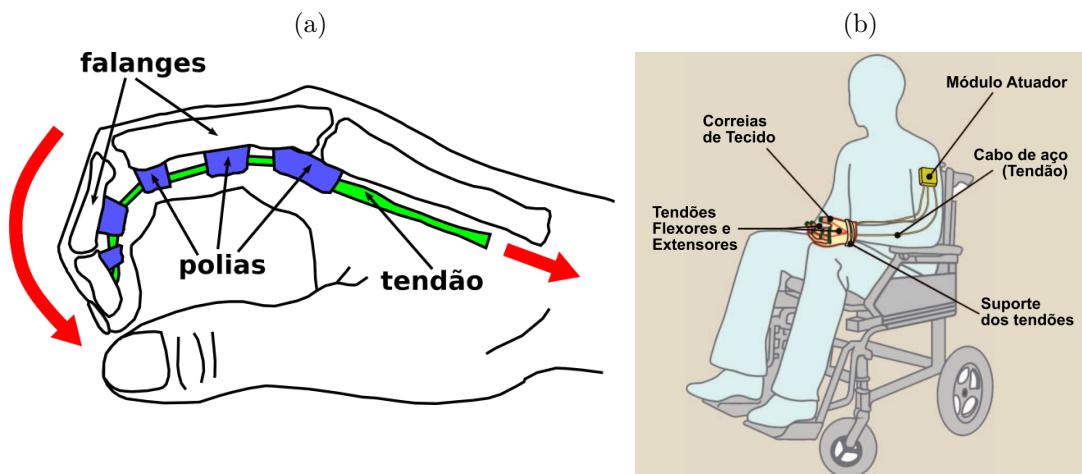
Na mão, os tendões funcionam como cordas que conectam os músculos do antebraço aos ossos da mão. Nos dedos, os tendões passam por dentro de uma série de polias, que formam uma espécie de túnel. Isso permite manter os tendões próximos aos ossos da mão, aumentando a força nos dedos e diminuindo o gasto de energia. Ao movimentar o dedo, o músculo se contrai para que o tendão deslize por entre as polias (OLIVEIRA, 2018).

Figura 1 – Funcionamento de sistemas baseados em luvas



Fonte – Produzido pelo autor.

Semelhante ao esquema demonstrado na figura 2 (a).

Figura 2 – (a) Movimento através do tendão e (b) *Exo-Glove* instalada.

Fonte – (a) Adaptado de (PRUZANSKY; PRUZANSKY, 2018) e (b) adaptado de (IN et al., 2015).

Existem pesquisas inspiradas nessa biomecânica. (IN et al., 2015), por exemplo, mostra o funcionamento da *Exo-Glove*, que é uma luva que auxilia o movimento dos dedos da mão de pessoas que sofreram alguma paralisia na região. O sistema roteia tendões artificiais (cabos de aço) vindos de um módulo atuador, passando por um suporte próximo ao pulso, por correias de tecido e chegando até os dedos. Usando esse aparelho, os movimentos de flexão e extensão dos dedos são auxiliados pelos cabos, tornando estes movimentos mais firmes ao usuário. A figura 2 (b) demonstra o sistema descrito.

2.3 Captura de movimentos

Os circuitos eletrônicos trabalham com sinais elétricos, ou seja, com correntes elétricas e tensões. Sendo assim, para medir grandezas físicas que não envolvam eletricidade, será preciso converter tais grandezas em eletricidade. “ Os dispositivos que convertem uma forma de energia em outra são denominados “transdutores”. Como eles são usados para sensoriar determinadas grandezas, eles também são chamados sensores. ” (BRAGA, 2012)

Muitas pesquisas que buscam mensurar os movimentos de flexão e expansão dos dedos, usam sensores de flexão comerciais semelhantes a (CORP, 2014). O trabalho de (RAJAMOHAN; R.; M., 2013) traduz gestos definidos na linguagem americana de sinais em texto e áudio. Dessa forma, há uma melhor comunicação de pessoas surdas ou mudas com outras pessoas que não são familiarizadas com a linguagem de sinais. A captura de flexões e extensões dos dedos são realizadas por sensores de flexão, enquanto que as direções, durante os gestos da mão, são captados por um acelerômetro. Um microcontrolador reconhece os movimentos, gera palavras e as converte em áudio através de um módulo.

A *Data Glove* usava fibra óptica e fotoresistores para saber as posições de cada dedo. De acordo com a flexão do sensor, o nível de luz que chegava ao fotoresistor variava indicando a posição atual. Já a *Power Glove*, buscou reduzir custos e preferiu trocar essa tecnologia. Passou a usar placas com tintas que variavam suas propriedades condutivas quando torcidas (GARDNER, 1989).

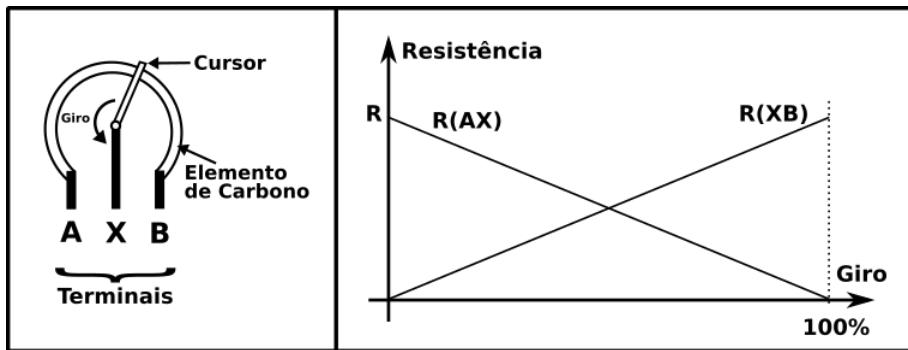
Neste trabalho, propõe-se criar um sistema inspirado na biomecânica dos dedos. Esse sistema deve mensurar movimentos de flexão e extensão dos dedos usando um transdutor mecânico com funcionamento semelhante ao sistema de tendões que ocorre nas mãos.

2.4 Potenciômetro

O potenciômetro é um componente eletrônico que permite, através do giro do seu eixo, a variação da resistência entre seus terminais. Eles são constituídos por um elemento de resistência, que pode ser de carbono ou fio de nicromo, sobre o qual corre uma lingueta, denominada cursor. Dentre as características do potenciômetro estão o valor máximo de sua resistência, seu número de voltas, seu grau máximo de giro (aproximado) e se ele é do tipo linear ou logarítmico (BRAGA, 2012).

A figura 3 demonstra resumidamente o funcionamento do potenciômetro linear, a saída dos terminais é variada de acordo com o giro do cursor. Segundo a lei de Ohm ($V = R \cdot I$), dada uma corrente constante, ao variar a resistência teremos uma variação da tensão. Sendo assim, ao girar o eixo do potenciômetro, dependendo do sentido do giro, perceberemos um aumento ou diminuição da tensão naquele ponto. Partindo de um ponto

Figura 3 – Funcionamento do potenciômetro linear.



Fonte – Modificado de (BRAGA, 2012).

extremo com resistência mínima até o outro no qual a resistência deverá ser a máxima característica do componente.

2.5 Microcontroladores

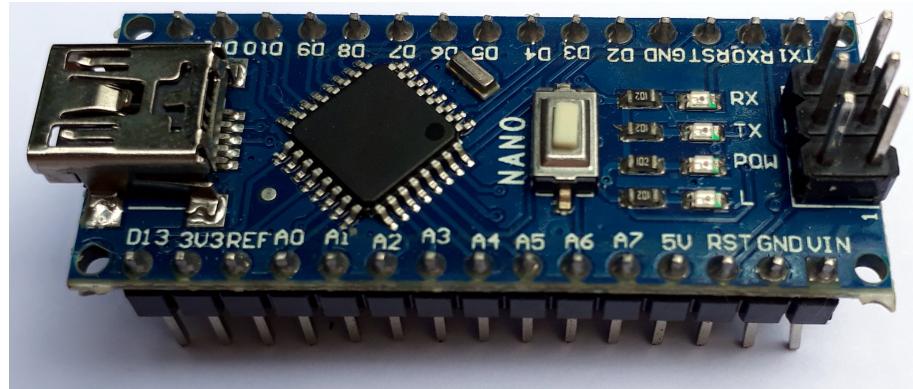
Por volta da década de 80 surgiram os primeiros microcontroladores, dispositivos com memória RAM (*Ramdon Access Memory*), ROM (*Read Only Memory*), clock interno, E/S (Entrada e Saída), entre outros. Por conta dessas características, os microcontroladores permitiram que projetos de dispositivos inteligentes se tornassem mais simples. Eles eram chamados por muitas vezes de computadores em um único chip (PEREIRA, 2002).

No trabalho de (BORGHETTI; SARDINI; SERPELLONI, 2013) o microcontrolador HC9S08QB8, da fabricante Freescale, consegue trabalhar na faixa de tensão requerida pelo projeto, consume pouca energia e juntamente ao transceptor MAX 1412 é capaz de diminuir a complexidade de transmissão, além de outras características. Já em (RAJAMOHAN; R.; M., 2013), o microcontrolador ATmega 328 é utilizado para mostrar uma saída de texto em uma pequena tela LCD e juntamente ao chip TTS256 converter esse texto em som.

Existem ainda, soluções que buscam facilitar o uso do microcontrolador. o Arduino é uma plataforma eletrônica de código aberto que é baseada em *hardware* e *software* fáceis de usar. As placas Arduino são capazes de ler entradas como o acionamento de um sensor ou pressionamento de um botão. Pode transformar essas entradas em saídas como a ativação de um motor ou a publicação de algo online. Essa placa pode ser programada usando sua IDE (*Integrated Development Interface*), que por sua vez, envia as instruções necessárias para o microcontrolador instalado na placa.(LICENSE, 2018)

No trabalho proposto, a placa Arduino modelo Nano com o microcontrolador ATmega328 embarcado, é utilizada para receber os sinais dos transdutores, converter os sinais analógicos em digitais, codificar estes sinais e enviá-los. A figura 4 mostra a placa utilizada no projeto.

Figura 4 – Placa Arduino modelo Nano.



Fonte – Produzido pelo autor.

2.6 Transmissão de Sinal

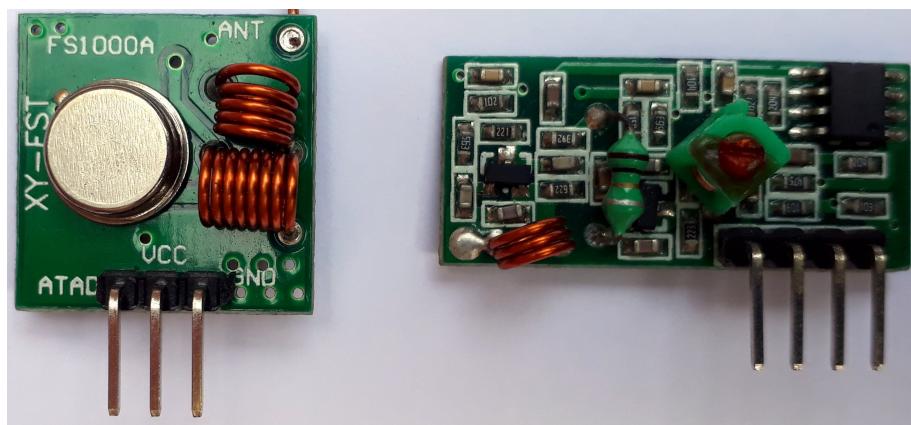
Existem várias formas de transmissão de sinal em projetos com luvas. Em (M, 2013), através de fios, a saída de texto do microcontrolador é transmitida e mostrada em uma pequena tela de LCD. No trabalho de (SYED et al., 2012) os fios conectam o microcontrolador diretamente à servomotores que controlam um braço robótico.

Para transmissões sem fio existem diversas opções. Na Power Glove (GARDNER, 1989) o sistema utilizado foi o ultrassom. Sendo que, na luva dois emissores de som ultrassônico enviam as informações necessárias para dois microfones localizados próximos à TV. Já o trabalho de (KUMAR; VERMA; PRASAD, 2012) utiliza a DG5 VHand 2.0 em sua pesquisa. Essa é uma luva comercial equipada com sensores detectores de flexão e movimentos, que usa Bluetooth para se comunicar com o computador.

Em (BORGHETTI; SARDINI; SERPELLONI, 2013), a transmissão de sinal é realizada via rádio frequência, com o auxílio de um transceptor. Um transceptor é um sistema no qual estão presentes tanto o transmissor quanto o receptor de sinal em um mesmo módulo (BULLOCK, 2017).

Outra opção para usar transmissão em rádio frequência é usar o receptor e o transmissor separadamente. No trabalho proposto usa-se o módulo RF (Rádio Frequência) 433 Mhz, composto por um par que contém um transmissor (modelo XY-FST) e um receptor (modelo XY-MK-5V), ambos mostrados na figura 5. O par opera com modulação AM (*Amplitude Modulation*) e é considerado uma alternativa para projetos de baixo custo que querem usar comunicação sem fio entre microcontroladores Arduino ou entre outros. O par de módulos pode alcançar até 200 metros sem obstáculos, usando antenas e dependendo da tensão aplicada (DIGITAL, 2018).

Figura 5 – Módulos RF transmissor (esq.) e receptor (dir.).



Fonte – Produzido pelo autor.

3 Trabalho Propriamente Dito

3.1 Introdução

O capítulo a seguir está organizado em 5 seções. Na primeira delas explica-se a movimentação mecânica do sistema e como as posições de flexão e extensão dos dedos são obtidas pelo microcontrolador. A segunda aborda a programação do microcontrolador, mais precisamente o tratamento dos dados recebidos a partir dos potenciômetros. A terceira seção explica os ajustes realizados em software. A quarta explica o protocolo criado para controlar um carrinho via rádio frequência. A quinta e última seção explica como o sistema foi montado.

3.2 Mecânica Bioinspirada

3.2.1 Transdutor de Flexão

Como foi explicitado previamente, através dos tendões, têm-se a movimentação dos dedos na mão. Baseado nessa biomecânica, foi desenvolvido um sistema mecânico semelhante, com o intuito de criar um transdutor de flexão de dedos atrelado a um microcontrolador.

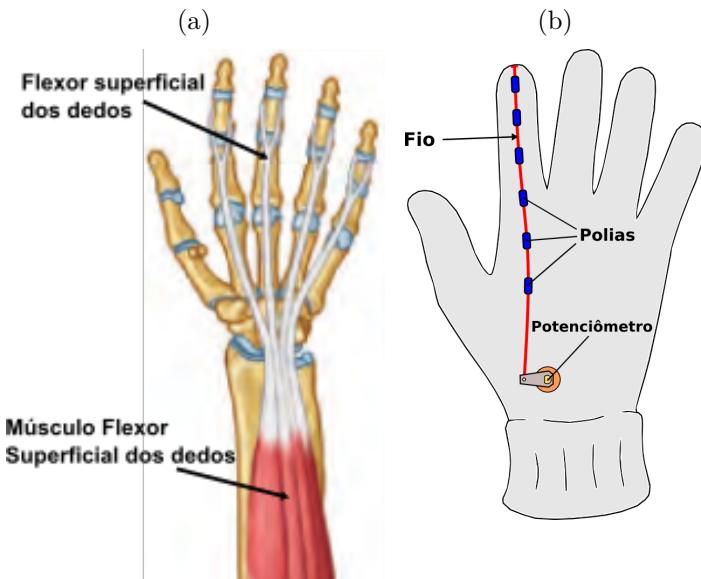
No sistema biomecânico, resumidamente, uma das extremidades do tendão está presa nas falanges do dedo enquanto sua extensão desliza por dentro de polias até o músculo. No sistema desenvolvido, cada transdutor é composto por uma linha de náilon presa ao dedo da luva, guiada através de pequenos segmentos plásticos até o cursor de um potenciômetro. A figura 6 demonstra um pouco dos dois sistemas.

Logo no inicio do trabalho, foi formulada a hipótese de que poderia haver a movimentação de um fio durante a flexão de um dedo. Portanto foi realizado um experimento para verificar tal hipótese.

Sendo assim, o primeiro passo foi, com a mão inicialmente estendida com o dorso voltado para cima, uma das pontas de um fio foi presa na extremidade de um dos dedos. O local da outra ponta do fio foi marcada no dorso mão. Como é demonstrado na figura 7 (a).

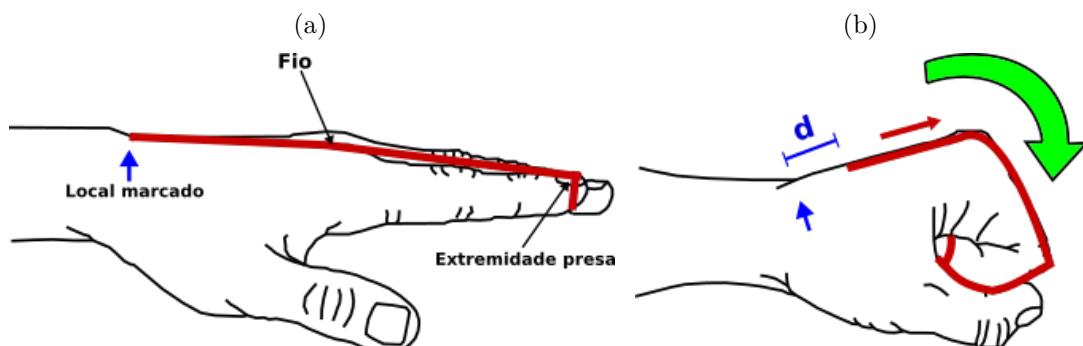
Após a flexão dos dedos, verificou-se que o fio se movimentou em uma direção e criou um deslocamento (d) do fio em relação ao ponto marcado, mostrado na figura 7 (b). Esse experimento validou a hipótese formulada previamente.

Figura 6 – (a) Sistema biomecânico e (b) sistema desenvolvido.



Fonte – (a) Adaptado de (MOORE; DALLEY; AGUR, 2013) e (b) produzido pelo autor.

Figura 7 – (a) Mão em posição inicial e (b) Mão após flexão.



Fonte – Produzido pelo autor.

3.2.2 Adaptação na Luva

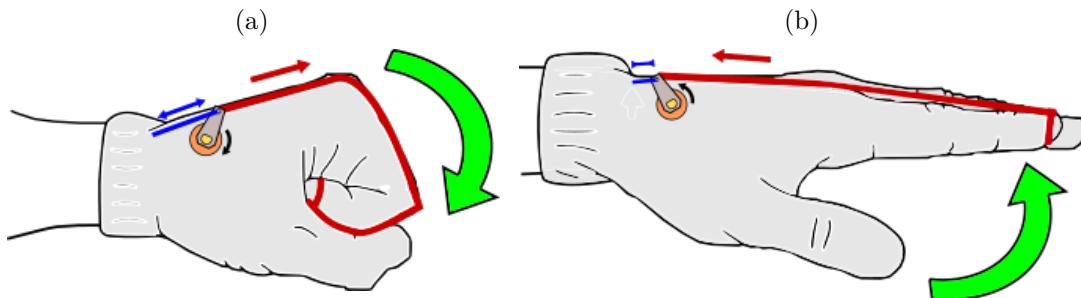
Após as polias e o fio de náilon serem devidamente embarcados na luva juntamente ao potenciômetro, com a mão estendida e mantendo o fio de náilon tensionado, ao flexionar o dedo, o fio é puxado pela ponta do dedo e com isso o cursor do potênciometro é variado. Porém, após a flexão do dedo, ao realizar o movimento inverso (extenção), não há força que movimente o fio de náilon e nem o cursor do potenciômetro de volta às suas posições iniciais.

Para possibilitar que o sistema retorne à sua posição inicial, um pequeno elástico foi instalado junto ao cursor do potenciômetro. Usando o elástico durante o movimento de flexão, o cursor gira e estica o elástico. Estando esticado, o elástico busca retomar sua posição de equilíbrio realizando uma força contrária para girar o cursor de volta à sua

posição inicial. Figura 8 (a).

Quando há o movimento de extensão do dedo, o elástico puxa o cursor do potenciômetro girando-o em sentido inverso ao que ocorreu durante a flexão. Isso acontece enquanto o elástico estiver esticado o suficiente para exercer força sobre o cursor do potenciômetro. Demonstrado na figura 8 (b)

Figura 8 – Movimentos da luva de (a) flexão e (b) extensão.



Fonte – Produzido pelo autor.

3.3 Programação do microcontrolador

3.3.1 Digitalização do sinal

Na luva, além do transdutor, há um microcontrolador que capta os movimentos do potenciômetro e os digitaliza. O sinal chega em portas analógicas de um Arduino modelo Nano que converte a variação de tensão do potenciômetro em valores inteiros entre 0 e 1023.

Para facilitar a abordagem do trabalho, cada dedo da luva e seu respectivo potenciômetro é representado por um número de 1 a 5, começando pelo dedo mínimo (1) até o polegar (5). Também foram definidas duas posições principais para analisar o movimento dos dedos. Posição A: Quando todos os dedos estiverem estendidos. Posição B: Quando todos os dedos estiverem flexionados. Algo semelhante à figura 8.

Para cada posição, o potenciômetro apresenta uma média de valores digitais. Por exemplo, quando o dedo mínimo (1) está estendido (posição A), seu respectivo potenciômetro apresenta valores em torno de 191. Quando esse dedo é totalmente flexionado (posição B) seus valores ficam em torno de 616.

Porteriormente, para diminuir o tamanho da mensagem a ser enviada, o valor digital apresentado pelo potenciômetro é remapeado para uma faixa de valores inteiros que representam posições inteiras entre 0 e 9. Quando os valores de todos os potenciômetros são remapeados, eles são concatenados em um único número de 5 dígitos, no qual cada dígito representa cada um dos cinco dedos da esquerda para a direita.

Por exemplo, em uma mensagem "69071" o dedo 1 (mínimo) está na posição 6, o dedo 2 (anelar) está na posição 9 e assim sucessivamente até o dedo 5 (polegar) que está na posição 1.

3.3.2 VirtualWire

VirtualWire é uma biblioteca de comunicação para Arduino que possibilita vários Arduinos se comunicarem usando transmissores e receptores RF de baixo custo. Essa biblioteca permite o envio de mensagens curtas, sem endereçamento, retransmissão ou confirmação, como se fosse uma espécie de protocolo UDP (*User Datagram Protocol*), usando modulação ASK (*Amplitude Shift Keying*) (MCCAULEY, 2013).

O uso dessa biblioteca nos códigos da IDE do Arduino, permite abstrair tratamentos de envio e recebimento de dados tais como, sincronização de padrões, balanceamento de bits 0 e 1, e checagem de erros (PAUL, 2018). Dessa forma, para enviar e receber mensagens, basta seguir os padrões de entrada e saída das funções descritas na biblioteca.

No código embarcado no microcontrolador da luva foram definidos, segundo os parâmetros da biblioteca, o pino do transmissor RF, a taxa de transmissão e o tamanho da mensagem a ser enviada. Porém, antes de efetivamente enviar a mensagem é preciso convertê-la em uma string que logo em seguida será transformada em um vetor de char, que é o formato de dado aceito pela função de envio.

Uma das formas de converter valores inteiros em string é concatenar o valor inteiro com uma string (SM, 2018). Por isso, no código desenvolvido, uma string vazia é somada aos valores inteiros remapeados dos potenciômetros. Com isso, os valores serão concatenados e transformados em uma string ao mesmo tempo. Essa string então é transformada em um vetor de char usando a função "toCharArray" antes de ser enviada. Este processo está descrito resumidamente no pseudocódigo abaixo.

```
// Inicia variaveis
string vazia = ""
string mensagem = ""

// Recebe as posicoes de cada dedo
int dedo1 = posicao_dedo1;
int dedo2 = posicao_dedo2;
int dedo3 = posicao_dedo3;
int dedo4 = posicao_dedo4;
int dedo5 = posicao_dedo5;

// Concatena os inteiros e os transforma em string
mensagem = vazia + dedo1 + dedo2 + dedo3 + dedo4 + dedo5;
```

```
// Converte a string em um vetor de char
mensagem = mensagem.toCharArray();

// Envia o vetor de char
vw_send(mensagem);
```

3.4 Ajustes

3.4.1 Introdução

Quando os dedos estão em um mesmo grau de flexão, na grande maioria das vezes, os valores detectados para cada dedo são diferentes. Quando a luva está em posição A (extendida), por exemplo, o valor detectado no dedo mínimo (1) fica em torno de 192, enquanto que o anelar (2) apresenta, ao mesmo tempo, um valor em torno de 141.

Além do mais, devido à posição em que cada potenciômetro foi soldado na placa embarcada, alguns potênciômetros apresentam deslocamentos positivos ou negativos para um mesmo movimento.

3.4.2 Deslocamento e número de posições

Para descobrir os valores de deslocamento, cada potenciômetro teve seu valor digital anotado para as posições A e B, que posteriormente foram usados na equação 3.1:

$$\Delta Pos = PosB - PosA \quad (3.1)$$

Usando o módulo de ΔPos é possível calcular o número de posições detectáveis partindo da Posição A até a Posição B, através da equação 3.2:

$$NPos = |\Delta Pos| + 1 \quad (3.2)$$

A tabela 1 mostra os valores obtidos e calculados para cada um dos cinco potenciômetro no deslocamento da posição A para a posição B.

Tabela 1 – Valores de A para B

Dedo	PosA	PosB	Δ Pos	NPos
1	191	616	+425	426
2	140	609	+469	470
3	774	360	-414	415
4	728	475	-253	254
5	670	367	-303	304

Fonte – Produzido pelo autor

Quanto maior for o valor de NPos na tabela 1, mais preciso será o sensoriamento do dedo. Sendo assim, o anelar (2) é o dedo com maior potencial de sensoriamento, enquanto que o indicador (4) possui menor potencial.

3.4.3 Remapeamento

Com o intuito de diminuir o tamanho da mensagem a ser enviada pelo transmissor de rádio frequência, foi definido que cada potenciômetro teria apenas 10 níveis de deslocamento representados durante a transmissão. Dessa forma, em uma mensagem numérica, bastaria 1 dígito para representar a posição atual do dedo.

Junto a isso, para diminuir a complexidade do protocolo de comando, foi decidido que não haveriam deslocamentos negativos. Algo que acontece nos dedos 3, 4 e 5 durante o deslocamento de A para B.

Para se adequar aos requisitos descritos, no código embarcado foi usada a função "map", que permite remapear uma faixa de valores em outra menor. Usando tal função, a faixa de entrada que inicialmente poderia variar entre 0 e 1023, foi remapeada para variar entre 0 e 9 valores inteiros.

Além do mais, a função map também permite inverter a saída, de uma forma que os valores de entrada que variam de 1023 a 0 (decrescente) passarão a variar de 0 a 9 (crescente). Este último requisito, permite eliminar os deslocamentos negativos.

Usando as equações 3.1 e 3.2, os valores digitais remapeados (R) foram adicionados à tabela 1, criando a tabela 2:

Tabela 2 – Valores de A para B e remapeados (R).

Dedo	PosA (RA)	PosB (RB)	Δ Pos (Δ R)	NPos (NR)
1	191 (1)	616 (5)	+425 (+4)	425 (5)
2	140 (1)	609 (5)	+469 (+4)	469 (5)
3	774 (3)	360 (6)	-414 (+3)	414 (4)
4	728 (3)	475 (5)	-253 (+2)	253 (3)
5	670 (4)	367 (6)	-303 (+2)	303 (3)

Fonte – Produzido pelo autor

3.5 Protocolo de comunicação

3.5.1 Introdução

Através de um transmissor de rádio frequência, a o sistema embarcado na luva envia constantemente mensagens de 5 dígitos que indicam a posição de cada um dos cinco dedos. Para receber esse sinal, é preciso usar um módulo receptor de rádio frequência compatível com o transmissor.

Um sistema receptor foi embarcado em um carrinho usando um segundo microcontrolador Arduino modelo Nano e um módulo receptor RF. Esse carrinho funciona com motores DC (*Direct Current*) e todo o sistema é alimentado por uma bateria LiPo.

Para possibilitar o controle, conjuntos pré-definidos das posições dos dedos correspondem a movimentos que devem ser executados pelo carrinho.

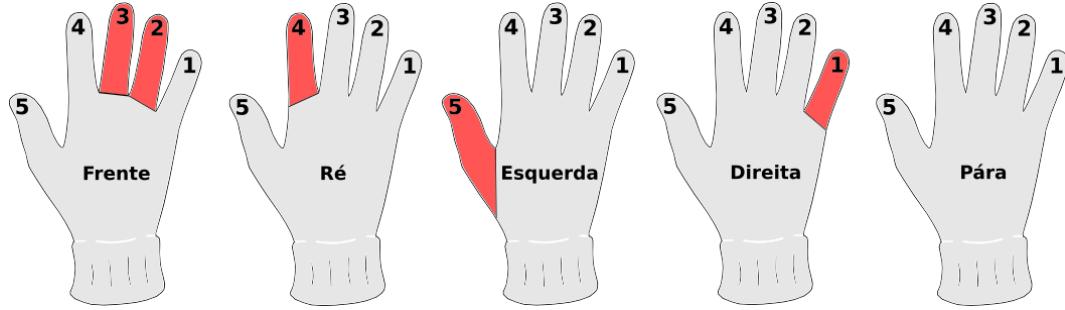
3.5.2 Posições e movimentos

Como foi explicitado anteriormente, a mensagem transmitida pela luva consiste em um conjunto de 5 dígitos no qual cada dígito indica a posição de um respectivo dedo. Na mensagem, o primeiro dígito da esquerda indica a posição do dedo 1, que é o dedo mínimo. O segundo dígito indica a posição do dedo 2, ou seja, o dedo anelar. Essa lógica segue até o quinto dígito que representa a posição do dedo polegar.

Cinco comandos foram definidos para o carrinho, ir para frente, ir para trás, girar para a esquerda, girar para a direita e parar. Com o intuito de controlar o carrinho através de combinações de flexões e extensões de dedos, 5 conjuntos de posições também foram definidas. São eles: flexionar os dedos 2 e 3 simultaneamente, flexionar somente o dedo 4, flexionar somente o dedo 5, flexionar apenas o dedo 1 e não flexionar nenhum dedo.

A figura 9 mostra a correspondência entre cada combinação de flexão dos dedos e seu respectivo comando para o carrinho. Apenas os dedos indicados em vermelho devem ser flexionados para validar o comando. Qualquer outra combinação faz o carrinho parar.

Figura 9 – Comandos a partir de flexões e extensões para controle do carrinho



Fonte – Produzido pelo autor.

3.5.3 Software de recepção

A biblioteca VirtualWire também deve estar presente no código do microcontrolador embarcado no carrinho. Para receber as mensagens adequadamente, é necessário definir o pino do receptor RF e indicar a taxa de transmissão do transmissor RF. Também deve-se criar variáveis para guardar a mensagem recebida e o seu tamanho, pois as mensagens são recebidas *byte a byte*.

Uma função nativa da biblioteca verifica se chegou alguma mensagem e indica *true* quando isso acontece. Então, ao receber uma mensagem, para lê-la, é necessário criar um *for* que recebe como parâmetro o tamanho da mensagem recebida. Dentro da função a mensagem será lida *byte a byte* enquanto a função *for* for verdadeira.

O pseudocódigo abaixo demonstra o fluxo descrito:

```

// Define as variaveis
int pino_receptor = 8;
int taxa_transmissao = 2000;

// Recebe a mensagem e o seu tamanho
byte msg = get_mensagem;
byte tamanho_msg = get_tamanho_msg;

// Aguarda receber alguma mensagem
chegou_mensagem = vw_wait_rx();

// Verifica se ha mensagem, inicia o for para ler cada byte
if(chegou_mensagem){
    for (int i = 0; enquanto i < tamanho_msg; i++)
        byte_recebido[ i ] = msg[ i ];
}

```

Usando o pseudocódigo apresentado e sabendo que na mensagem recebida o primeiro dígito indica a posição atual do dedo 1, percebe-se que a função *for* irá rodar pelo menos

5 vezes, armazenando em cada posição do vetor `byte_recebido[]` as informações de cada dedo. Dessa maneira, a posição recebida do dedo 1 estará em `byte_recebido[0]`, enquanto que a do dedo 2 está em `byte_recebido[1]`. Continuando assim até o dedo 5 que estará em `byte_recebido[4]`.

Após o armazenamento das posições dos dedos, cinco funções foram criadas para comandar a ponte H e dessa forma movimentar os motores do carrinho. São elas: FRENTE(), TRAS(), ESQUERDA(), DIREITA() e PARA(). Ao chamar qualquer uma dessas funções, o carrinho passa a se movimentar na direção e sentido definidas. Para chamar a função correta baseada na mensagem recebida, foram criadas cadeias de *Ifs* e *Elses* nas quais, quando satisfeitas certas condições, a respectiva função é chamada.

A tabela 3 mostra quais são os conjuntos de valores esperados para todos os dedos simultaneamente em cada comando. Ou seja, para saber qual a combinação de valores para movimentar o carrinho para frente, é só observar a coluna "Frente" da tabela. Qualquer outra combinação além das especificadas na tabela, fará o carrinho ficar parado. Os dedos flexionados estão destacados em vermelho.

Tabela 3 – Valores recebidos dos dedos e comandos de movimento

Dedo	Frente	Tras	Esquerda	Direita	Para
1	< 2	< 2	< 2	> 1	-
2	> 1	< 2	< 2	< 2	-
3	> 3	< 4	< 4	< 4	-
4	< 4	> 3	< 4	< 4	-
5	< 5	< 5	> 4	< 5	-

Fonte – Produzido pelo autor

3.6 Assembling

3.6.1 Transdutor de Flexão

A escolha de materiais foi baseada no menor custo e maior disponibilidade local. Prevendo a possibilidade de costuras no projeto, um par de luvas de algodão foi escolhida. O sistema foi embarcado na luva direita, enquanto que a esquerda poderia ser usada em caso de dano da primeira.

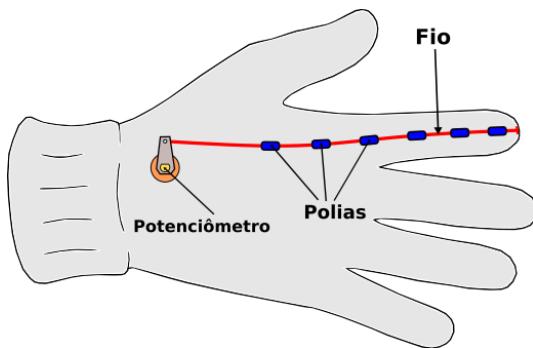
As polias plásticas são feitas a partir de pequenos pedaços de hastes flexíveis com algodão nas pontas. Sendo que apenas a parte plástica foi aproveitada enquanto que o algodão foi descartado.

O material da linha que movimenta os cursores dos potenciômetro é náilon. Isso porque, nos testes, ela apresentou boa resistência e durabilidade, além de apresentar ter

pouca ou nenhuma elasticidade para a aplicação.

Utilizando a luva escolhida com o dorso voltado para cima, as polias plásticas foram costuradas ao longo dos dedos. Uma das extremidades de cada fio de náilon foi presa na ponta de cada um dos dedos, enquanto que o restante do fio passava por dentro das polias plásticas. A outra extremidade do fio de náilon seria amarrada ao cursor do potenciômetro quando a PCB fosse incluída na luva. A figura 10 demonstra o resultado esperado para um dos dedos da luva.

Figura 10 – Costura do transdutor em um dedo.



Fonte – Produzido pelo autor.

3.6.2 Escolha de componentes

O sistema de processamento e transmissão de sinal embarcado na luva, foi projetado para ser móvel, leve, alimentado por uma bateria, caber no dorso da mão e ter custo relativamente menor em relação à soluções com sensores flex tradicionais. O sistema dever ser de fácil reprodução e o mais adaptável possível à outras formas de transmissão além da rádio frequência, caso estas sejam necessárias futuramente.

O primeiro desafio foi escolher, dentre os componentes disponíveis, quais seriam utilizados para compor a eletrônica presente na placa de circuito impresso que estaria embarcada na luva.

O potenciômetro foi o primeiro componente a ser definido. Isso porque, este seria o componente em maior número na placa. O modelo escolhido deveria ser pequeno suficiente para manter uma distância adequada para outros potenciômetros e componentes. Seu cursor deveria ser de fácil giro, para que pudesse ser acionado apenas pelo deslocamento do fio. Seu ângulo de giro total precisava ser mínimo, para que o menor grau de giro correspondesse à maior variação de resistência possível, facilitando assim a percepção pelo microcontrolador.

O modelo de potenciômetro que mais se aproximou das especificações acima foi retirado de servomotores modelo MG996R da marca TowerPro. O potenciômetro

encontrado possui dimensão aproximada de $13mm \times 13mm$, resistência máxima de $5k\Omega$, giro máximo de 200° (aproximado) e oferece pouca resistência para girar seu cursor.

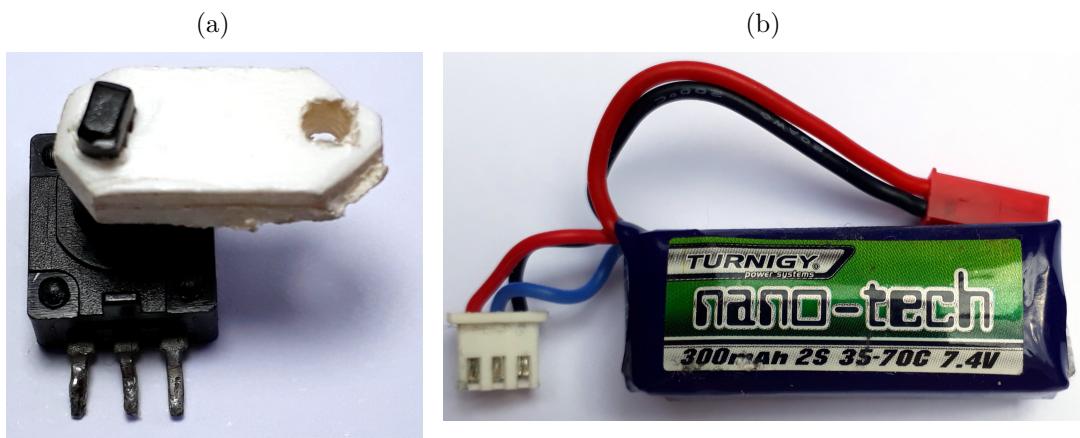
Um pequeno pedaço de PVC (*Polyvinyl Chloride*) expandido foi adaptado ao cursor do potenciômetro para facilitar o seu giro, amarrar uma das extremidades do fio de náilon e para prender um elástico. Essa adaptação pode ser vista na figura 11 (a).

O microcontrolador escolhido para processar os dados recebidos de cada potenciômetro foi o Arduíno modelo Nano. Isso porque ele é leve, ocupa uma área de apenas $45mm \times 17mm$, possui vasta documentação e disponibilidade no mercado, além de ser compatível com diversos módulos externos e possuir custo menor do que outros modelos da família Arduino.

Para transmitir e receber o sinal, foi escolhido o par de RF $433MHz$, que é leve e de baixo custo comparado à outras soluções de transmissão de dados.

Finalmente, para alimentar esse aparato eletrônico, foi escolhida uma pequena bateria LiPo (*Lithium-ion Polymer*) que possui capacidade de $300mAh$, $7.4V$ de tensão nominal e ocupa um espaço de $45mm \times 12.5mm$. Esse modelo é mostrado na figura 11 (b).

Figura 11 – (a) Potenciômetro adaptado e (b) bateria.

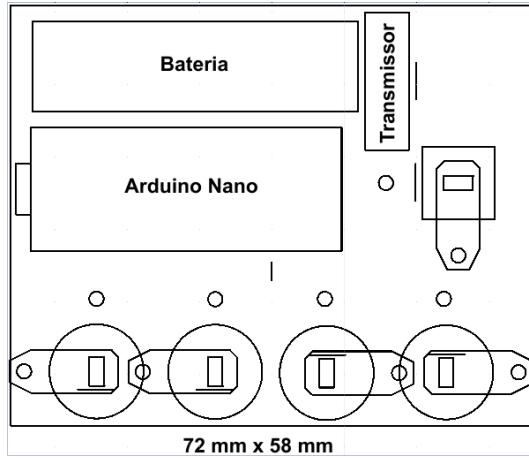


Fonte – Produzido pelo autor.

3.6.3 Posicionamento de componentes

Após medições realizadas na luva que serviu de modelo para o projeto, foi decidido que a dimensão máxima da PCI (Placa de Circuito Impresso) deveria ser de aproximadamente $72mm \times 58mm$. Isso para que a placa não ficasse muito maior do que o dorso da luva. Sendo assim, usando o software QCAD, que é gratuito para os sistemas Linux, todos os componentes foram organizados dentro da placa baseados em suas dimensões aproximadas. Chegando ao *layout* mostrado na figura 12.

Figura 12 – Dimensões aproximadas da PCI e seus componentes.



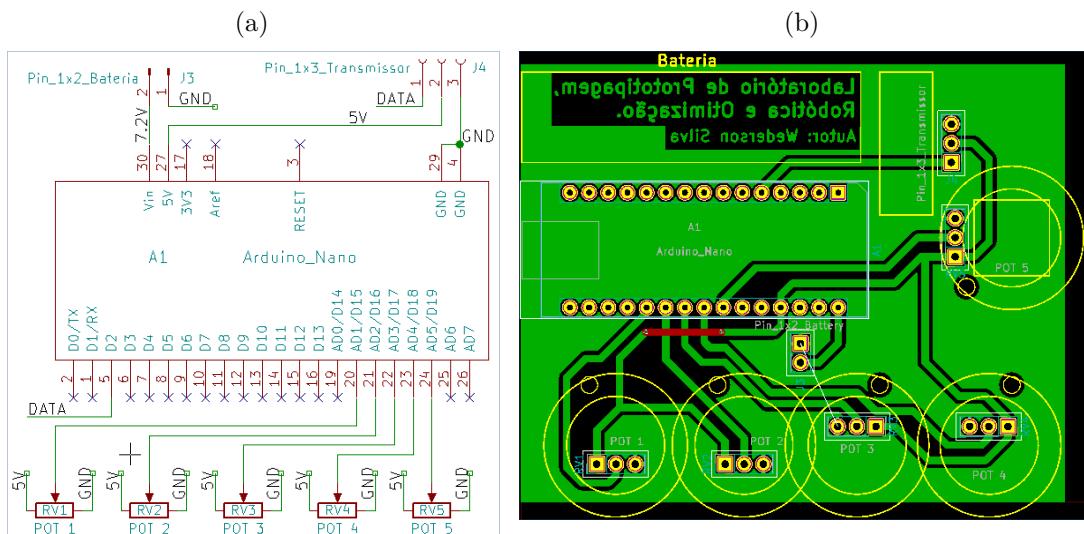
Fonte – Produzido pelo autor.

3.6.4 Placa Embarcada

Os primeiros experimentos de ligação e testes entre os componentes foram realizados ainda em protoboard. Inicialmente, um simples programa lia a variação de um resistor e mostrava na tela do computador. Este e outros programas foram usados para verificar como deveriam ser as conexões entre os pinos, potenciômetros, bateria, módulo transmissor e o microcontrolador Arduíno.

O passo seguinte foi utilizar o software gratuito Kicad para desenhar o esquemático da placa. Posteriormente, o Kicad ainda possibilita projetar uma placa de circuito impresso baseada no esquemático desenhado anteriormente. Através desse software foram criados os desenhos do esquemático e da PCI embarcada mostrados na figura 13.

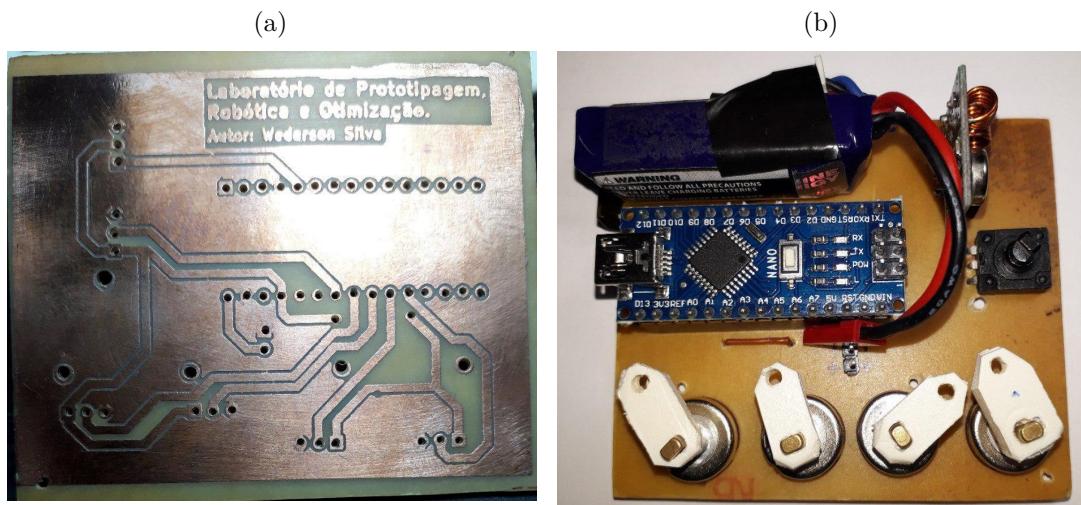
Figura 13 – Desenhos projetados no Kicad do (a) esquemático e (b) PCI.



Fonte – Produzido pelo autor.

Após a conclusão do desenho da placa, foram efetuados os procedimentos necessários para a confecção desta PCI em uma placa de fenolite cobreada, além da posterior soldagem de pinos e componentes. A figura 14 mostra os resultados após o procedimento descrito. Já a figura 15 mostra o resultado final após juntar a luva de algodão e a placa de circuito impresso recém concluída.

Figura 14 – (a) Placa de fenolite cobreada e (b) com os componentes soldados.



Fonte – Produzido pelo autor.

Figura 15 – Luva montada.



Fonte – Produzido pelo autor.

4 Resultados e análises

4.1 Introdução

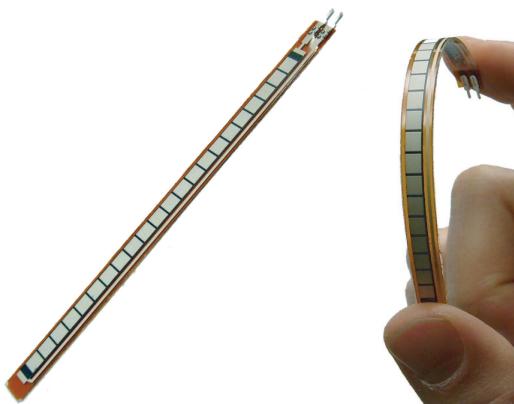
O capítulo a seguir analisa diferentes testes realizados com o sistema bioinspirado desenvolvido e o compara com outros trabalhos semelhantes. As três frentes a serem analizadas são a sensibilidade do sensor de flexão, a duração do sistema alimentado por bateria e o alcance de transmissão do sinal.

4.2 Sensibilidade

O primeiro teste a ser realizado foi o teste de sensibilidade do sistema. Sendo este um sensor de flexão, faz-se necessário mensurar a quantidade máxima de posições capturadas em um movimento. Diversos trabalhos utilizam sensores flex comerciais para realizar a captura de movimentos. O desempenho de um desses trabalhos foi utilizado como referência.

Sensores de flexão comerciais, mais conhecidos como sensores flex, são resistores analógicos. Dentro desses sensores existem elementos resistivos de carbono junto a um fino substrato flexível. Quando o substrato é torcido o sensor produz uma resistência relativa ao raio da torção. Quanto maior o raio de torção maior será a resistência apresentada pelo sensor. (M, 2013). A figura 16 mostra um sensor flex da fabricante Spectra Symbol.

Figura 16 – Sensor de Flexão.

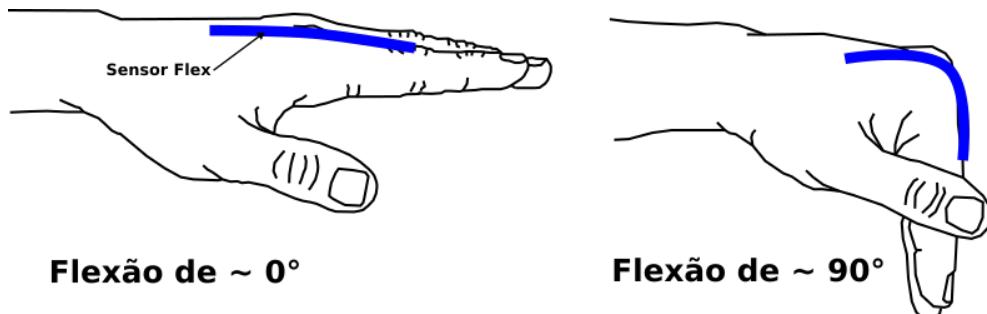


Fonte – (CORP, 2014).

A figura 17 demonstra uso do sensor flex comercial em um dos pontos de flexão do dedo, a figura também mostra o que seriam os graus de torção do sensor. À esquerda estão a mão e o sensor (em azul), em posição inicial, ambos com ângulo de flexão de

aproximadamente 0 (zero) grau. À direita está o resultado de um movimento de flexão de aproximadamente 90 graus em relação à posição anterior.

Figura 17 – Sensor flex comercial na mão durante a flexão.



Fonte – Produzido pelo autor.

O trabalho de (RAJAMOHAN; R.; M., 2013), que será utilizado como referência, utiliza sensores flex comerciais de 2,5 e 4,5 polegadas instalados em uma luva, com o propósito de criar um interpretador da linguagem americana de sinais. Os gestos traduzidos são transformados em palavras que são exibidas em uma pequena tela de LCD.

O autor cita que durante os testes, os sensores flex de 2,5 polegadas foram instalados nos dedos mínimo e polegar, enquanto que os sensores de 4,5 polegadas foram instalados nos dedos indicador, médio e anelar. Ele apresenta uma tabela de valores obtidos por cada sensor nas posições de flexão de 0 graus e 90 graus.

Os valores digitais obtidos nas posições de flexão de 0 grau e 90 graus, de ambos os trabalhos, foram utilizados para calcular, de acordo com as equações 3.1 e 3.2, o número de posições possíveis captadas entre 0 e 90 graus. Sendo que, para este cálculo, PosB recebe o valor digital em 90 graus e PosA recebe o valor digital recebido em 0 grau.

A tabela 4 mostra os valores obtidos em 0 grau (Pos0), 90 graus (Pos90) e o número de posições possíveis (NPos) calculados. As duas colunas da esquerda são referentes ao sensor flex comercial e as demais são referentes aos dedos do sensor bioinspirado. O dedo polegar não está presente na tabela porque ele não é flexionado durante o movimento realizado neste teste.

Tabela 4 – Valores obtidos e número de posições entre 0 e 90 graus.

Posições	2,5”	4,5”	Mínimo	Anelar	Médio	Indicador
Pos0	748	350	206	142	771	746
Pos90	875	568	309	396	527	607
NPos	128	219	104	255	245	140

Fonte – Adaptado de (RAJAMOHAN; R.; M., 2013) e produzido pelo autor.

Através da tabela 4 é possível notar que o maior número de posições detectáveis neste teste é do dedo anelar do sensor bioinspirado, já o menor é do dedo mínimo. O sensor flex comercial de 4,5 polegadas apresenta desempenho superior aos dedos indicador e mínimo do sensor bioinspirado, já o modelo comercial de 2,5 polegadas, apresenta baixo desempenho, sendo superior apenas ao dedo mínimo.

No desempenho geral, vemos que usando o sensor bioinspirado produzido, conseguimos captar um número superior de posições de flexão nos dedos anelar e médio, em comparação ao sensor flex de 4,5 polegadas. Em comparação com modelo de 2,5 polegadas, o sensor bioinspirado se sai melhor em 3 dos 4 dedos.

Dessa forma é possível afirmar que, neste teste, o sensor bioinspirado conseguiu desempenho equiparado a um sensor comercial. Sendo que um sensor flex comercial possui um custo relativamente superior. Portanto, em projetos de baixo custo, respeitando suas limitações e requisitos do projeto, seria viável usar o sistema bioinspirado desenvolvido.

5 BUFFER

Também é possível notar que alguns deslocamentos são positivos enquanto outros são negativos. Isso se dá porque os potênciômetros 1 e 2 foram instalados com seus cursores em sentido oposto aos potênciômetros 3 e 4. Com o intuito de minimizar o espaço entre eles na placa. Isso pode ser observado na figura 15.

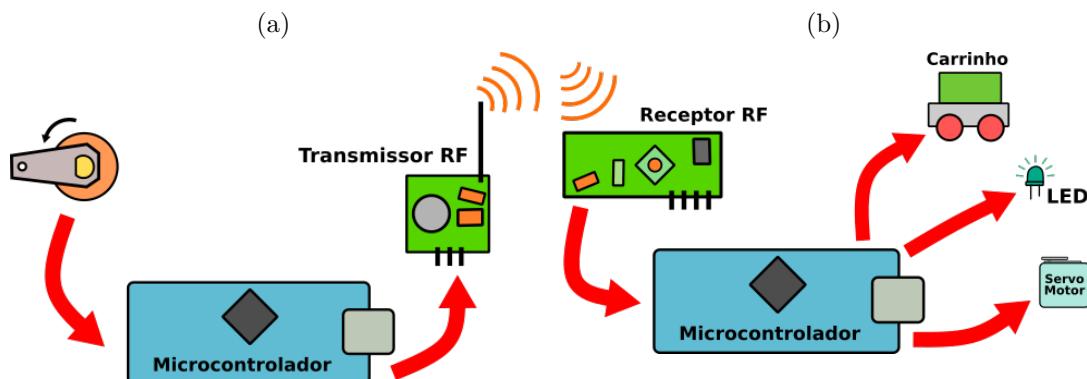
Por conta desse fato, durante o movimento de flexão, os potênciômetros 1 e 2 giram em sentido anti-horário e possuem deslocamento positivo, enquanto os demais giram em sentido horário com deslocamento negativo. No caso do potênciômetro 5, apesar de girar em sentido anti-horário, ele possui um deslocamento negativo. Isso porque foi soldado em posição reversa aos demais, com o propósito de maximizar sua aderência na placa.

5.1 Transmissão e Recepção de Dados

Como foi descrito, durante a movimentação dos dedos, a posição do cursor do potênciômetro é modificada. Sendo assim, para possibilitar o sensoriamento, a variação de cada potênciômetro é captada por um microcontrolador que processa esse sinal antes de despachá-lo para o transmissor. Este por sua vez envia mensagens por rádio frequência, em formato de números inteiros que representam a posição atual de cada dedo. Figura 18 (a).

O módulo receptor de rádio frequência, capta as mensagens e as envia a outro microcontrolador. Este por sua vez, processa a mensagem e transmite aos respectivos componentes e atuadores daquela aplicação. Figura 18 (b).

Figura 18 – (a) Transmissão do sinal. (b) Recepção do sinal.



Fonte – Produzido pelo autor.

Para este trabalho, um pequeno carrinho, foi o sistema escolhido para ser controlado pela luva. Para isso, um protocolo de transmissão foi desenvolvido para traduzir os

movimentos dos dedos da luva em direções para o carrinho.

6 Análises e Resultados

6.1 Configurações

6.2 Testes

6.3 Resultados

7 Conclusão

7.1 Conclusões

7.2 Trabalhos Futuros

Referências

- BORGHETTI, M.; SARDINI, E.; SERPELLONI, M. Sensorized glove for measuring hand finger flexion for rehabilitation purposes. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, v. 62, n. 12, p. 3308–3314, Dec 2013. ISSN 1557-9662. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/6566034>>. Citado 3 vezes nas páginas 16, 19 e 20.
- BRAGA, N. C. *Curso de Eletrônica: Eletrônica Básica*. 1. ed. São Paulo - Brasil: Editora Newton C. Braga, 2012. v. 1. PAGES p. ISBN 8565050092, 9788565050098. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 19.
- BULLOCK, S. *Transceiver and System Design for Digital Communications*. Noble Publishing Corporation, 2017. ISBN 9781884932144. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=woWnJvaROXQC>>. Citado na página 20.
- CORP, S. S. *DataSheet Flex Sensor Resistive*. 2014. Acessado em: 15/12/2018. Disponível em: <<http://www.spectrasymbol.com/wp-content/uploads/2016/12/FLEX-SENSOR-DATA-SHEET-v2014-Rev-A.pdf>>. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 35.
- DIGITAL, I. *Módulo RF Transmissor + Receptor 433mhz - Instituto Digital*. 2018. Acessado em: 12/08/2018. Disponível em: <<http://www.institutodigital.com.br/pd-f7460-modulo-rf-transmissor-receptor-433mhz.html?ct=76b8b&p=4&s=1>>. Citado na página 20.
- GARDNER, D. L. The power glove. In: *Design News: News for Design Engineers*. [s.n.], 1989. v. 45, n. 23, p. 63–68. Disponível em: <<https://www.microsoft.com/buxtoncollection/a/pdf/PowerGloveDesignNewsArticle.pdf>>. Citado 3 vezes nas páginas 16, 18 e 20.
- IN, H.; KANG, B. B.; SIN, M.; CHO, K.-J. Exo-glove: A wearable robot for the hand with a soft tendon routing system. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, v. 22, p. 97–105, Mar 2015. ISSN 1558-223X. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7059367>>. Citado na página 17.
- KUMAR, P.; VERMA, J.; PRASAD, S. Hand data glove: A wearable real-time device for human-computer interaction. *International Journal of Advanced Science and Technology*, v. 43, p. 15–26, Jun 2012. ISSN 2005-4238. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/f1ae/8066b654e5ccd2ae21c1e0bf32308c0361e9.pdf>>. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 20.
- LEE, D.; PARK, Y. Vision-based remote control system by motion detection and open finger counting. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, v. 55, n. 4, p. 2308–2313, Nov 2009. ISSN 1558-4127. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/5373803>>. Citado na página 16.
- LICENSE, C. C. A.-S. . *Arduino - Introduction*. 2018. Acessado em: 12/08/2018. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>>. Citado na página 19.
- M, S. K. Indian sign languages using flex sensor glove. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, v. 4, p. 2478–2480, 2013. ISSN 2231-5381. Disponível

em: <<http://www.ijettjournal.org/volume-4/issue-6/IJETT-V4I6P149.pdf>>. Citado 3 vezes nas páginas 16, 20 e 35.

MCCAULEY, M. *VirtualWire, Documentation for the VirtualWire communications library for Arduino*. [S.l.], 2013. V. 1.27. Disponível em: <<http://www.airspayce.com/mikem/arduino/VirtualWire.pdf>>. Citado na página 25.

MOORE, K.; DALLEY, A.; AGUR, A. *Clinically Oriented Anatomy*. Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins, 2013. (Clinically Oriented Anatomy). ISBN 9781451119459. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=-Le5bc5F0sYC>>. Citado na página 23.

OLIVEIRA, R. K. de. *Dedo em Gatilho - Dr. Ricardo Kaempf - Cirurgia de Mão e Microcirurgia*. 2018. Acessado em: 07/08/2018. Disponível em: <<http://www.ricardokaempf.com.br/services/dedo-em-gatilho/>>. Citado na página 16.

PAUL. *VirtualWire Library, for very cheap wireless communication*. 2018. Acessado em: 27/11/2018. Disponível em: <https://www.pjrc.com/teensy/td_libs_VirtualWire.html>. Citado na página 25.

PEREIRA, F. *MICROCONTROLADORES PIC - TECNICAS AVANÇADAS*. ERICA, 2002. ISBN 9788571947276. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=hqBUPgAACAAJ>>. Citado na página 19.

PRUZANSKY, M. E.; PRUZANSKY, J. S. *Flexor Tendon Pulley System Injury - HandSport Surgery Institute*. 2018. Acessado em: 07/08/2018. Disponível em: <<https://handsport.us/patient-education/flexor-tendon-pulley-system-injury/>>. Citado na página 17.

RAJAMOHAN, A.; R., H.; M., D. Deaf-mute communication interpreter. *International Journal of Scientific Engineering and Technology*, v. 2, p. 336–341, May 2013. ISSN 2277-1581. Disponível em: <<https://www.ijset.com/publication/v2/057.pdf>>. Citado 4 vezes nas páginas 16, 18, 19 e 36.

SM. *Arduino - String Addition Operator*. 2018. Acessado em: 04/12/2018. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Tutorial/StringAdditionOperator>>. Citado na página 25.

SYED, A.; AGASBAL, Z. T. H.; MELLIGERI, T.; GUDUR, B. Flex sensor based robotic arm controller using micro controller. *Journal of Software Engineering and Applications*, v. 5, n. 5, p. 364–366, May 2012. ISSN 1945-3124. Disponível em: <https://file.scirp.org/pdf/JSEA2012050005_49971710.pdf>. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 20.