



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-

27 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, 24 de dezembro 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. ...

*“Não vos amoldeis às estruturas deste mundo, ...)*

# Resumo

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

**Palavras-chaves:** Modo fantasma.

# Abstract

Phantom mode has...

**Keywords:** Phantom mode.

# **Lista de ilustrações**

Figura 1 – Movimento do dedo através do tendão . . . . .	15
Figura 2 – Sensor de Flexão . . . . .	16
Figura 3 – Funcionamento do potenciômetro linear . . . . .	16
Figura 4 – Placa Arduino modelo Nano . . . . .	17
Figura 5 – Módulos RF transmissor (esq.) e receptor (dir.) . . . . .	17
Figura 6 – (a) Mão em posição inicial. (b) Mão após flexão. . . . .	18
Figura 7 – Captação do sinal . . . . .	19
Figura 8 – Movimentos da luva de (a) flexão e (b) extensão . . . . .	19
Figura 9 – (a) Transmissão do sinal. (b) Recepção do sinal. . . . .	20
Figura 10 – (a) Potenciômetro adaptado e (b) bateria. . . . .	22
Figura 11 – Dimensões aproximadas da PCI e seus componentes . . . . .	22
Figura 12 – Desenhos projetados no Kicad do (a) esquemático e (b) PCI. . . . .	23
Figura 13 – (a) Placa de fenolite após corrosão e (b) resultado final . . . . .	24
Figura 14 – Luva montada . . . . .	24

# Lista de tabelas

# **Lista de abreviaturas e siglas**

AWG	<i>American Wire Gauge</i>
AXT	<i>Alien crosstalk</i>
BBU	<i>Baseband Unit</i>
CAGR	<i>Compound Annual Growth Rate</i>
CM	Conversão de modo
CST	<i>Computer Simulation Technology</i>
DMT	<i>Discrete Multitone</i>
DSL	<i>Digital Subscriber Line</i>
EVM	<i>Error Vector Magnitude</i>
FEXT	<i>Far-End Crosstalk</i>
FT	Função de transferência
FTTH	<i>Fiber-to-the-Home</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
ITU	<i>International Telecommunication Union</i>
MD	Modo diferencial
MF1	Modo fantasma de 1 <sup>a</sup> camada
MF2	Modo fantasma de 2 <sup>a</sup> camada
MIMO	<i>Multiple-Input Multiple-Output</i>
NEXT	<i>Near-End Crosstalk</i>
RSIR	<i>Signal-to-Noise Ratio</i>
SP	Modo <i>split-pair</i>
STP	<i>Shielded Twisted Pair</i>
UTP	<i>Unshielded Twisted Pair</i>
VNA	<i>Vector Network Analyzer</i>
WS	Modo <i>wire-shield</i>

# Listas de símbolos

$\alpha$	Contante de atenuação
$\beta$	Contante de fase
$\gamma$	Contante de propagação
$\Gamma_L$	Coeficiente de reflexão na carga
$\delta$	Constante da restrição de potência transmissão
$\Delta_f$	Subcanais ou tons em Hz
$\Gamma$	Gap de <i>RSIR</i>
$\Lambda$	Matriz que contém os elementos da diagonal principal de <b>H</b>
$\rho$	Máscara espectral utilizada pelo sistema DSL
$\sigma^2$	Densidade espectral de potência do ruído Gaussiano branco aditivo

# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>15</b>
2.1	Movimentação dos dedos	15
2.2	Sensor Flex	15
2.3	Potenciômetro	15
2.4	Arduino	16
2.5	Módulo RF 433 Mhz	17
<b>3</b>	<b>TRABALHO PROPRIAMENTE DITO</b>	<b>18</b>
3.1	Teoria da coisa	18
3.2	Movimento mecânico	18
3.2.1	Adaptação da Luva	18
3.2.2	Flexão e Extensão dos Dedos	19
3.3	Transmissão e Recepção de Dados	20
3.4	Medidas e Posicionamento	20
3.4.1	Componentes	21
3.4.2	Dimensões e Posicionamento	21
3.5	Placa Embarcada	22
3.5.1	Esquemático	22
3.6	Montagem	23
3.7	Softwares	24
<b>4</b>	<b>ANÁLISES E RESULTADOS</b>	<b>25</b>
4.1	Configurações	25
4.2	Testes	25
4.3	Resultados	25
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>26</b>
5.1	Conclusões	26
5.2	Trabalhos Futuros	26
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>27</b>

# 1 Introdução

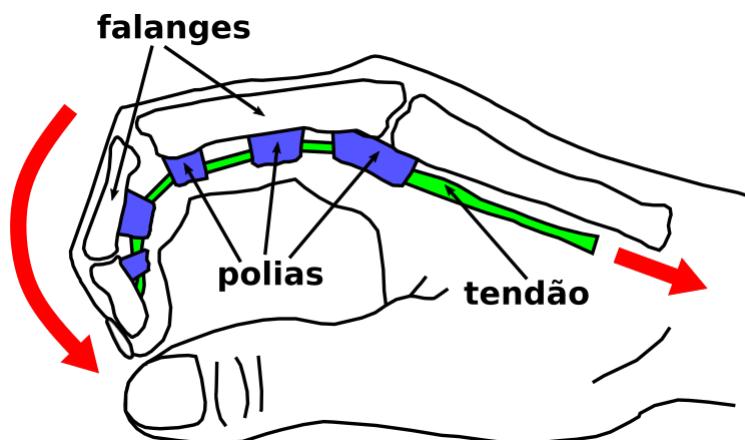
Contextualização; Estado da arte (se tiver); Motivação; O que vai fazer; Metodologia; O que terá no resto do documento;

## 2 Referencial Teórico

### 2.1 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, )

Figura 1 – Movimento do dedo através do tendão



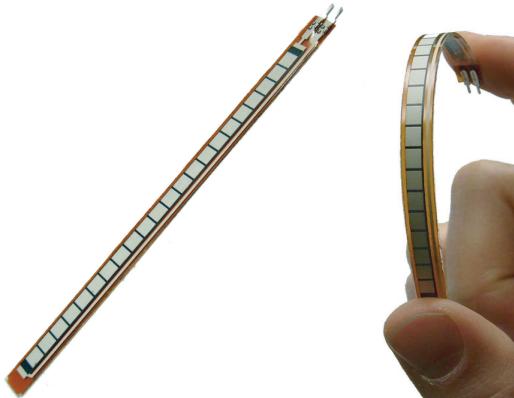
### 2.2 Sensor Flex

Sensores de flexão, mais conhecidos como sensores flex, são resistores analógicos que trabalham como divisores de tensão analógicos. Dentro desses sensores existem elementos resistivos de carbono junto a um fino substrato flexível. Mais carbono significa menos resistência. Quando o substrato é torcido o sensor produz uma resistência relativa ao raio da torção. (M, 2013).

### 2.3 Potenciômetro

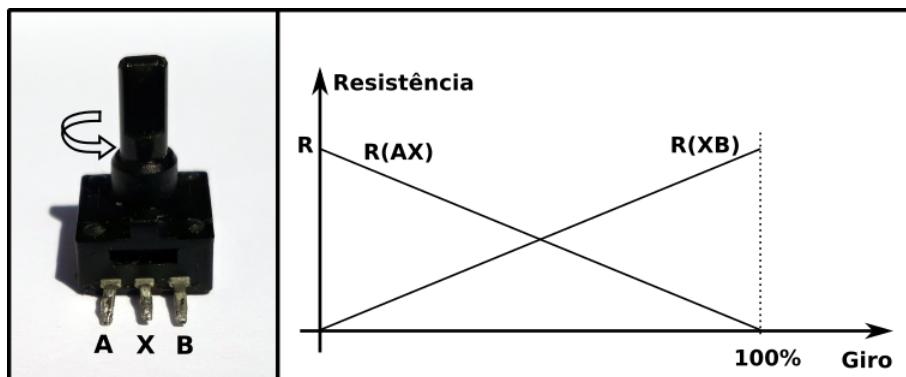
O potenciômetro é um componente eletrônico que permite, através do giro do seu eixo, a variação da resistência entre seus terminais. Eles são constituídos por um elemento de resistência, que pode ser de carbono ou fio de nicromo, sobre o qual corre uma lingüeta, denominada cursor. Dentre as características 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).

Figura 2 – Sensor de Flexão



Fonte – Site Sparkfun

Figura 3 – Funcionamento do potenciômetro linear



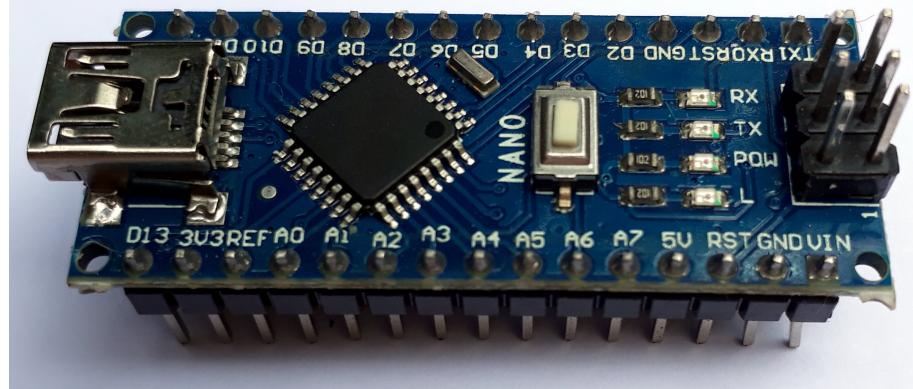
Fonte – Modificado de (BRAGA, 2012).

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

## 2.4 Arduino

O Arduino é uma plataforma eletrônica de código aberto (*open-source*) que é baseada em *hardware* e *software* fáceis de usar. As placas Arduino são capazes de ler entradas como o acionamento de um sensor, o pressionamento de um botão, ou uma mensagem do Twitter. E pode transformar essas entradas em saídas como a ativação de um motor, o acendimento de um LED ou até a publicação de algo online. O comportamento dessa placa pode ser programado usando sua IDE (*Integrated Development Interface*), que por sua vez, envia as instruções necessárias para o microcontrolador instalado na placa.(LICENSE, )

Figura 4 – Placa Arduino modelo Nano

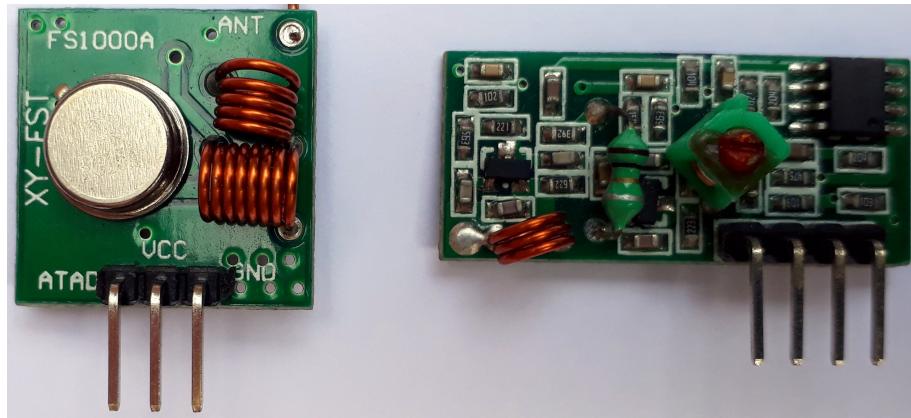


Fonte – Produzido pelo autor

## 2.5 Módulo RF 433 Mhz

O módulo de RF (Rádio Frequênciā) 433 Mhz é composto por um par que contém um transmissor e um receptor, ele opera com modulação AM (*Amplitude Modulation*) e é uma alternativa para projetos de baixo custo que queiram usar comunicação sem fio entre microcontroladores Arduino ou outros. O par de módulos pode alcançar até 200 metros sem obstáculos, usando antenas e dependendo da tensão aplicada.(DIGITAL, )

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



Fonte – Produzido pelo autor

# 3 Trabalho Propriamente Dito

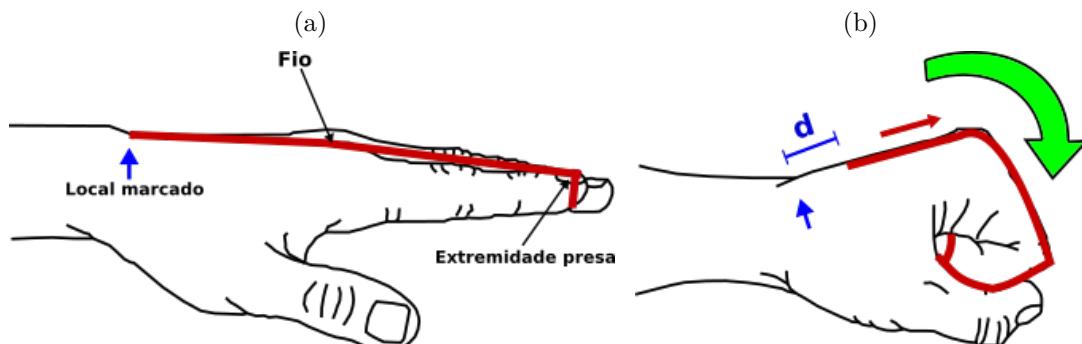
## 3.1 Teoria da coisa

Como foi demonstrado na figura 1, através dos tendões, passando por polias, têm-se a movimentação dos dedos na mão. Baseado nessa biomecânica de movimento, foi desenvolvido um sistema mecânico semelhante, com o intuito de criar um sensor de flexão de dedos, atrelado a um transmissor de dados.

Inicialmente foi verificado se havia deslocamento do fio durante a flexão de um dedo. Para isso, 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 6 (a).

Após a flexão dos dedos, o fio se movimentou em uma direção e criou um deslocamento ( $d$ ) do fio em relação ao ponto marcado, mostrado na figura 6 (b).

Figura 6 – (a) Mão em posição inicial. (b) Mão após flexão.



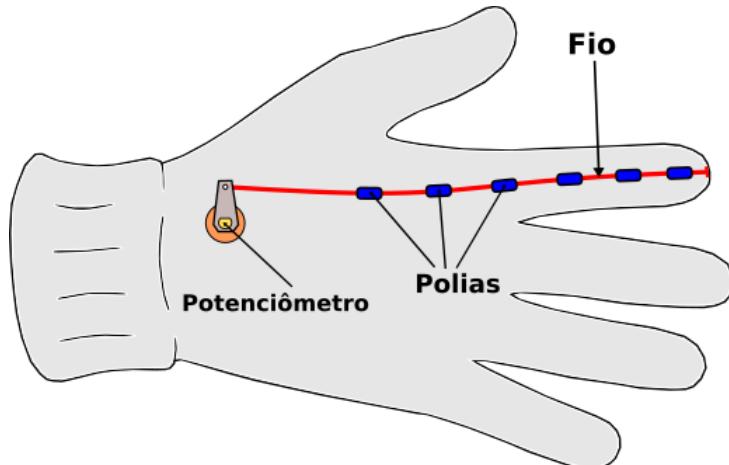
Fonte – Produzido pelo autor

## 3.2 Movimento mecânico

### 3.2.1 Adaptação da Luva

Após examinar o movimento descrito acima, foi decidido criar e embarcar todo o sistema em uma luva. Fios foram presos às extremidades dos dedos da luva, passando por polias plásticas que servem de guias. Na extremidade oposta, os fios são conectados à pequenos potenciômetros que variam de acordo com o sentido do movimento de cada fio. Figura 7. Sendo assim, ao final, para os cinco dedos da mão, serão necessários cinco fios e cinco potenciômetros.

Figura 7 – Captação do sinal



Fonte – Produzido pelo autor

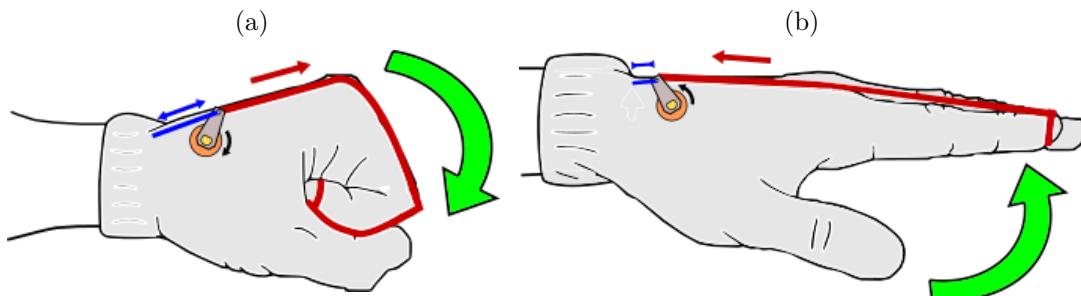
### 3.2.2 Flexão e Extensão dos Dedos

Inicialmente, 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, como é mostrado na figura 8 (a).

Após a flexão dos dedos, ao realizar o movimento inverso (extensão), nem o fio de náilon e nem o cursor do potenciômetro retornam à posição inicial. 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.

Durante 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 ocorre 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

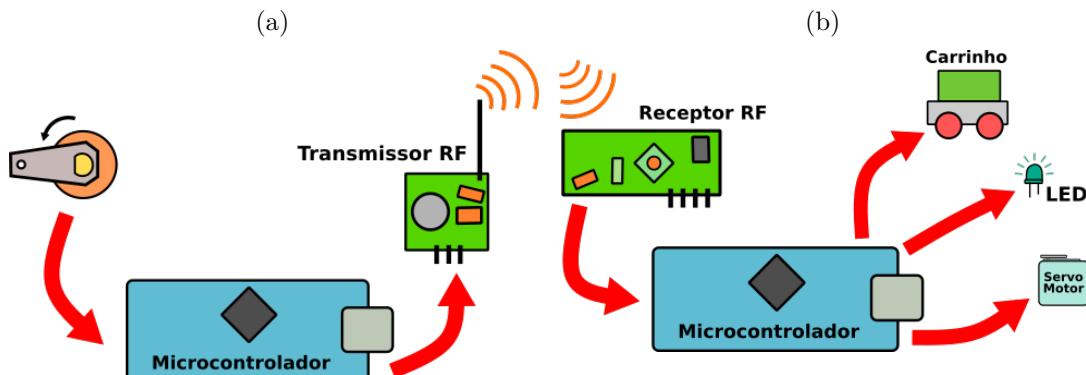
Nesse sistema, a força do dedo durante a flexão e a força do elástico durante a extensão giram o cursor do potenciômetro através do fio de náilon. Dessa forma, o fio e o cursor acompanham o movimento dos dedos em diferentes graus possibilitando o sensoriamento.

### 3.3 Transmissão e Recepção de Dados

Como foi descrito, durante a movimentação dos dedos, a posição do cursor do potenciômetro é modificada. Sendo assim, para possibilitar o sensoriamento, a variação de cada potenciômetro 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 9 (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 9 (b).

Figura 9 – (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.

### 3.4 Medidas e Posicionamento

O sistema de captação e transmissão de sinal que seria embarcado na luva, foi projetado para ser de 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 sejam necessárias futuramente.

### 3.4.1 Componentes

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 para o projeto. Isso porque, este seria o componente que estaria 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. Estes servos apresentavam problemas de controle e seriam descartados, porém, seus potenciômetros funcionavam perfeitamente. O potenciômetro encontrado possui dimensão aproximada de  $13mm \times 13mm$ , resistência máxima de  $5k\Omega$ , giro máximo de  $200^\circ$  (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 visto na figura 10 (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.

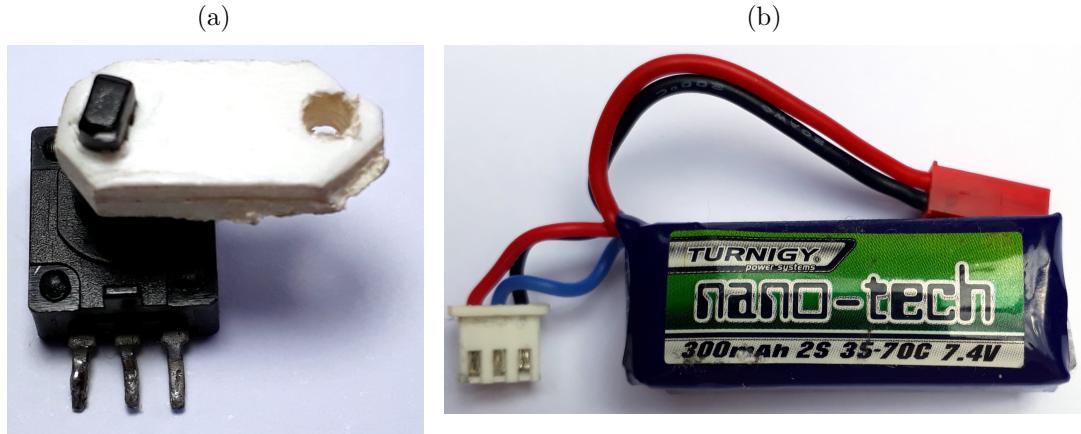
Para transmitir e receber o sinal, foi escolhido para o projeto o par de RF  $433Mhz$ , que é leve e de baixo custo comparado à outras soluções de transmissão de dados.

Finalmente, para alimentar esse aparato eletrônico, foi escolhida uma pequena bateria LiPo (*Lithium-ion Polymer*) que estava disponível no laboratório. Esta possui capacidade de  $300mAh$ ,  $7.4V$  de tensão nominal e ocupa um espaço de  $45mm \times 12.5mm$ . Esse modelo é mostrado na figura 10 (b).

### 3.4.2 Dimensões e Posicionamento

Após medições realizadas na luva que serviu de modelo para o projeto, foi decidido que as dimensões máximas da PCI (Placa de Circuito Impresso) deveriam ser de aproximadamente  $72mm \times 58mm$ . Isso para que a placa não ficasse muito maior do que o dorso

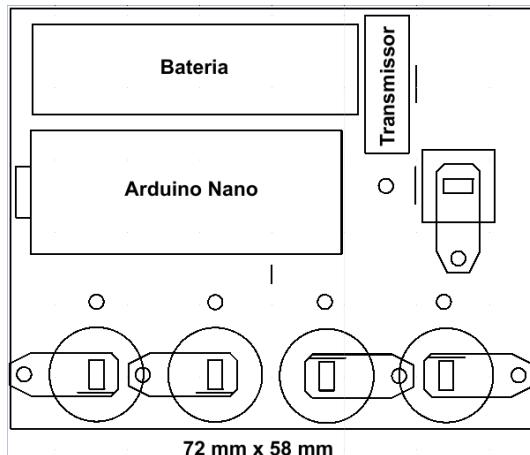
Figura 10 – (a) Potenciômetro adaptado e (b) bateria.



Fonte – Produzido pelo autor

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 11.

Figura 11 – Dimensões aproximadas da PCI e seus componentes



Fonte – Produzido pelo autor

## 3.5 Placa Embarcada

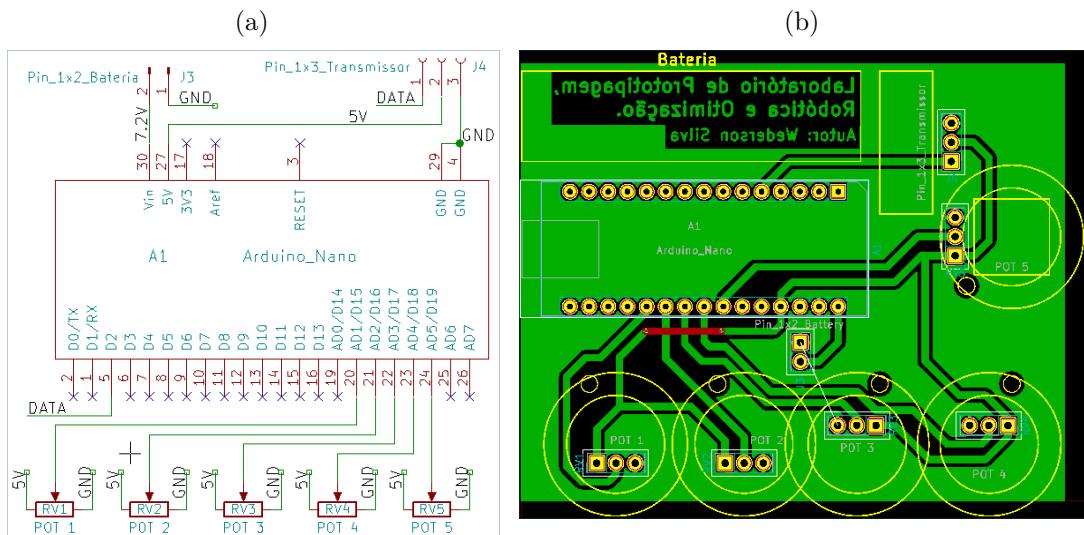
### 3.5.1 Esquemático

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. Esse programa permite a inclusão de componentes e ligações no desenho do esquemático do circuito. Posteriormente, o Kicad possibilita a criação de uma placa de circuito impresso baseada no esquemático desenhado anteriormente. Através desse software foram criados os desenhos do esquemático e da PCI embarcada, ambos mostrados na figura 12.

Com o desenho da placa finalizada no Kicad, esta PCI foi impressa em papel fotográfico e o método de transferência térmica foi utilizado para fabricar uma cópia dessa PCI em uma placa de fenolite cobreada. Posteriormente a placa de fenolite foi corroída em uma solução de percloro de ferro. Após a corrosão completa, a placa foi lavada e secada para finalmente ter seus pinos e componentes soldados. Chegando assim, ao resultado final mostrado na figura 13

Figura 12 – Desenhos projetados no Kicad do (a) esquemático e (b) PCI.



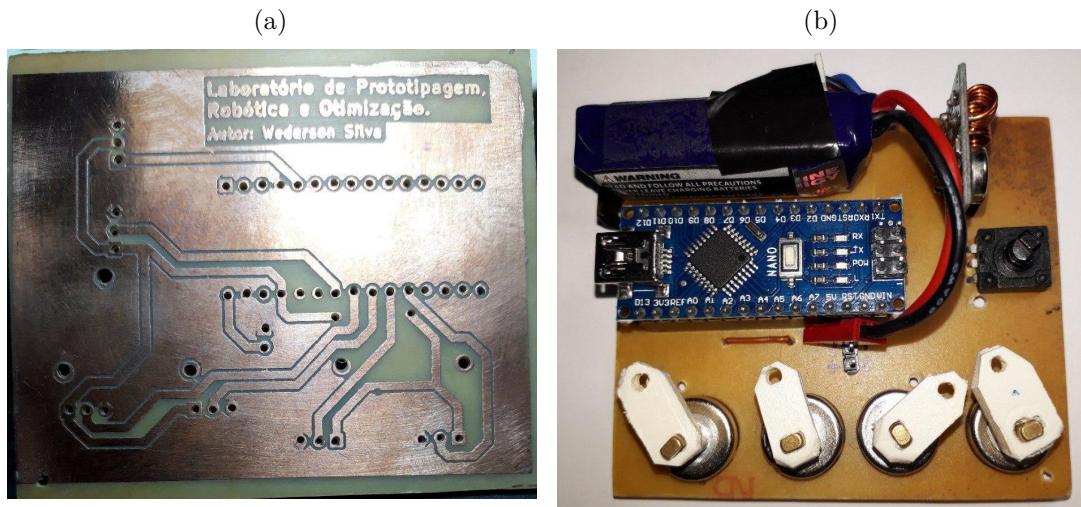
Fonte – Produzido pelo autor

### 3.6 Montagem

Utilizando uma luva de algodão, em seu dorso foi costurado uma das metades de um pedaço de velcro (gancho) de dimensões semelhantes à PCI contruída anteriormente. Ao longo dos dedos da luva foram costurados pequenos segmentos de plástico que serviriam como guias para os fios. Na parte inferior da PCI foi costurada a outra metade do velcro (argola) que poderia ser fixada, sempre que fosse preciso, à outra parte do velcro costurada na luva.

Fios de náilon foram fixados nos segmentos de plástico (guias) localizados nas pontas dos dedos da luva. Os fios passavam por dentro das guias até serem amarrados em pequenos pedaços de PCV expandido que estavam conectados dos cursores dos potenciômetros. Por

Figura 13 – (a) Placa de fenolite após corrosão e (b) resultado final



Fonte – Produzido pelo autor

fim, pequenos pedaços de elástico, levemente esticados, também foram amarrados nos pedaços de PCV expandido.

Figura 14 – Luva montada



Fonte – Produzido pelo autor

### 3.7 Softwares

## 4 Análises e Resultados

4.1 Configurações

4.2 Testes

4.3 Resultados

## 5 Conclusão

### 5.1 Conclusões

### 5.2 Trabalhos Futuros

## Referências

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 15 e 16.

DIGITAL, I. *Módulo RF Transmissor + Receptor 433mhz - Instituto Digital*. 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 17.

LICENSE, C. C. A.-S. . *Arduino - Introduction*. Acessado em: 12/08/2018. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>>. Citado na página 16.

M, S. K. Indian sign languages using flex sensor glove. *IJETT*, v. 4, p. 2478–2480, 2013. ISSN 2231-5381. Disponível em: <<http://www.ijettjournal.org/volume-4/issue-6/IJETT-V4I6P149.pdf>>. Citado na página 15.

OLIVEIRA, R. K. de. *Dedo em Gatilho - Dr. Ricardo Kaempf - Cirurgia de Mão e Microcirurgia*. Acessado em: 07/08/2018. Disponível em: <<http://www.ricardokaempf.com.br/services/dedo-em-gatilho/>>. Citado na página 15.