



Universidade Federal do Pará
Instituto de Tecnologia
Faculdade de Engenharia da Computação e Telecomunicações

BioGlove: Protótipo de um transdutor de flexão bioinspirado

Autor: Wederson Medeiros Silva

Orientador: Prof. Dr. Roberto Menezes Rodrigues

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

02 de Julho de 2019

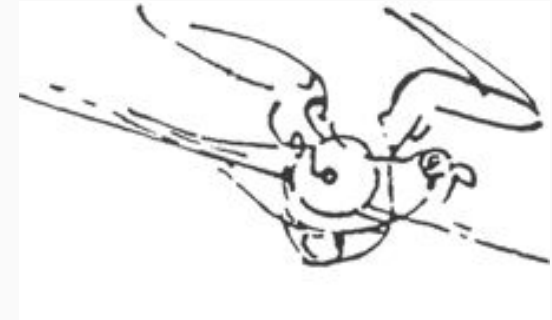
- Contextualização
- Referencial teórico
- Desenvolvimento do protótipo
- Resultados e análises
- Conclusão e trabalhos futuros

Contextualização

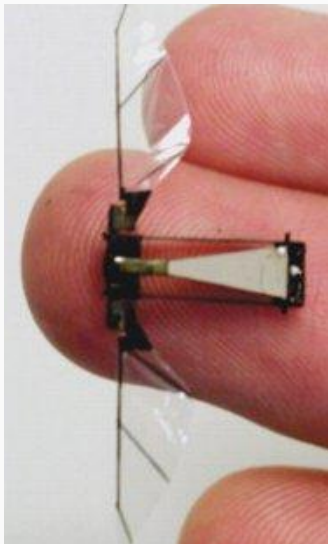
- **Biologia** usada como **inspiração**



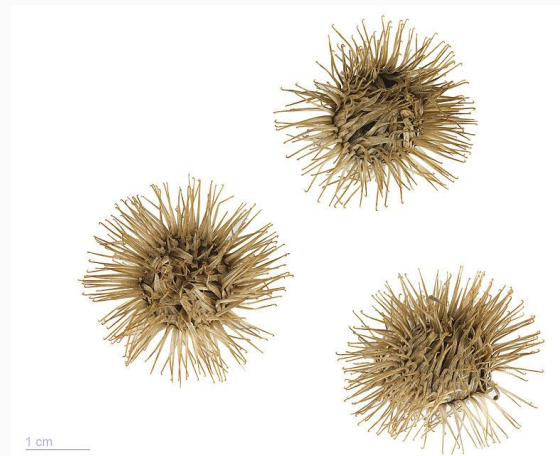
Archytas de
Tarentum
400 a.C.



Leonardo da Vinci
1506



Mosca



Bardana



VELCRO®

- Anatomia humana usada como **inspiração**



Toyota T-HR3



Ferramentas de **mão**



Dispositivos
móveis

- **Luvas** sensorizadas (*data gloves*)



5DT Data Glove Ultra



Realidade virtual

- **Luvas sensorizadas: aplicações**



Linguagem de sinais

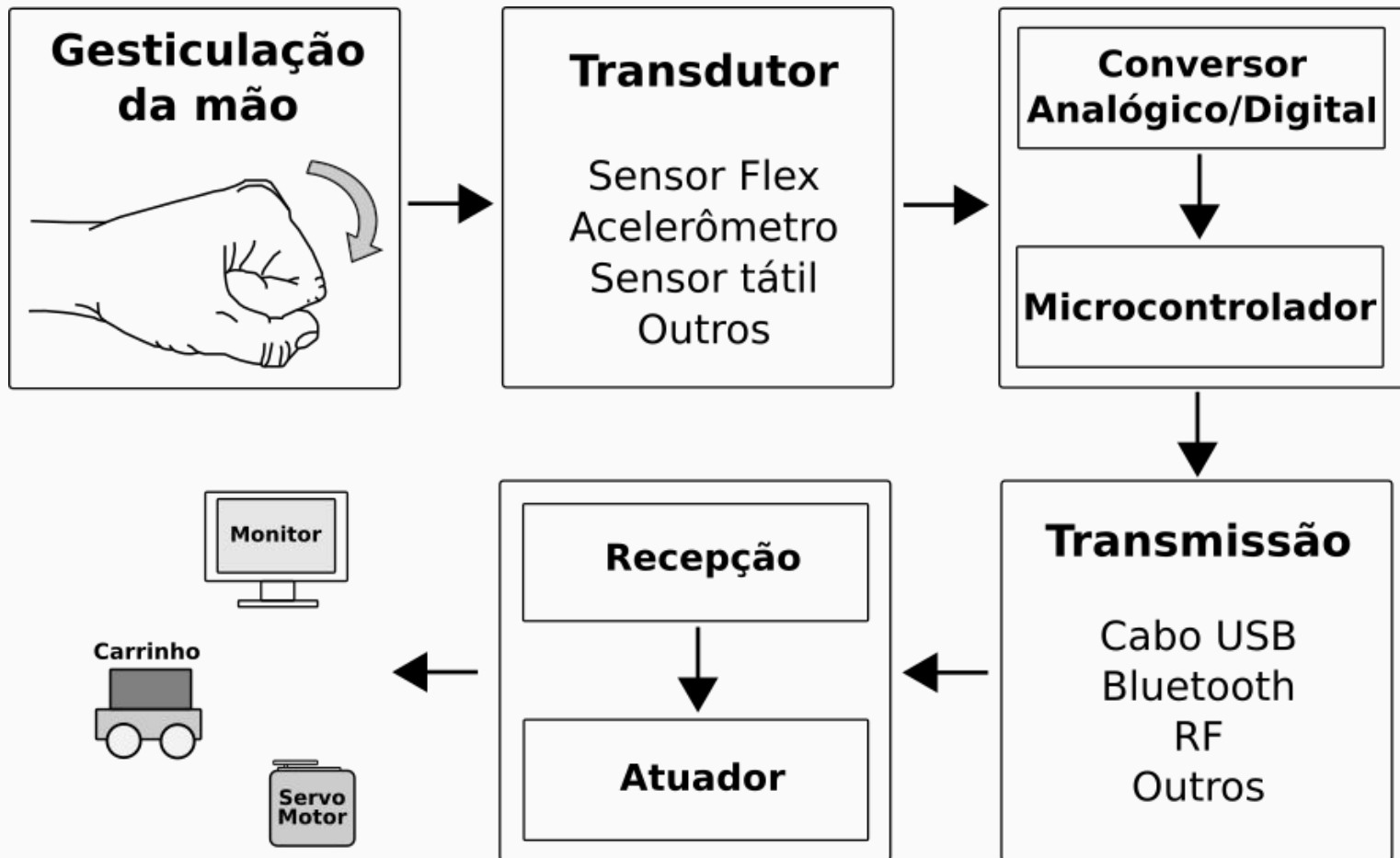


Reabilitação

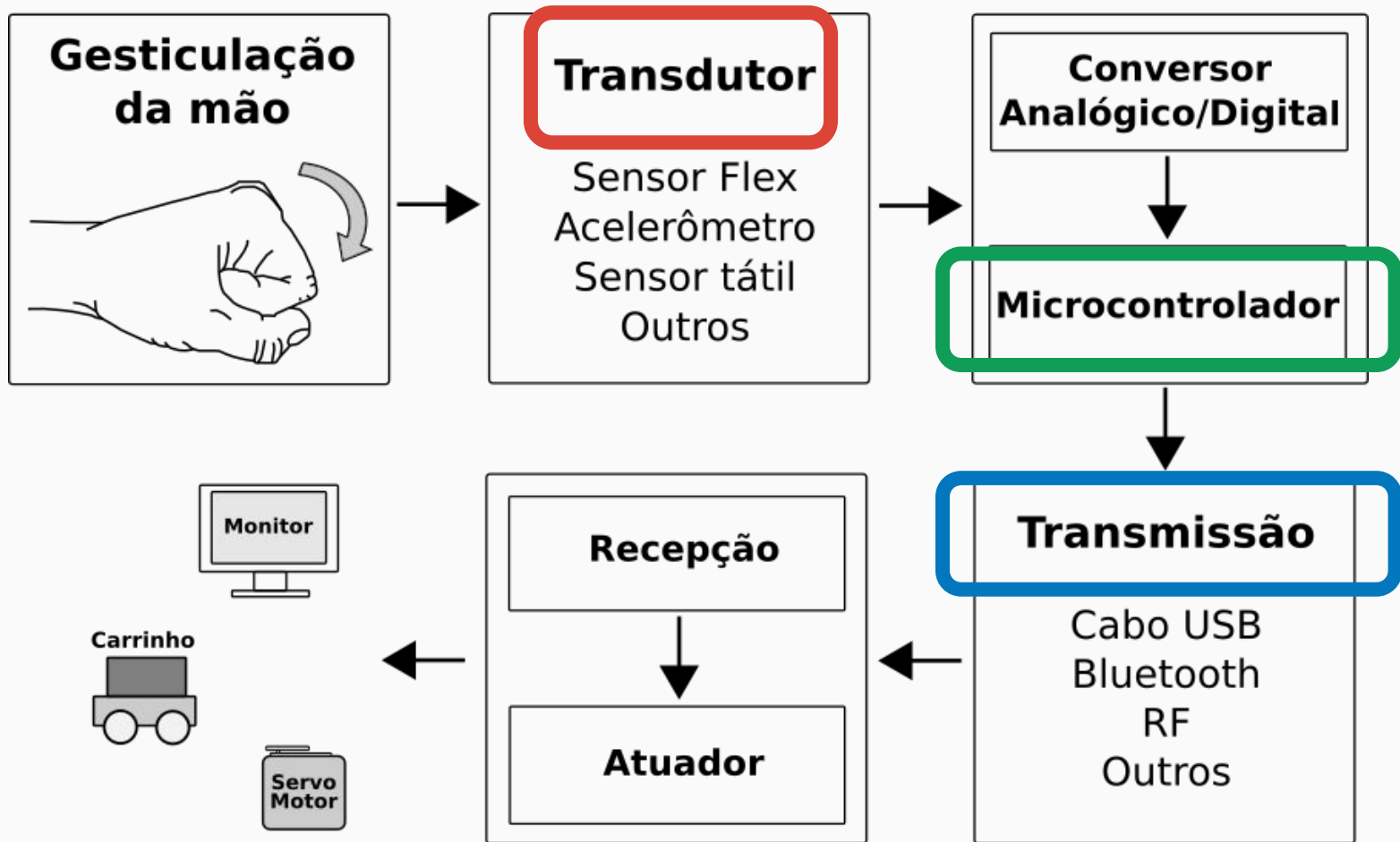
- **Apesar** das possibilidades...
 - O custo é elevado
 - A plataforma é fechada
 - O *Hardware* é imutável
- Objetiva-se **desenvolver**:
 - Uma luva de uso genérico
 - Com um sistema de transdução de baixo custo
 - *Software* e *hardware* de código aberto

Referencial Teórico

Funcionamento genérico de *data gloves*



Funcionamento genérico de *data gloves*



- Lei de Ohm

V = Tensão

R = Resistência

I = Corrente

$$\mathbf{V = R \cdot I}$$

- Lei de Ohm

Se a corrente (**I**) for constante

V = Tensão

R = Resistência

I = Corrente

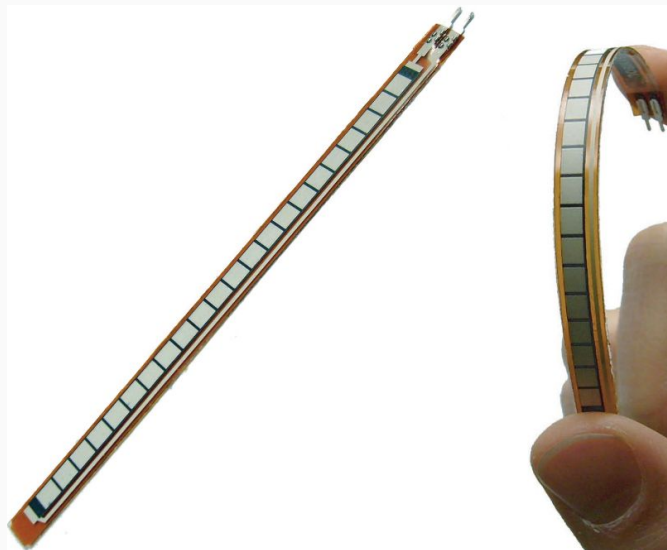
$$\begin{array}{c} \uparrow \\ \mathbf{V} \\ \downarrow \end{array} = \begin{array}{c} \uparrow \\ \mathbf{R} \\ \downarrow \end{array} \cdot \begin{array}{c} = \\ \mathbf{I} \\ = \end{array}$$

A tensão (**V**) varia de acordo com a variação da resistência (**R**)

- Sensores (transdutores) resistivos



LDR - Luz



Flexão



Potenciômetro
Rotação

- Sensores (transdutores) resistivos



LDR - Luz

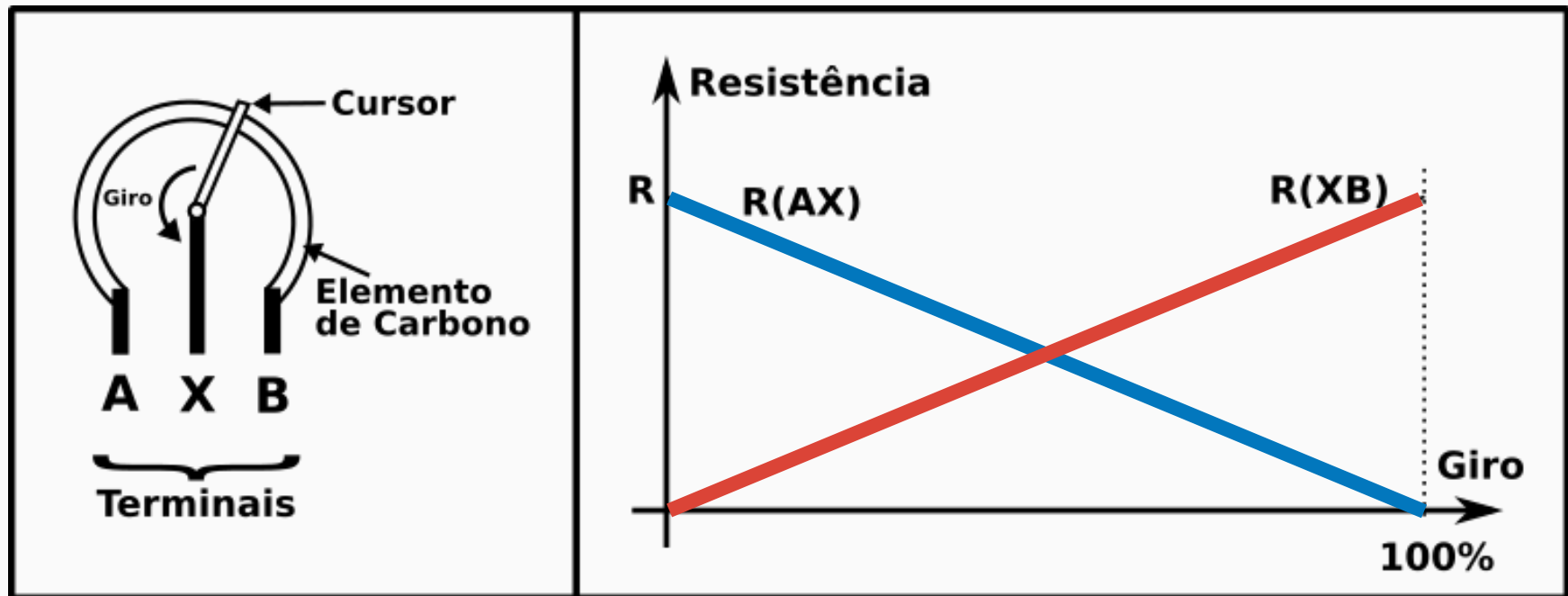


Flexão



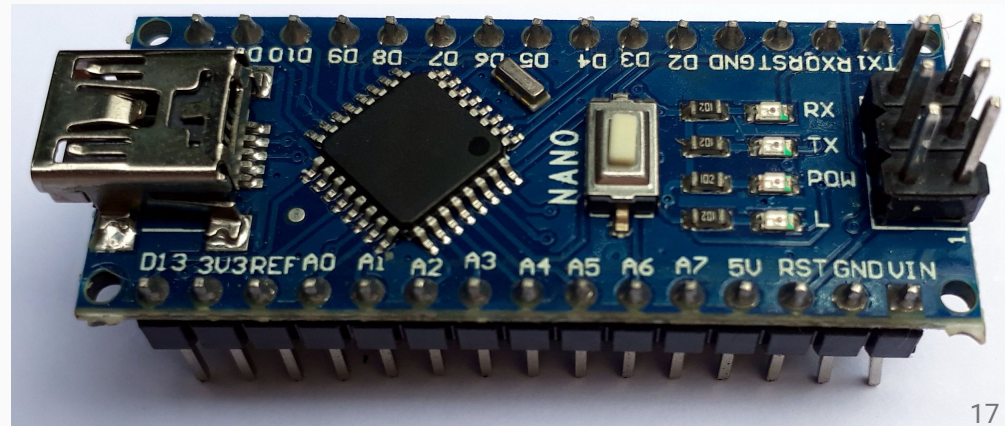
Potenciômetro
Rotação

- Potenciômetro e seu funcionamento

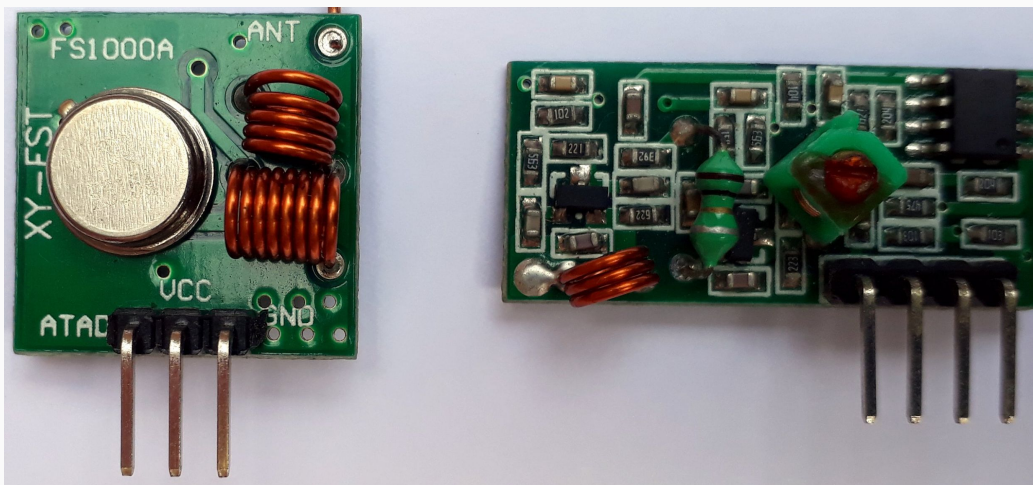


- Finalidade
 - Conversão de sinais A/D
 - Processamento de sinais
- Meios
 - Conexão e controle de periféricos
 - Programação via IDE

Placa
Arduino Nano



- Conexão direta através de fios
- Sem fio
 - Wi-Fi
 - Bluetooth
 - Rádio frequência (RF)

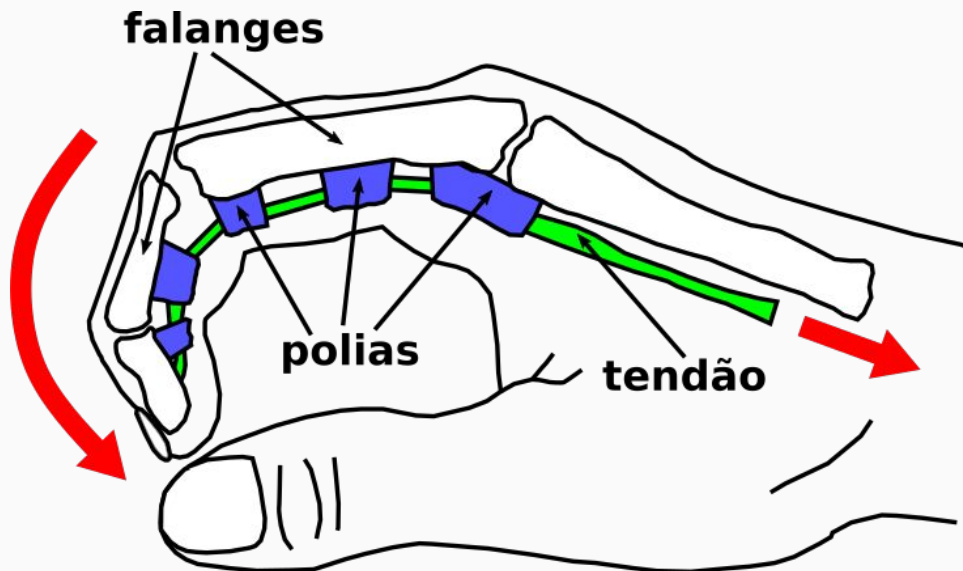


Par de módulos
RF 433MHz

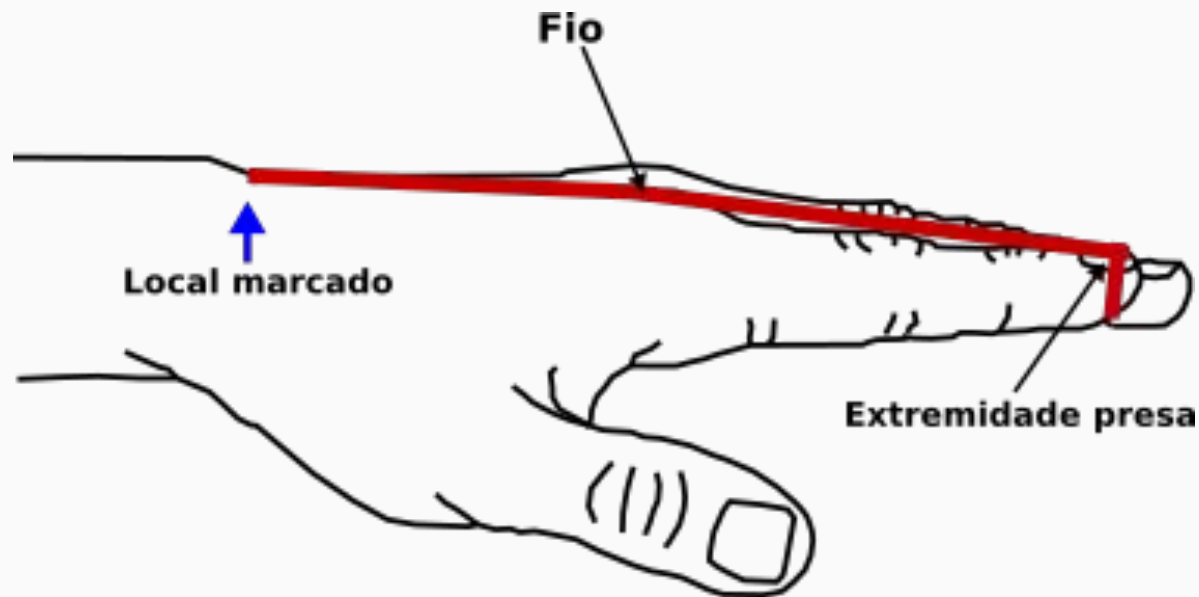
Desenvolvimento do protótipo

Transdutor de flexão

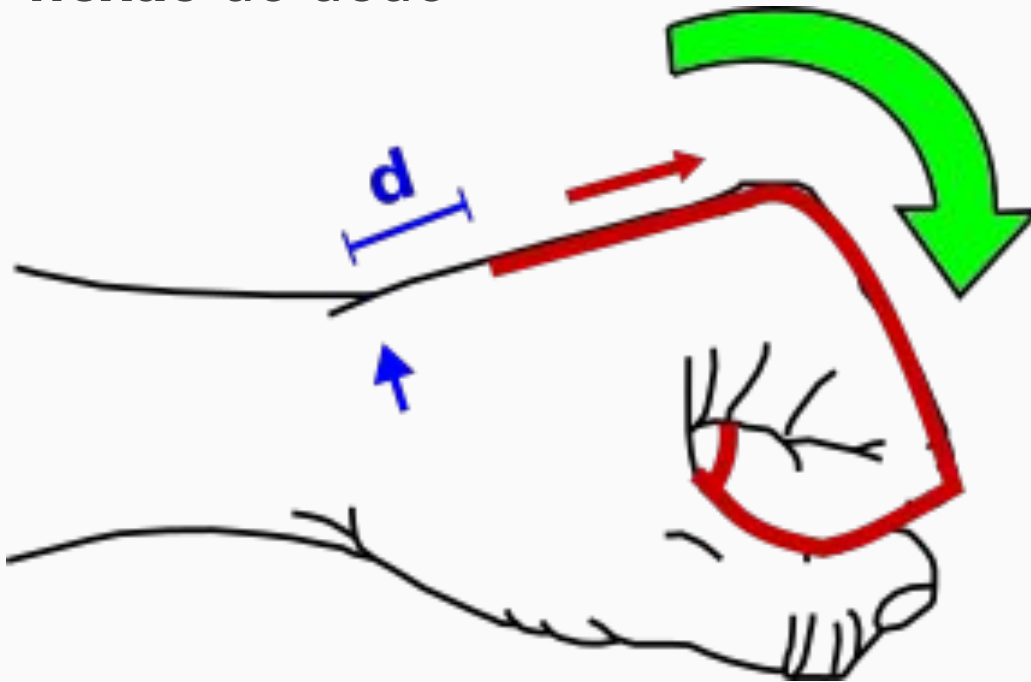
- Inspirado na biomecânica
 - Músculo contrai
 - Tendão puxa
 - Dedo flexiona



- Teoria
 - O fio se **desloca proporcionalmente** ao movimento de **flexão** do dedo

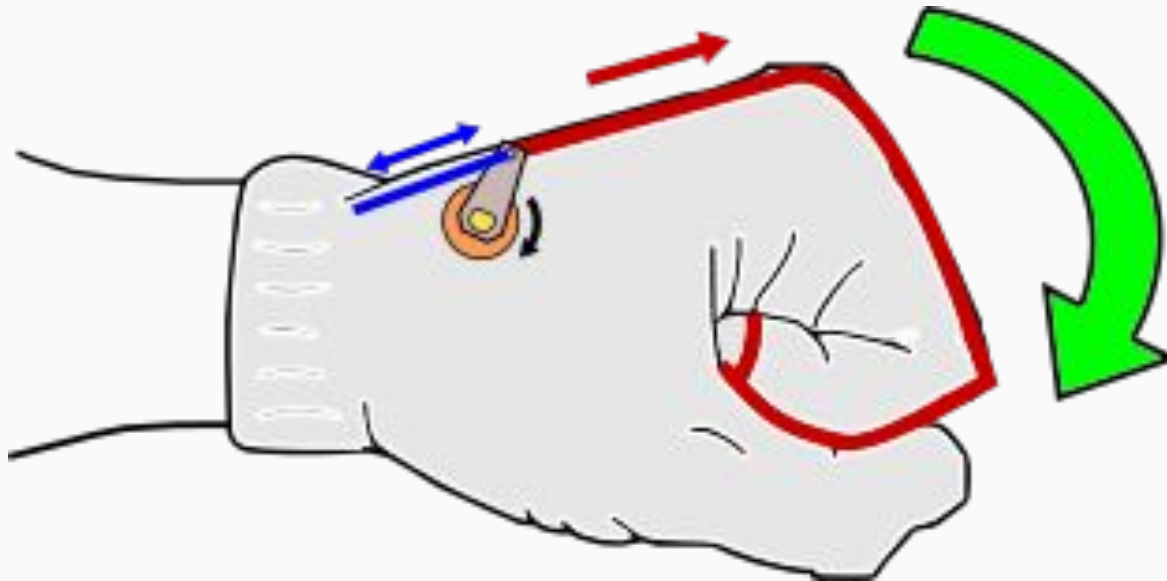


- Teoria
 - O fio se **desloca proporcionalmente** ao movimento de **flexão** do dedo

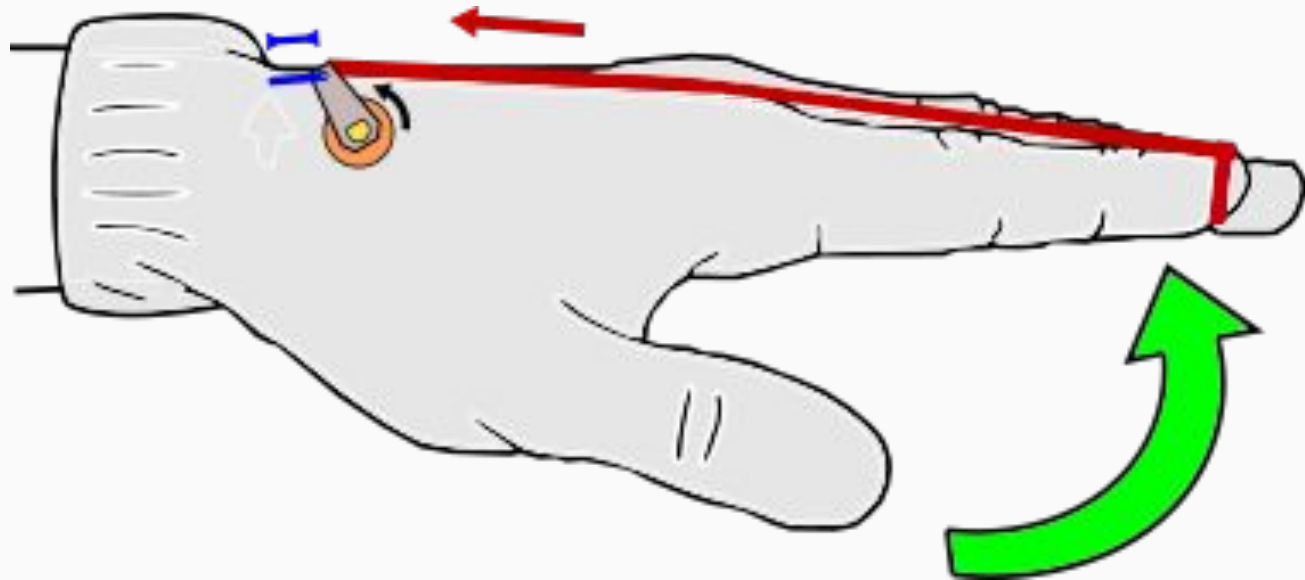


- Baseado no **deslocamento**, a partir do uso de **potenciômetros**
- Instalar o sistema em uma **luva**
 - Proteção da pele
 - Conforto
 - Estabilidade
 - Uso facilitado
- **Problema**
 - Somente uma flexão

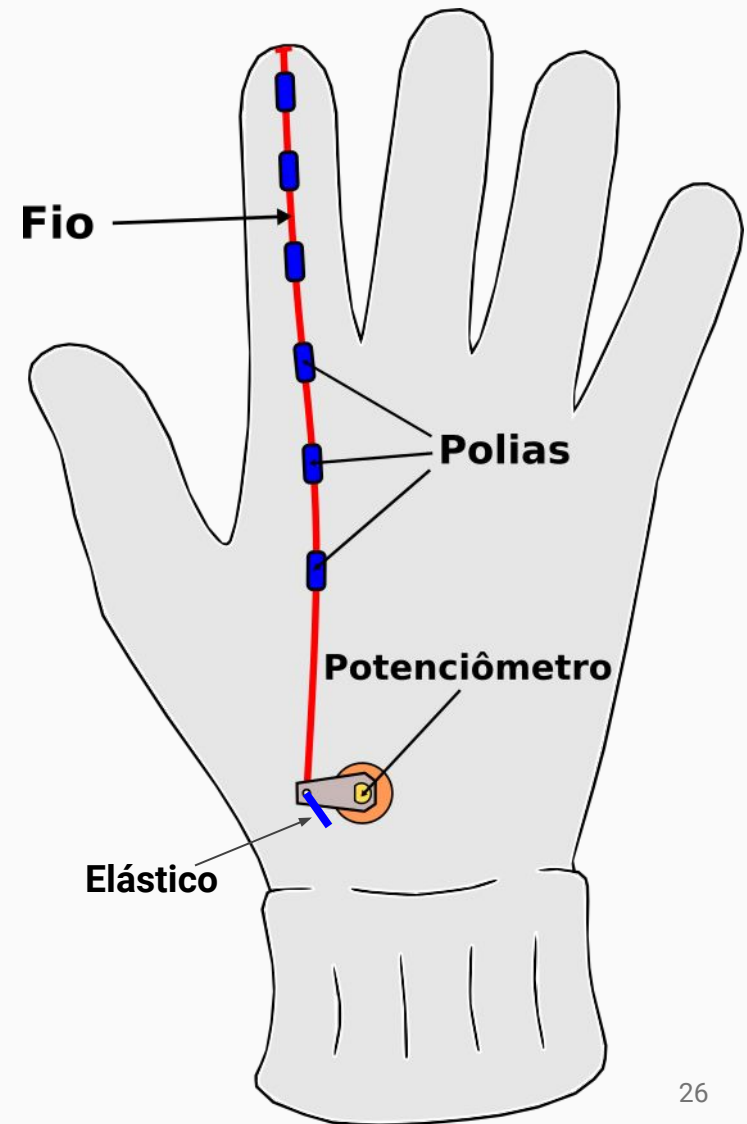
- Uso de um componente **elástico**



- Uso de um componente **elástico**



- Resultado esperado
 - Polias guiando o fio
 - Potenciômetro na ponta
 - Elástico mantém a tensão



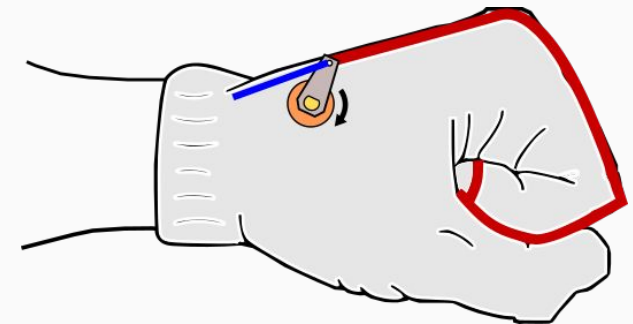
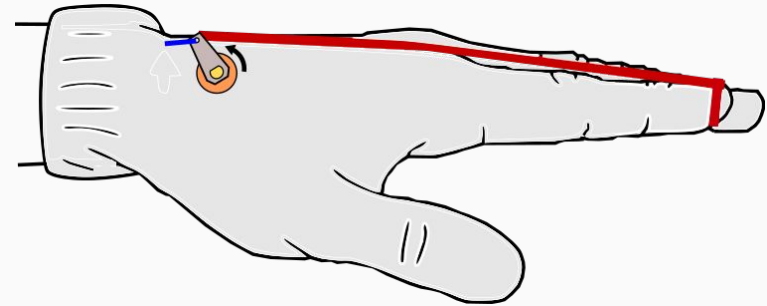
- Usando o microcontrolador
 - Sinal do transdutor
 - Originalmente analógico
 - Convertido para digital
- Requisitos
 - Organizar sinais para diferenciá-los entre si
 - Definir pontos máximo e mínimo de flexão para usar como referência

- Padrões de referência



Numeração dos dedos

**Posição A
(extendidos)**

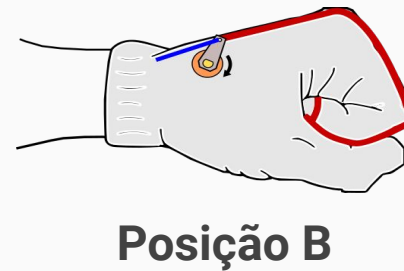


**Posição B
(flexionados)**

- Operação para definir uma relação entre os valores de um equipamento (sensor) e uma referência (flexões extremas)
- Motivações:
 - Potenciômetros diferentes
 - Mesma posição = valores diferentes
 - Giro parcial do cursor
 - Instabilidade na leitura
 - Dedos de tamanhos diferentes

- Procedimento em cada dedo:

1. Captura de valores nas posições A e B



2. Calcula o **deslocamento**:

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

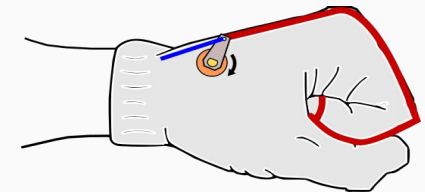
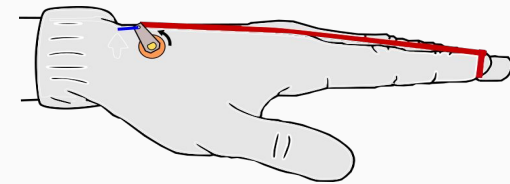
3. Calcula a **resolução**:

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

- Resolução máxima do protótipo:

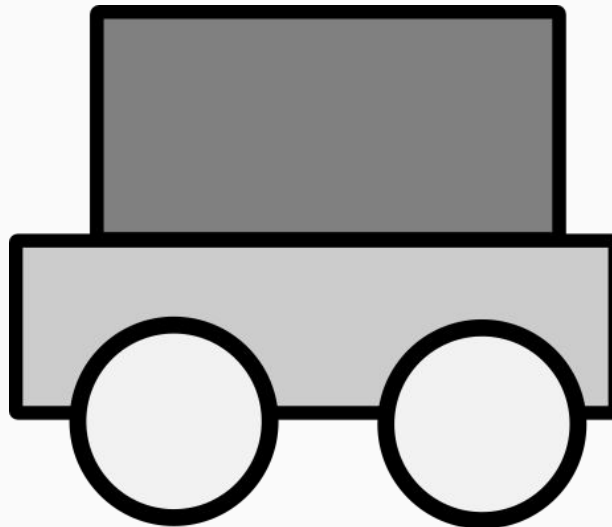
Dedo	PosA	PosB	Δ Pos	NPos
1	191	616	+425	426
2	140	609	+469	470
3	774	360	-414	415
4	728	475	-253	254
5	670	367	-303	304

Posição A

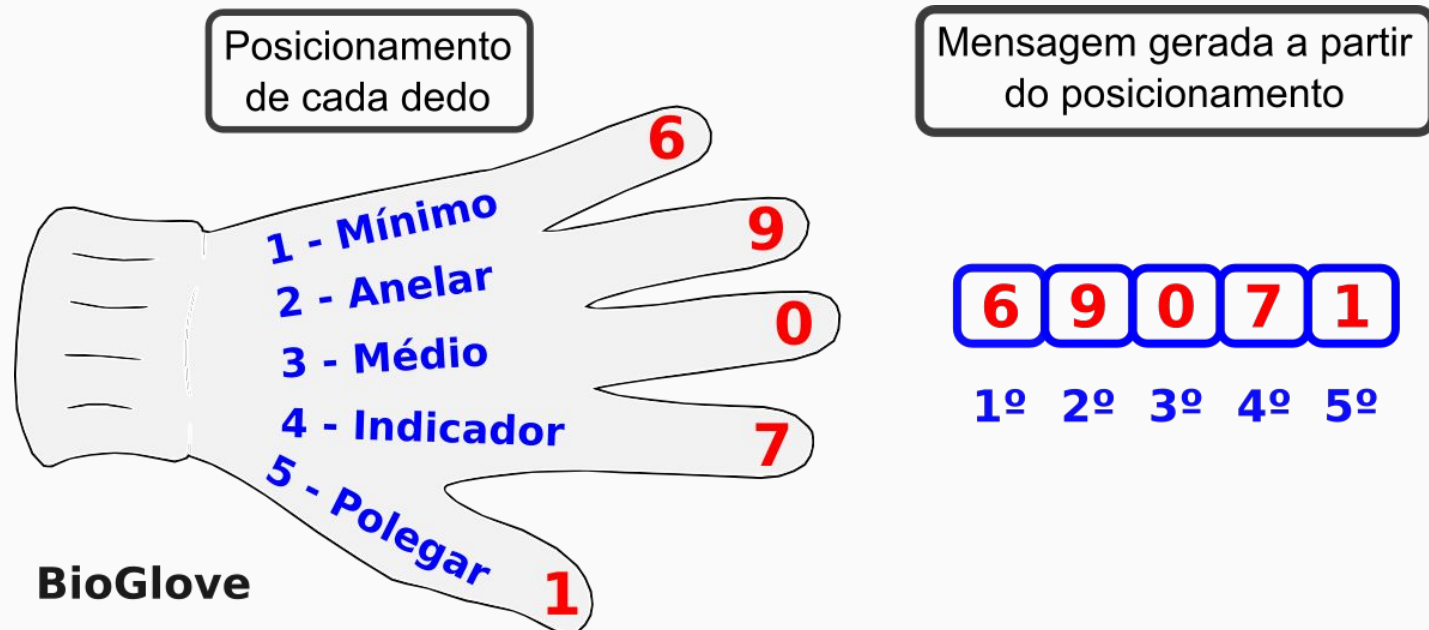


Posição B

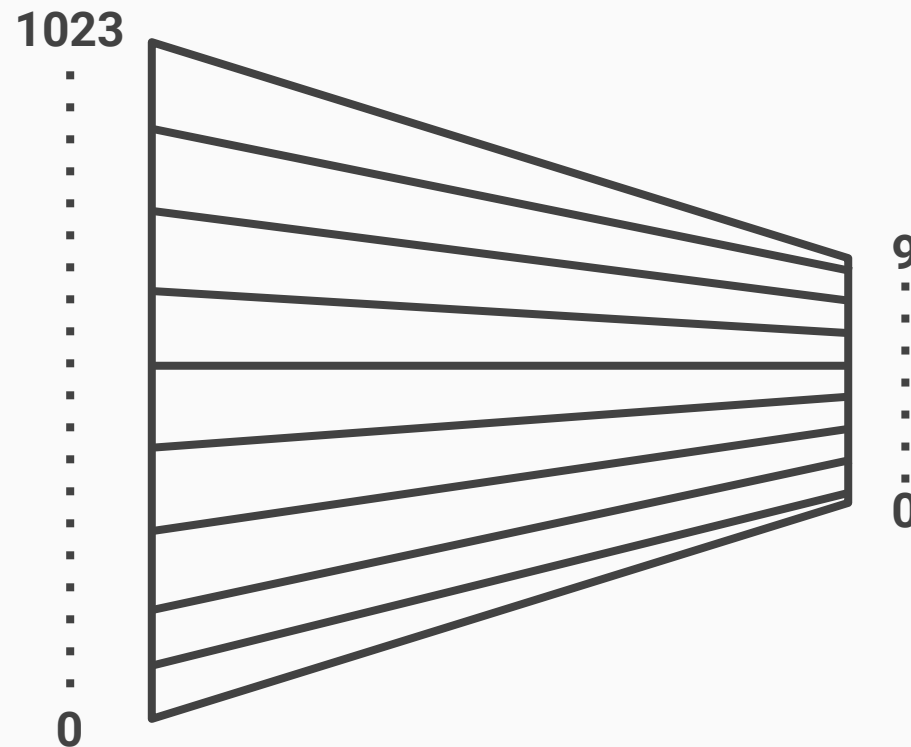
- Controle **sem fio** de um **carrinho** eletrônico
 - Protocolo de **comunicação**
 - Protocolo de **controle**
 - *Software* de recepção



- Aplicação **não exige** alta resolução
 - Simplificado (**5 dígitos**)
 - 2 informações: número (qual o dedo) e valor (do dedo)
 - Variações positivas (**+**)
 - Intervalo de **μs** entre mensagens



- Informação em apenas **1 dígito**
 - Perda de resolução (**não prejudica** a aplicação)
 - Remapear (0 - 1023) para (0 - 9)

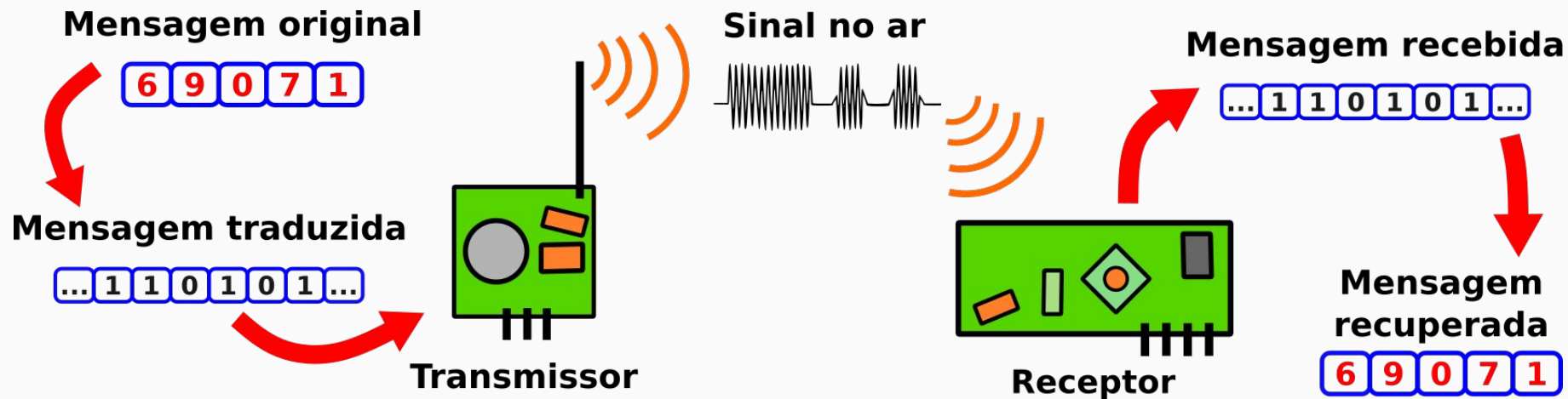


- Função “nmap” **remapeia** e **inverte** saída
- Valores de A para B e seu remapeamentos (R)

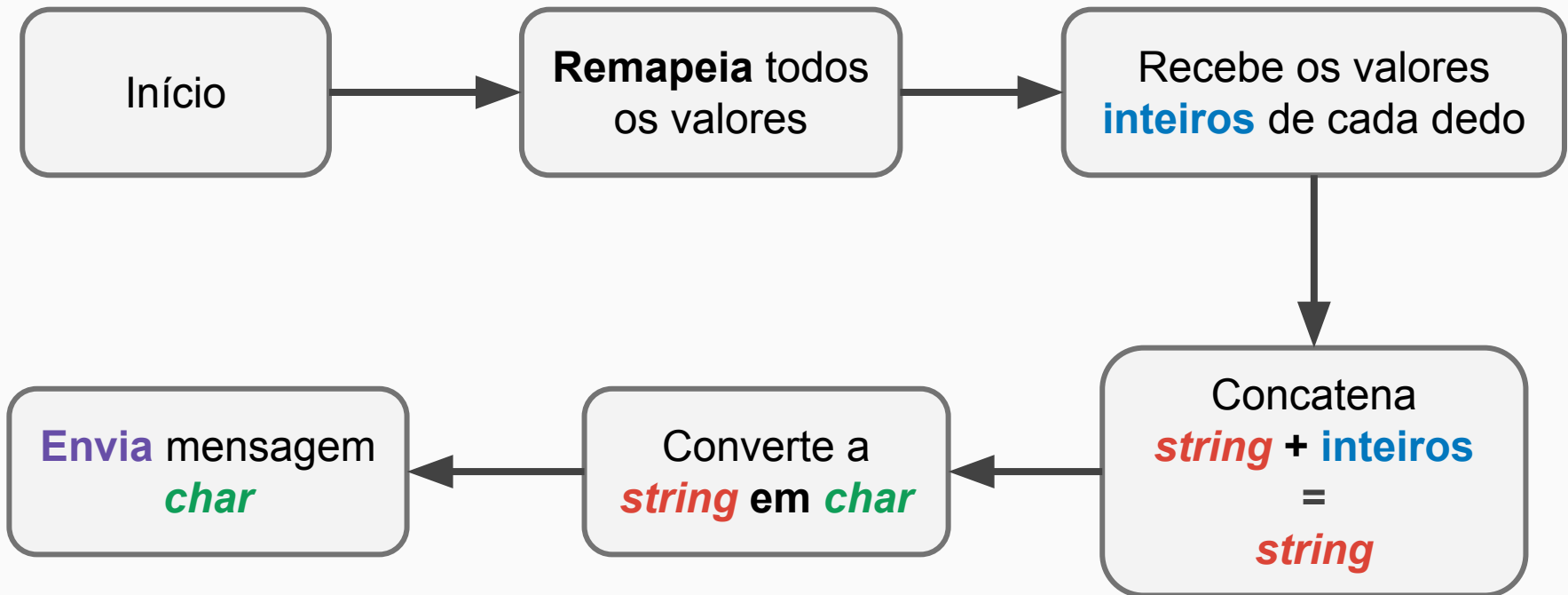
Dedo	PosA (RA)	PosB (RB)	Δ Pos (Δ R)	NPos (NR)
1	191 (1)	616 (5)	+425 (+4)	426 (5)
2	140 (1)	609 (5)	+469 (+4)	470 (5)
3	774 (3)	360 (6)	-414 (+3)	415 (4)
4	728 (3)	475 (5)	-253 (+2)	254 (3)
5	670 (4)	367 (6)	-303 (+2)	304 (3)

Transmissão, controle e recepção

- Biblioteca **VirtualWire** necessária
- Modelo de transmissão e recepção da mensagem



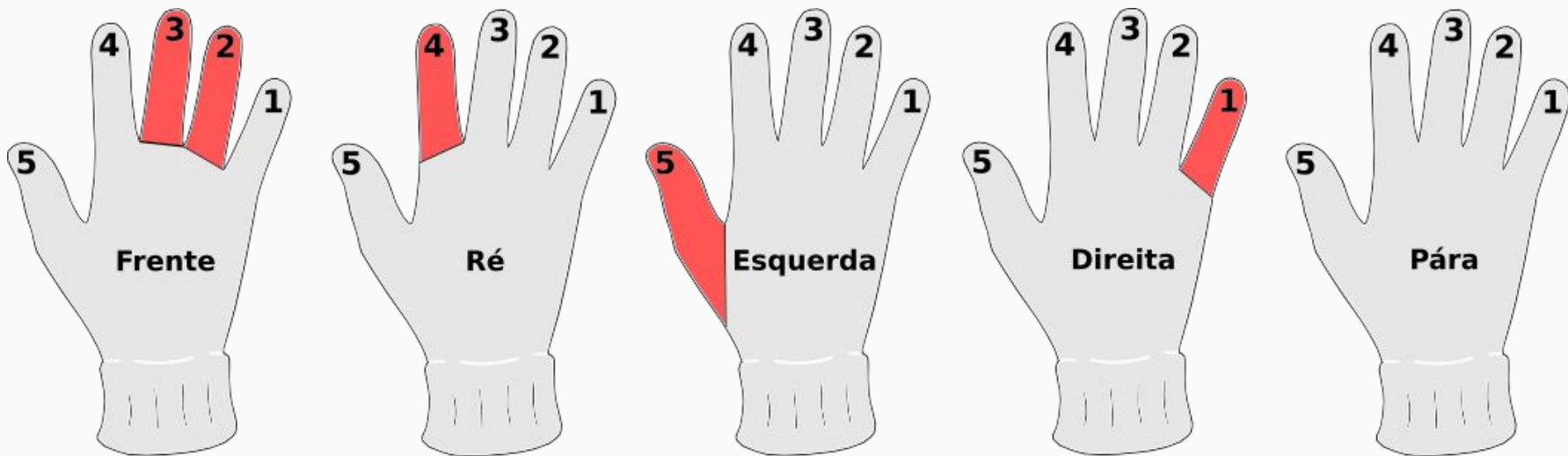
- Embarcado na luva
- Fluxograma de transmissão



Protocolo de controle

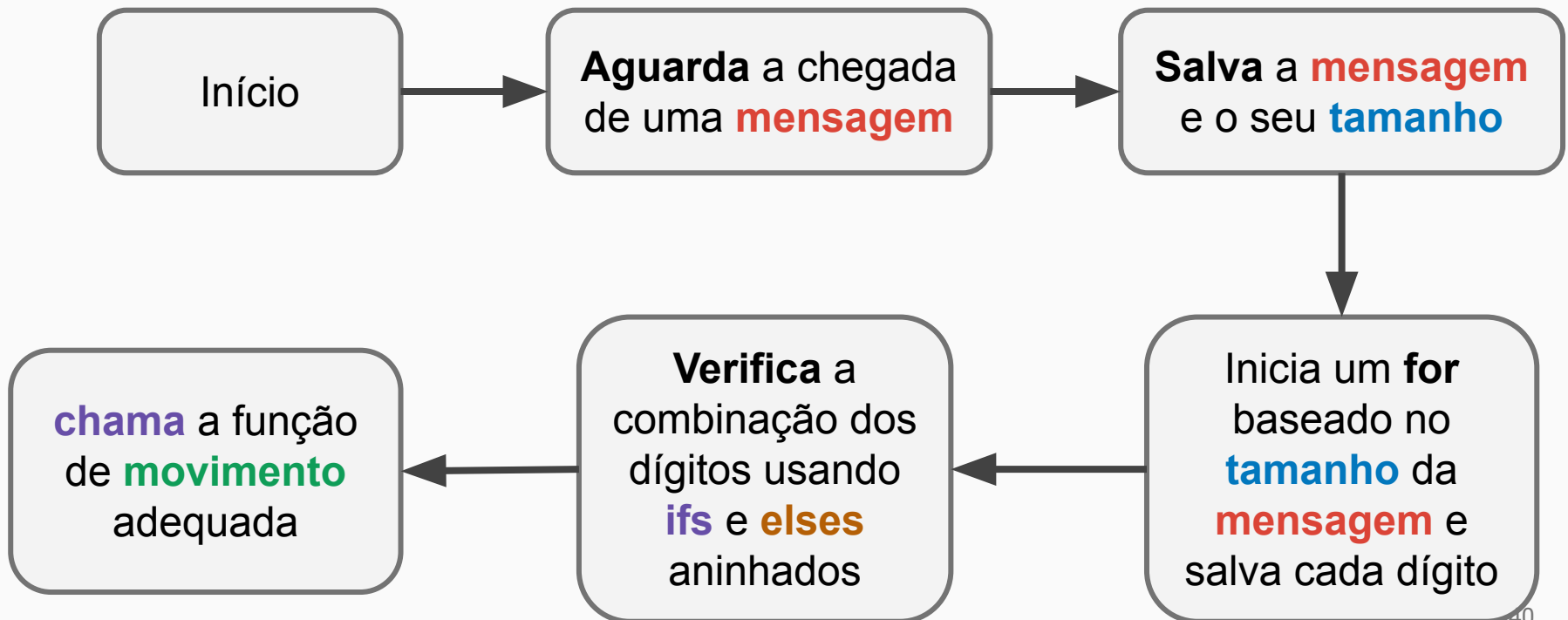


- 5 gestos pré-definidos
- 5 comandos
- Correspondência gesto/comando *



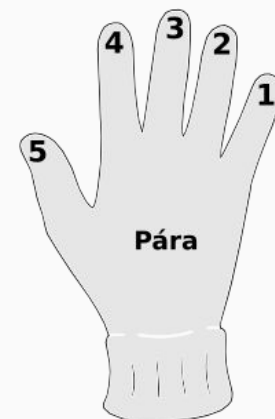
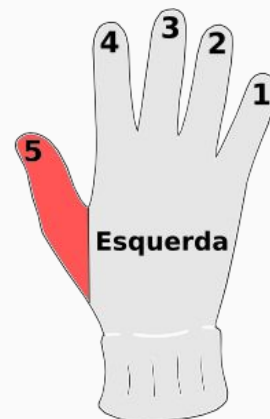
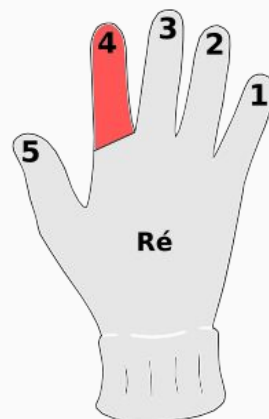
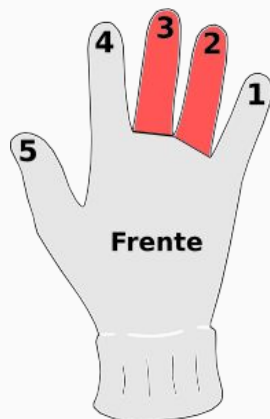
* Dedos flexionados em **vermelho**

- Recupera a **mensagem**
- Processa e chama a função de **movimento**
- Fluxograma de recepção



- Comparação entre a Tabela 3 e a definição do protocolo

Dedo	Frente	Trás	Esquerda	Direita	Para
Mínimo - 1	< 2	< 2	< 2	> 1	-
Anelar - 2	> 1	< 2	< 2	< 2	-
Meio - 3	> 3	< 4	< 4	< 4	-
Indicador - 4	< 4	> 3	< 4	< 4	-
Polegar - 5	< 5	< 5	> 4	< 5	-



- Verificação de mensagem através da Tabela 3

Dedo	Frente	Trás	Esquerda	Direita	Para
Mínimo - 1	< 2	< 2	< 2	> 1	-
Anelar - 2	> 1	< 2	< 2	< 2	-
Meio - 3	> 3	< 4	< 4	< 4	-
Indicador - 4	< 4	> 3	< 4	< 4	-
Polegar - 5	< 5	< 5	> 4	< 5	-

- Mensagem “Frente”

○ 1 3 4 2 2 OK

○ 1 1 4 2 2 X

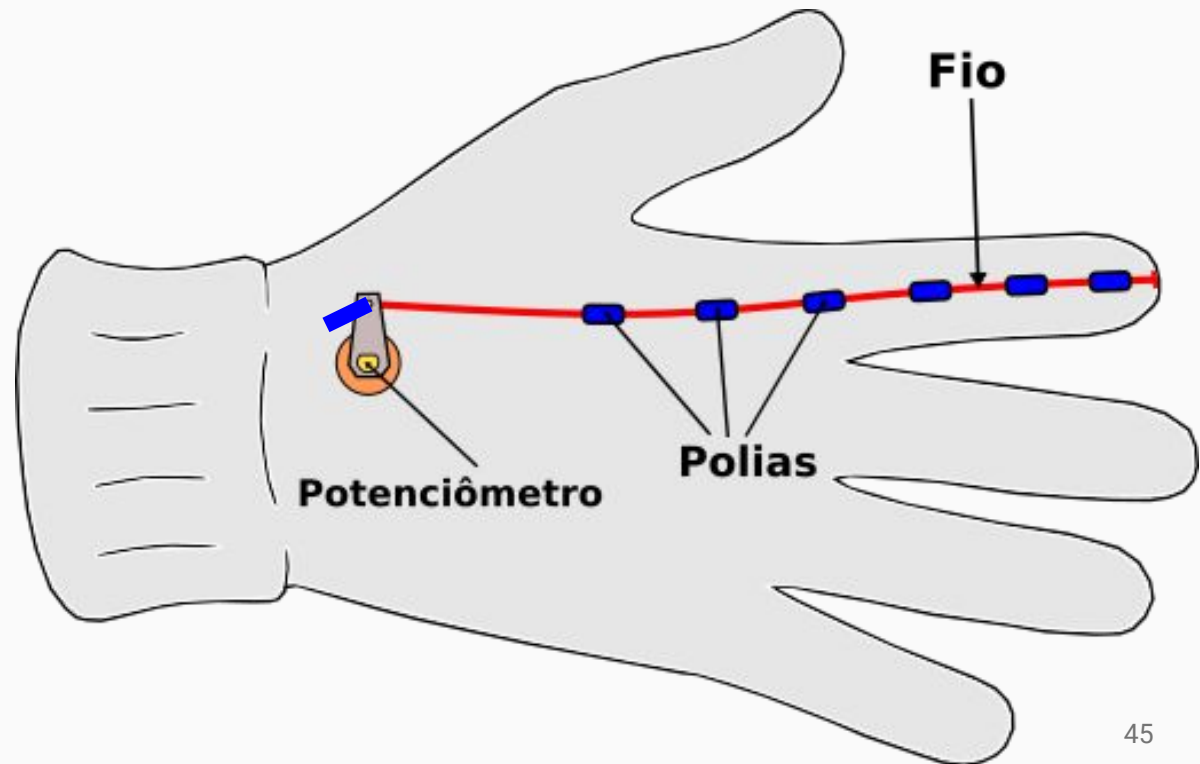
Montagem do protótipo

- Móvel
- Leve
- Alimentado por bateria
- Caber no dorso da mão
- Menor custo
- Fácil reprodução
- Permitir adaptações

Transdutor de flexão

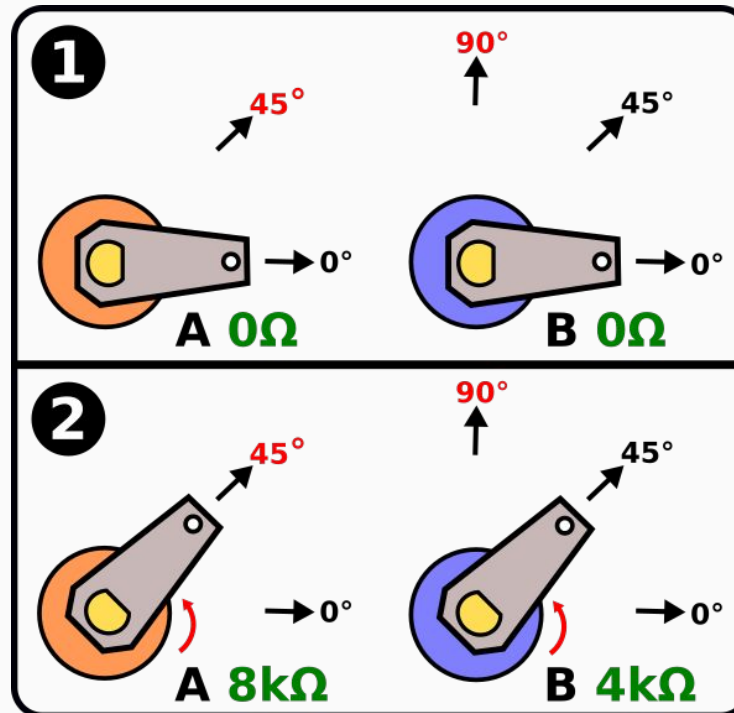


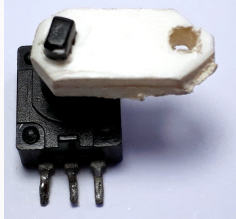
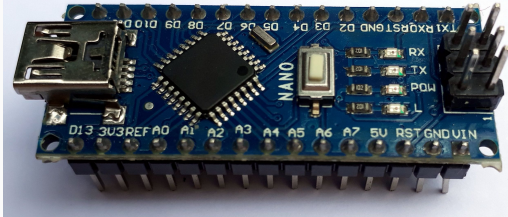
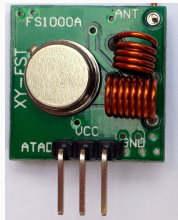
- Potenciômetro (posição estimada)
- Luva de algodão
- Polias plásticas costuradas
- Fio de náilon
- Elástico



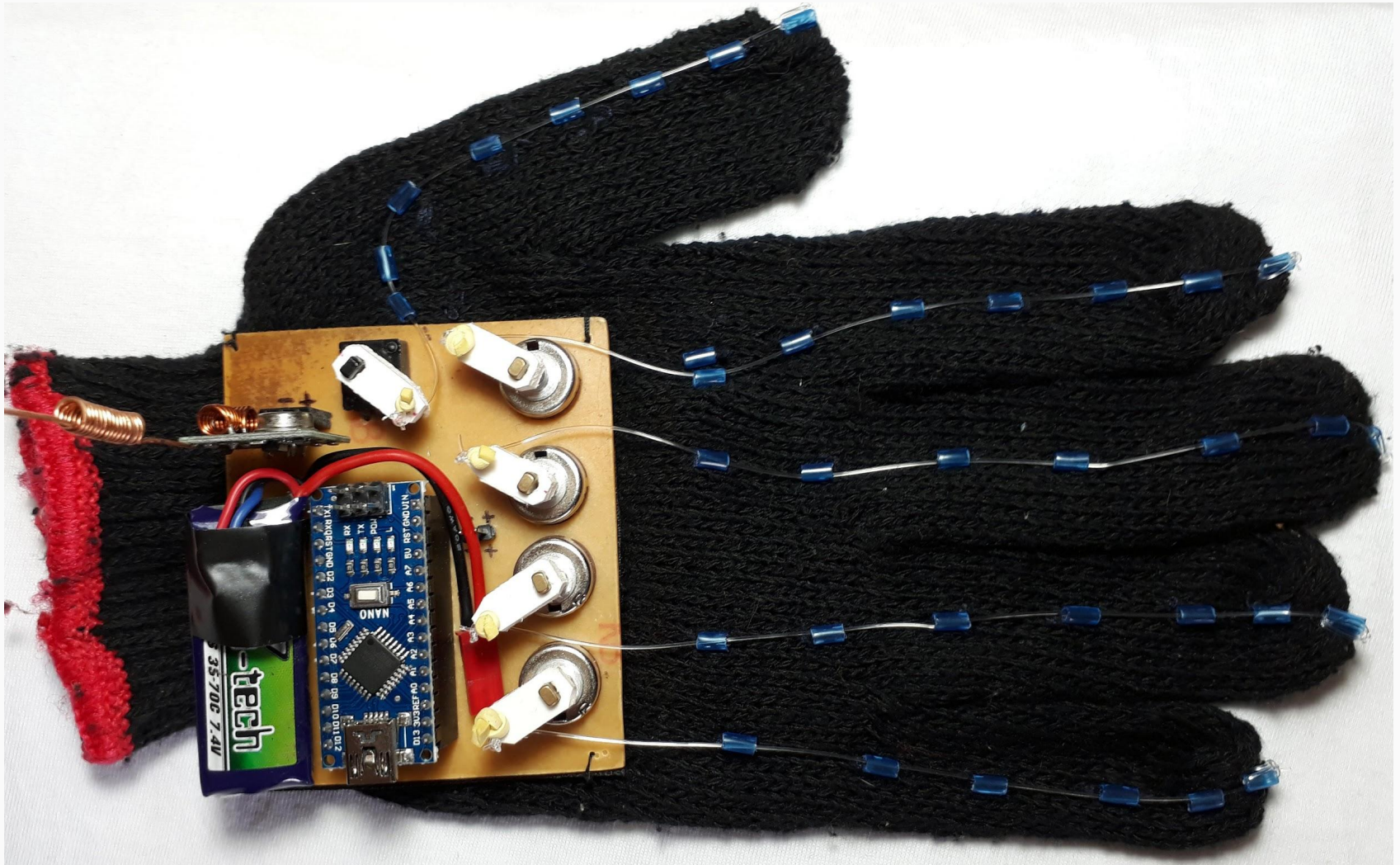
Resultado esperado
para um dos dedos

- Requisitos do **potenciômetro**
 - Pequeno
 - Cursor de fácil giro
 - Maior variação de resistência/ângulo



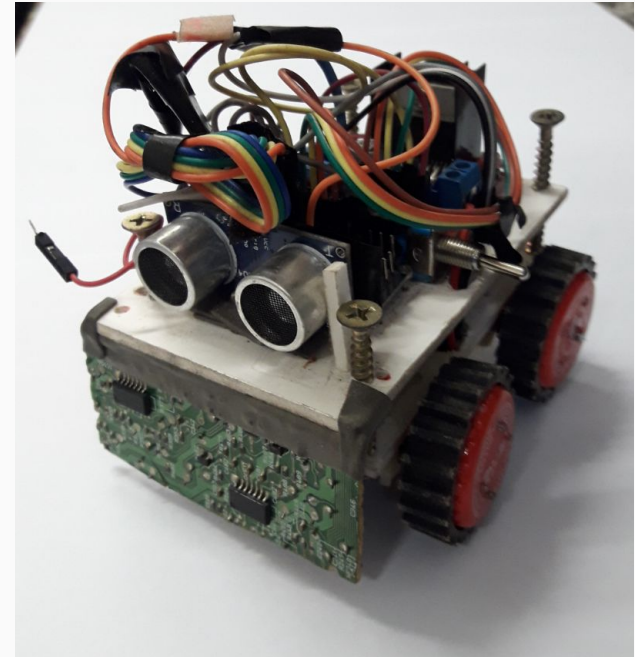
Componente	Características	Imagem
Potenciômetro	13mm x 13mm; Resistência de 5k Ω ; 200° de giro máximo;	
Microcontrolador Arduino Nano	45mm x 17mm; Vasta documentação; Ampla disponibilidade;	
Módulo transmissor	Ampla disponibilidade; Baixo custo; Funciona na faixa de 433MHz;	
Bateria	LiPo recarregável; 45mm x 12,5mm; Tensão de 7,4V; Capacidade de 300mAh;	

Protótipo concluído



Resultados e análises

- Controle remoto de um carrinho eletrônico

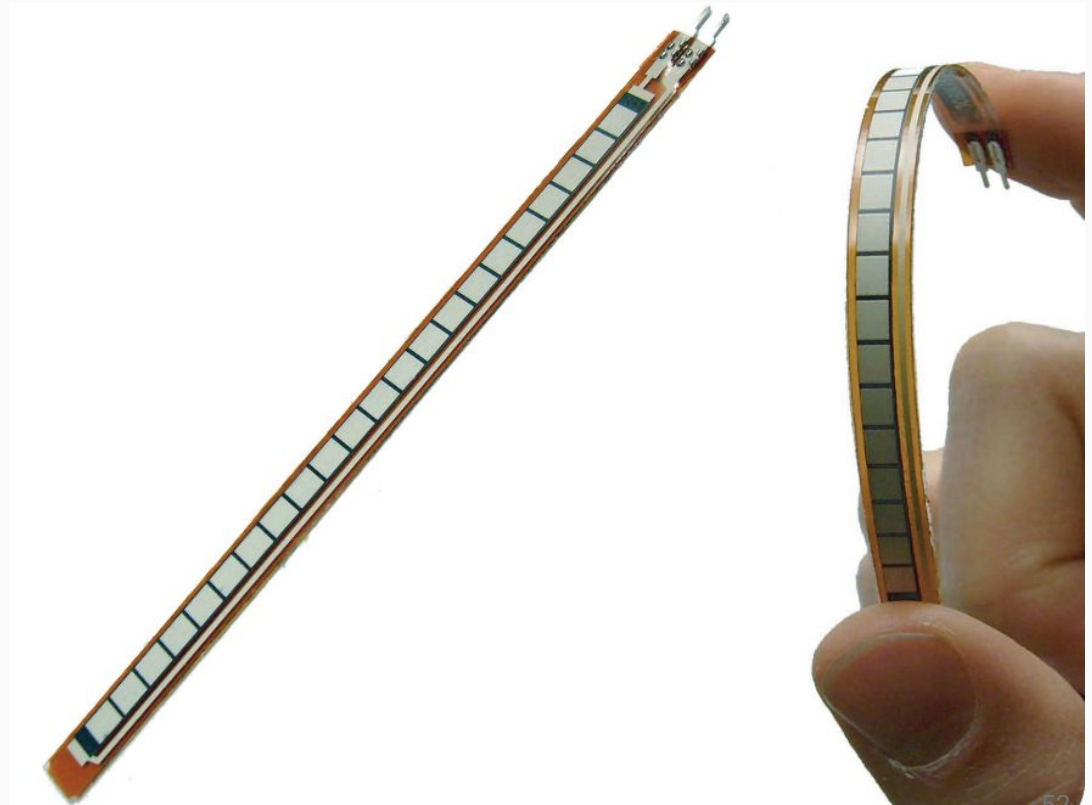


- Correspondência entre gestos e ações

- Sensibilidade do sensor
- Autonomia do sistema
- Alcance da transmissão sem fio

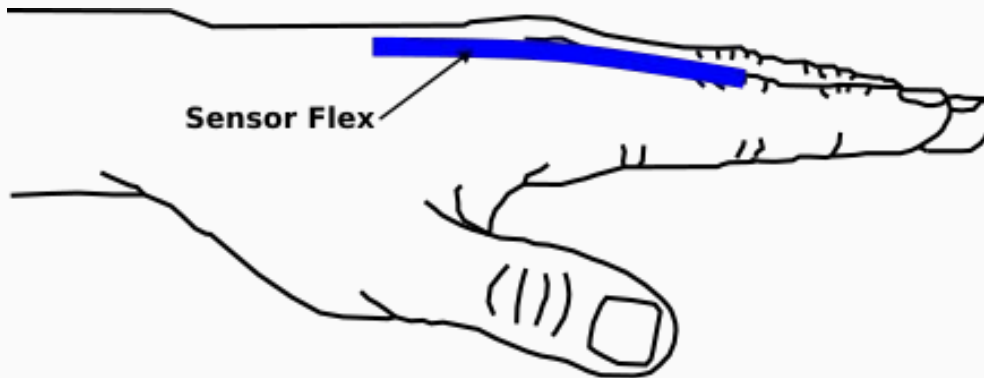
- Quesito a ser **avaliado**: Resolução do sensor (0° e 90°)
- Compara com sensor de (RAJAMOHAN; R.; M., 2013)

Sensor de flexão
comercial

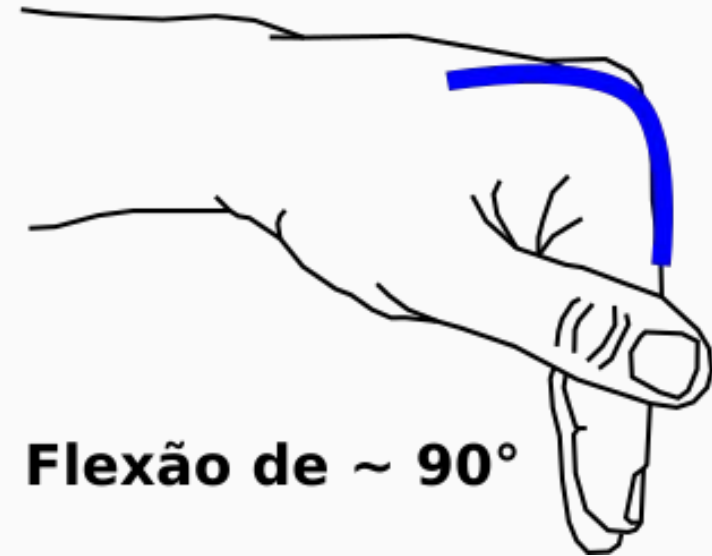


Sensibilidade do sensor

- 2 posições-padrão no teste
- Dedo polegar não é flexionado



Flexão de $\sim 0^\circ$



Flexão de $\sim 90^\circ$

- Os valores digitais das posições 0° e 90° apresentados em ambos os trabalhos entraram nas equações

$$\Delta Pos = Pos90 - Pos0 \quad (4.1)$$

$$NPos = | \Delta Pos | + 1 \quad (4.2)$$

- Dessa forma, foram obtidos os **níveis de sensibilidade** de cada sensor

- A **Tabela 4** reúne os valores obtidos e calculados

Posições	Comercial		Bioinspirado - BioGlove			
	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

- BioGlove vs 4,5": **Anelar, Médio, 4,5", Indicador, Mínimo**
- BioGlove vs 2,5": **Anelar, Médio, Indicador, 2,5", Mínimo**

- A **Tabela 5** reúne o desempenho das 3 luvas

Luva	Alimentação	Capacidade	Duração
Luva sensorizada	1 bateria-botão 3V	1000 mAh	1 semana
Luva de baixo custo	2 pilhas AA 3V	5740 mAh	60 horas
BioGlove	1 LiPo 7,4V	300 mAh	10 horas

- **BioGlove** com **menor duração**
- **Menor** capacidade
- Melhor eficiência energética?

- A **Tabela 6** reúne o desempenho das 3 luvas

Luva	Tecnologia	Faixa	Alcance
Data Glove 5 Ultra	Bluetooth	2,4 GHz	20 metros
PERCRO Dataglove	Bluetooth	2,4 GHz	10 metros
BioGlove	Rádio frequência	433 MHz	7,5 metros

- **BioGlove** com **menor alcance**
- Tecnologia **diferente**
- Com Bluetooth seria melhor?

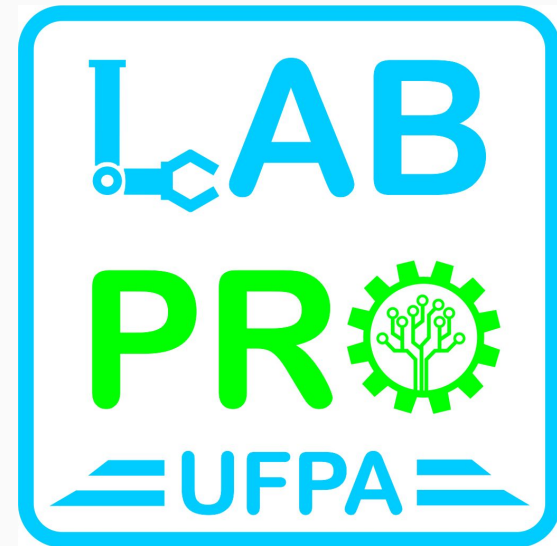
Conclusão e trabalhos futuros

- Aplicação funcional
- Seu hardware e software são abertos e adaptáveis
- Protocolos reutilizáveis
- Nos testes
 - O sensor bioinspirado se equiparou a um comercial
 - Passível de melhorias
 - A duração da bateria foi curta
 - Necessita de testes de eficiência energética
 - O alcance foi curto mas próximo ao de outra luva
 - Cabe investigação sobre potência e/ou tecnologia

- Investigar outros materiais para a luva
- Pesquisas focadas no desempenho mecânico
- Melhorias na eficiência energética (*hardware* e *software*)
- Desenvolver funções de calibração automática
- Aumentar taxa de transmissão para aplicações complexas
- Acrescentar transdutores visando novas funcionalidades



**Laboratório de
Eletromagnetismo
Aplicado**



**Laboratório de
Prototipagem, Robótica e
Otimização**