



Desenvolvimento e controle de bioprótese robótica (BIOBOT 4RM)

Josiane Campos da Silva
jcampos_inf@hotmail.com
ETPC

Fernando Antonio Azevedo Pereira
fernando.antonio@venkonconsultoria.com
UFF

Resumo: O desenvolvimento de novas próteses robóticas experimentais está permitindo que pessoas com membros amputados possam recuperar, de certa forma, o sentido do tato. Este artigo tem por objetivo descrever um protótipo de prótese servo-controlada a partir de movimentos humanos por meio de uma luva sensorial. A transmissão dos movimentos da mão humana para a prótese é feita a partir de sensores flexíveis, dispositivos eletrônicos que oferecem extrema precisão na medição, logo, o movimento feito pela prótese é totalmente semelhante ao antropomórfico-executado. O enfoque deste artigo não mora na funcionalidade individual dos componentes, mas em sua correlação na construção de um instrumento biorrobótico. Objetivando baixo custo, porém com qualidade, utilizou-se de impressão 3D para a elaboração da estrutura. Além disso, o controle feito por luva de sensores flexíveis destacou-se nas decisões por se tratar de um sistema de fácil compreensão, construção e manuseio, não só pelo desenvolvedor, mas também pelo usuário. Neste trabalho será apresentado a combinação funcional dos sensores flexíveis e servo-motores no controle da prótese. Esse sistema permitiu que funções como calibragem e automatização, tornem possível uma adaptação do braço protético a diferentes usuários sem a necessidade da construção de um novo esqueleto. Além disso, será apresentada a rede de comunicação entre o sistema e o Arduino por módulos Bluetooth.

Palavras Chave: arduino - protese - luva sensorial - deficiente -

1. INTRODUÇÃO

O presente artigo apresenta o desenvolvimento e implementação de uma prótese servo-controlada por meio de uma luva sensorial. Nesta perspectiva constitui-se duas abordagens: a otimização econômica, e o crescimento de mecanismos protéticos promovendo a inclusão social. Quando se fala em próteses de baixo custo, observa-se a necessidade de uma evolução neste estudo. De acordo com Silva (2016), as próteses possuíam alto custo devido a tecnologia cara e acessível até os anos 2000 e nas últimas décadas as impressoras 3D têm mudado este aspecto.

A necessidade de aplicações robóticas para que cidadãos recuperem a sua mobilidade no Brasil, impulsionou este estudo. De acordo com o Censo de 2010 do IBGE, mais de 45 milhões de pessoas possuem algum tipo de deficiência, o que representa mais de 20% da população. Segundo Teixeira (2017), os números de deficientes motores são exorbitantes a ponto de serem subdivididos em três grupos: ‘Deficiência motora – não consegue de modo algum (734.421 pessoas)’; ‘Deficiência motora – grande dificuldade (3.698.929 pessoas)’; ‘Deficiência motora – alguma dificuldade (8.832.249 pessoas)’. Existem pessoas que sofreram algum tipo de amputação devido a acidente, doença ou outros fatores. O enfoque do desenvolvimento deste artigo é apresentar uma tecnologia protética robótica controlada pela troca de dados entre Servo motores e sensores flexíveis. Serão abordadas a montagem e o desenvolvimento dos quirodáticos e demais partes necessárias para prótese. Além disso, a programação e a transmissão de comandos a serem executadas em Arduino através dos módulos *Bluetooth* para a conversão dos movimentos e o espelhamento da luva sensorial.

O protótipo BIOBOT 4RM, conforme nomeado pela equipe que desenvolveu, visa engendrar uma prótese robótica para a mão, por meio da qual busca-se solucionar o problema gerado pela exclusão de pessoas com deficiência. Sua estrutura mecânica foi desenvolvida a partir da elaboração de um modelo de prótese desenvolvido no software de design 3D SketchUp.

2. A PRÓTESE

O avanço para desenvolvimento de próteses inteligentes se dá pela necessidade de recuperar a mobilidade e tato de alguns pacientes. Diversas técnicas têm sido desenvolvidas e comprovando sua eficiência, seja pela implantação de chips ou por meio de sensores que captam e copiam movimentos. De acordo com Del Cura (2005), os membros artificiais têm o papel de reintegrar o paciente à sociedade, de modo que ele possa voltar a realizar suas atividades normalmente, gerando maior autonomia e um em qualidade de vida.

Atualmente as próteses de mão mais populares oferecem funcionalidades simples e limitadas, normalmente a abertura ou fechamento da mão apenas. São pouco antropomórficas, de fácil construção e apresentam três dedos ao invés de cinco. Em contrapartida, as próteses mioelétricas comerciais são o que existe de mais avançado no ramo de próteses para membros superiores, oferecendo diversas possibilidades e configurações de diversas marcas e modelos que são atualizados constantemente, porém um fator determinante para sua alta rejeição no Brasil é o fato de os modelos comerciais serem todos desenvolvidos no exterior com preços 45 médios que variam de U\$ 30.000,00 a U\$ 100.000,00 dificultando o acesso aos membros artificiais (VENTIMIGLIA, 2012). Nos últimos anos, com o advento e popularização da impressão 3D muito se tem desenvolvido com o intuito de popularizar as próteses de mão, em diversos projetos open-source de mão robóticas com a possibilidade de uso protético.

A prótese robótica BIOBOT 4RM consiste em um antebraço e uma mão que funciona de dois modos: automático e seleção manual. No primeiro modo, a luva sensorial é responsável por ler e transmitir de forma espelhadas os movimentos realizados pela mão

oposta do indivíduo. Já no segundo, por meio de botões, o usuário pode escolher movimentos pré-programados.

A Figura 1 ilustra o sistema funcional automático, "modo 1", caracterizado por uma relação de submissão da prótese aos movimentos da luva. Quando a prótese é ligada, um led é aceso que indica o status “ON” (ligado) do mecanismo. Quando o “modo 1” é selecionado, ocorre um processo de calibração dos sensores flexíveis presentes na luva. Neste processo são captados e guardados na memória no Arduino, os níveis limite mínimo e máximo de flexão dos dedos do usuário da prótese.

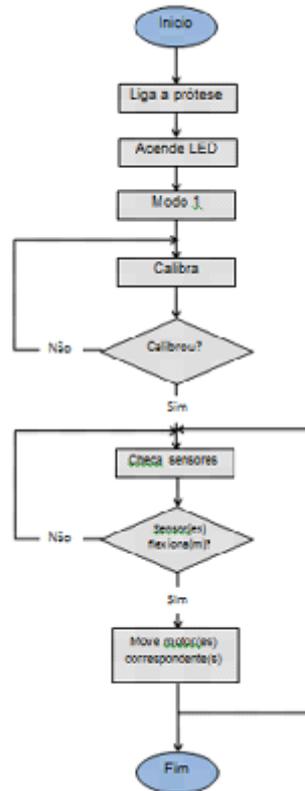


Figura 1: Fluxograma 1 – Modo automático
Fonte: Pereira (2019)

Caso ocorra alguma falha na calibração, uma nova tentativa é feita, sendo desta forma até que a mesma seja realizada com sucesso para que esteja disponível para trabalhar. Se não houver movimentação da mão com a luva, os valores dos sensores continuam estáticos, portanto, a prótese não se movimenta. Se houver, é feita a transferência destes valores para o microcontrolador da prótese, e, então, os motores correspondentes aos sensores onde foram sentidas mudanças movem-se, espelhando os gestos da mão humana.

Na figura 2 é o comportamento do “ modo 2”, acontece a checagem dos botões. Se o botão 1 tiver sido pressionado, ela fará sinal de "joia"; se não, checará o botão 2. Se o botão 2 tiver sido pressionado, o braço robótico fará um *hangloose*; se nem o botão 1 ou 2 tiver sido pressionado, checará o botão 3. Se o botão 3 tiver sido pressionado, o mecanismo fará sinal de paz e amor; se nenhum dos botões tiver sido pressionado, a prótese permanecerá parada.

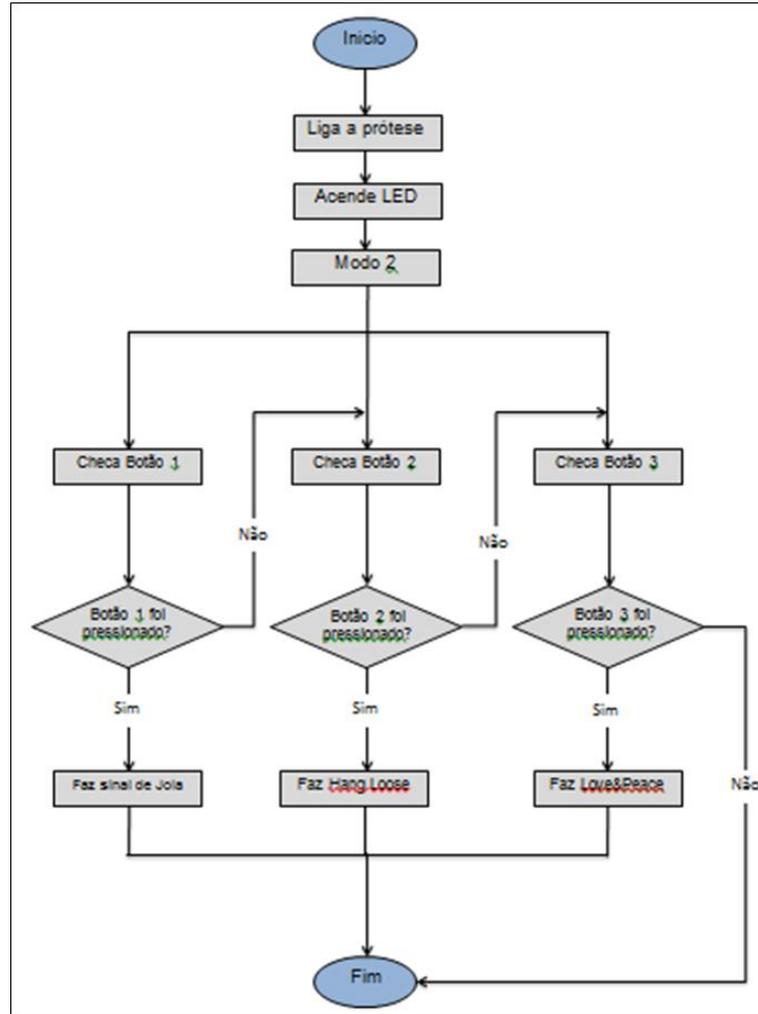


Figura 2: Fluxograma 2 – Modo Independente

Fonte: Pereira (2019)

2.1. ESTRUTURA ELETRÔNICA E MECÂNICA

Esse projeto conta com a utilização de duas plataformas de Arduino UNO, servo motores e sensores flexíveis. Nas subseções abaixo, são apresentados o mecanismo de funcionamento em termos de hardware e estrutura mecânica e eletrônica. Além disso, apresentado em termos de software as funcionalidades na implementação do projeto.

Como já explanado, esse protótipo de prótese robótica faz uso de duas plataformas Arduinos UNO. Um dos Arduinos é responsável pelo controle e transmissão dos movimentos que serão realizados pela prótese. O outro é responsável pelo controle e comunicação com a luva sensorial.

Além disso os servos motores, são responsáveis pelo controle angular, e através de uma programação esquematizada no IDE do Software, realiza o controle dos movimentos da prótese com precisão. Os sensores flexíveis, permite que faça a medição da flexibilidade dos dedos. Essa medição será enviada para o microcontrolador da prótese na forma de um ângulo de 0° a 180° através de módulos *Bluetooth*.

A função dos servos motores é flexionar ou não determinado dedo de acordo com o gesto a ser feito pela mão, podendo ser, como ilustrado no fluxograma 1, no modo

automático, onde a movimentação dos servos será proporcional ao valor de flexão dos sensores, ou, como mostrado no fluxograma 2, pré-determinado na programação.

A estrutura mecânica partiu da elaboração de um modelo de prótese desenvolvido no computador no software de design 3D SketchUp. Nas figuras 3 e 4, são apresentadas algumas peças modelos utilizadas. A impressão da prótese foi feita utilizando PLA, um poliéster termoplástico feito a partir de fontes renováveis, o que traz diversos benefícios por ser biodegradável e reciclável.

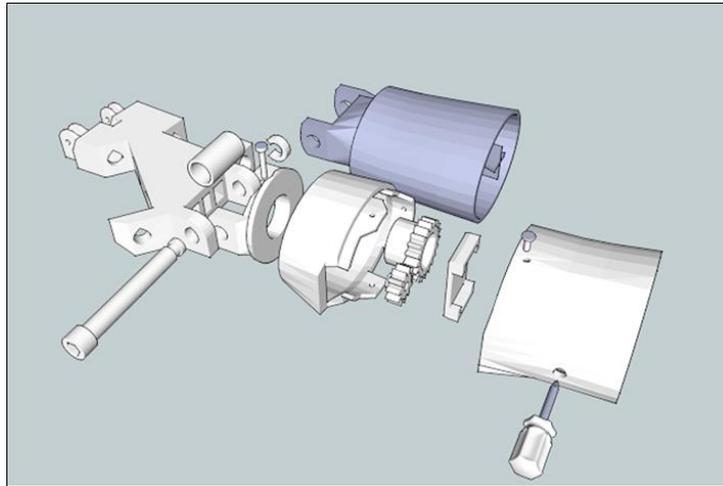


Figura 3: Montagem do antebraço e pulso
Fonte: INMOOV(2020)

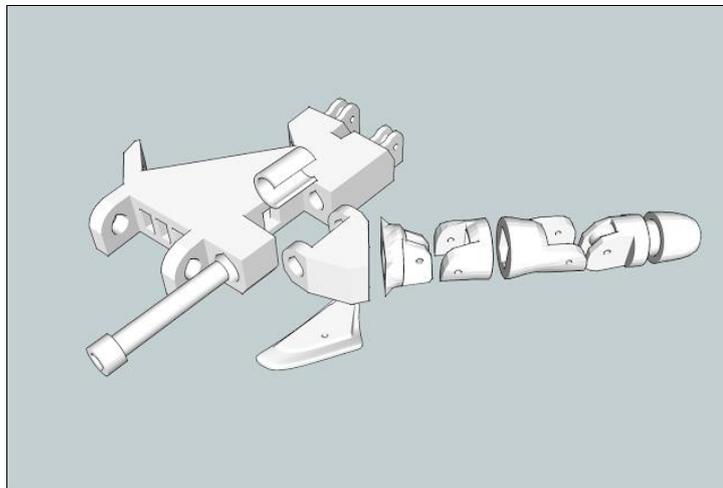


Figura 4: Montagem do polegar
Fonte: INMOOV(2020)

Para a realização desse projeto, foram utilizados quatro módulos Bluetooth, sendo dois masters (HC-05) e dois slaves(HC-06).A função dos módulos na prótese, é permitir a comunicação da luva sensorial com a prótese, de maneira que seja enviado e recebido sinal de ambos os lados, o que justifica a escolha e quantia dos componentes citados anteriormente.

A comunicação entre os módulos da seguinte forma: o módulo Bluetooth master da luva sensorial(1) enviar ao módulo Bluetooth slave da prótese(1) os valores captados pelos sensores flexíveis com a flexão ou não dos dedos. O módulo Bluetooth slave da prótese (1) receberá as informações e as transmitirá para os servos motores, que irão mover os

quirodáctilos protéticos. O módulo na configuração master da prótese (2) comunicar-se-á com o módulo escravo da luva (2) para que os valores lidos e trabalhados estejam sincronizados.

2.1. SOFTWARE DE IMPLEMENTAÇÃO

Nesta implementação pelo fato do uso de duas plataformas de programação, foi desenvolvido 2 códigos na linguagem C, que nomearemos de programação da luva sensorial e programação da prótese. As Figuras 5 e 2 são trechos de programação do código que controla a luva sensorial. Na Figura 1, são criadas variáveis, pinos analógicos para leitura dos sensores flexíveis e as variáveis de calibração. Além disso, há a configuração do modo *bluetooth* com a importação da biblioteca.

```

luva_bt$
#include <SoftwareSerial.h>

SoftwareSerial BTSerial(10, 11);

const int s[] = {A0,A1,A2,A3,A4};
int se[5];
int i;
int servo[5];
int dedo[5];
int maximun[5];
int minimun[5];
const int led = 2;
int state = 0;
int w;

```

Figura 5: Trecho inicial da luva sensorial
Fonte: Pereira(2020)

```

luva_bt$
se[0]=analogRead(s[0]);
se[1]=analogRead(s[1]);
se[2]=analogRead(s[2]);
se[3]=analogRead(s[3]);
se[4]=analogRead(s[4]);
for (i=0;i<5;i++){

BTSerial.write(dedo[i]);
delay(10);

if (i==2||i==4){
servo[i]=map(se[i],minimun[i],maximun[i],0,130);
servo[i]=constrain(servo[i],0,120);
BTSerial.write(servo[i]);
}
else{
servo[i]=map(se[i],minimun[i],maximun[i],0,110);
servo[i]=constrain(servo[i],0,120);
BTSerial.write(servo[i]);
}
}
}

```

Figura 6: trecho principal da luva sensorial
Fonte: Pereira(2020)

Na Figura 6 é apresentado, o trecho da leitura de cada um dos 5 dedos para cada sensor flexível. Após o armazenamento desta leitura, uma relação matemática de razão acontece entre os valores a serem transmitidos para os servos motores e os 1024 bits de pinos analógicos do Arduino UNO. Essa relação matemática se dá pela instrução `map`. Após isso os valores são enviados pelo modulo *bluetooth* para o Arduino conectado a prótese.

No código de programação da prótese, iniciamos com a definição das bibliotecas e variáveis a serem utilizadas. Além disso pinos de conexão como dos servos motores e de botões que selecionam o modo de operação, também são criados. O modo de manipulação dos dados recebidos para a cópia dos movimentos pela prótese é revelado nas Figuras 7 e 8.

Há criação de uma variável `x` para selecionar o tipo de modo de operação conforme já abordado na seção. Quando `x` tiver valor 0, a prótese estará em modo de cópia dos movimentos da luva e enviará para a mesma a informação '0', um feedback acerca do funcionamento. Para executar a movimentação de cada um dos dedos, constrói-se o seguinte condicionamento: se o caracter recebido serialmente (`state1`) for 'a', o servomotor `dedo[1]`, por meio do código `'dedo[].write'` que controla sua angulação, irá para a posição recebida em `state` (entre parênteses), e assim se faz para cada um dos cinco dedos.

```

protese_bt$
if(x==0){
  //rodando
  BTSerial.write('0');
  digitalWrite(led,LOW);

  if (state1=='a'){
    dedo[1].write(state);
  }
  else if (state1=='b'){
    dedo[2].write(state);
  }
  else if (state1=='c'){
    dedo[3].write(state);
  }
  else if (state1=='d'){
    dedo[4].write(state);
  }
  else if (state1=='e'){
    dedo[0].write(state);
  }
}

```

Figura 7: trecho espelhamento da prótese
Fonte: Pereira(2020)

De forma análoga ao espelhamento e à calibragem, onde `x` tem valores 0 e 1, respectivamente, para os gestos, `'x'` poderá ter os valores 2, 3 e 4, conforme figura 8. A concepção dos gestos dependerá de cada um desses três valores de `'x'`, ao que cada um será condição para conferir aos servos a posição necessária para tal. Se o botão 1 (`bot1`) for apertado, `'y'` for 0 e `'x'` no momento da ação tiver valor diferente de 2, `'y'` passa a valer 1 e `'x'` admite de valor 2, que representa o *hangloose*. Os demais gestos seguem o mesmo raciocínio.

Na posição de *hangloose*, os servos `dedo[1]` e `dedo [0]`, dedão e mindinho ordenadamente, devem estar completamente abertos e os outros dedos (dados pelos servos `dedo[2]`, [3] e [4]) fechados. Para abrir, é impressa nos servos a angulação 0, enquanto que para fechar varia de 90 a 120 graus, dependendo da condição mecânica do dedo em questão. E conforme o tipo de movimento pré-programado, variamos apenas a angulação dos servos. Na próxima seção será destacado os resultados obtidos dessa implementação.

```

protese_bt$
,
if (bot1==0) {
if (y==0) {
if (x!=2) {
x=2;
y=1;
}
}
}
if (bot2==0) {
if (y==0) {
if (x!=3) {
x=3;
y=1;
}
}
}
if (bot3==0) {
if (y==0) {
if (x!=4) {
x=4;
y=1;
}
}
}
}

```

Figura 8: trecho para seleção de movimentos pré-programados
Fonte: Pereira(2020)

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O emprego dos componentes que constituem a mão robótica destaca-se por possibilitar que a plataforma seja compacta e leve, facilitando sua portabilidade e viabilizando seu uso em diversos ambientes acadêmicos. Ao mesmo tempo em que o desempenho dos atuadores se mostra capaz de executar todas movimentações propostas, a bateria apresenta durabilidade suficiente para manter-se em operação contínua por aproximadamente um dia, sem necessitar de recarga.



Figura 9: imagem real da prótese robótica
Fonte: Pereira(2020)

A Figura 9 consiste na visão superficial e estética da bioprótese robótica. Por meio dela é possível enxergar o mecanismo dos dedos, do pulso e do antebraço. Na figura 10 são mostrados os “falsos tendões” e os servos atuadores da prótese, sendo dois fios de ligação,

para extensão e compressão, que serão conectados aos eixos dos servos motores e aos dedos e permitirão sua flexão de acordo com a luva ou a necessidade dos gestos rápidos.

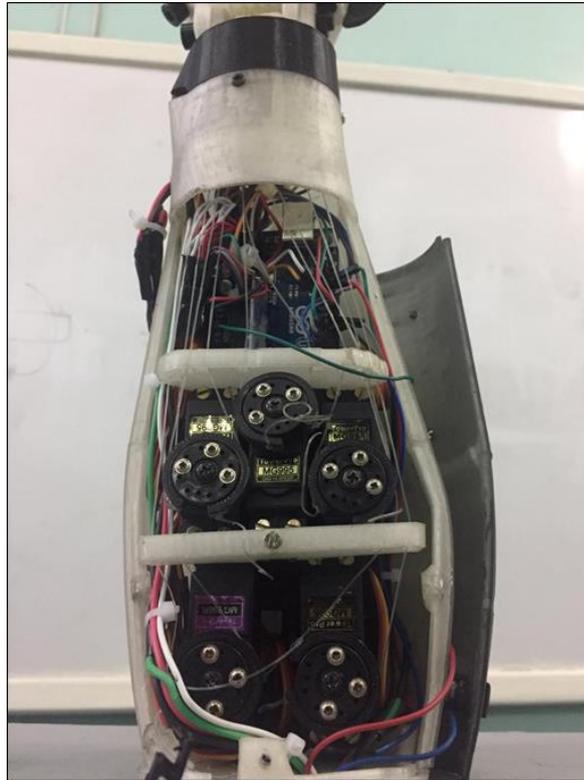


Figura 10: Prótese interna com servo motores
Fonte: Pereira(2020)

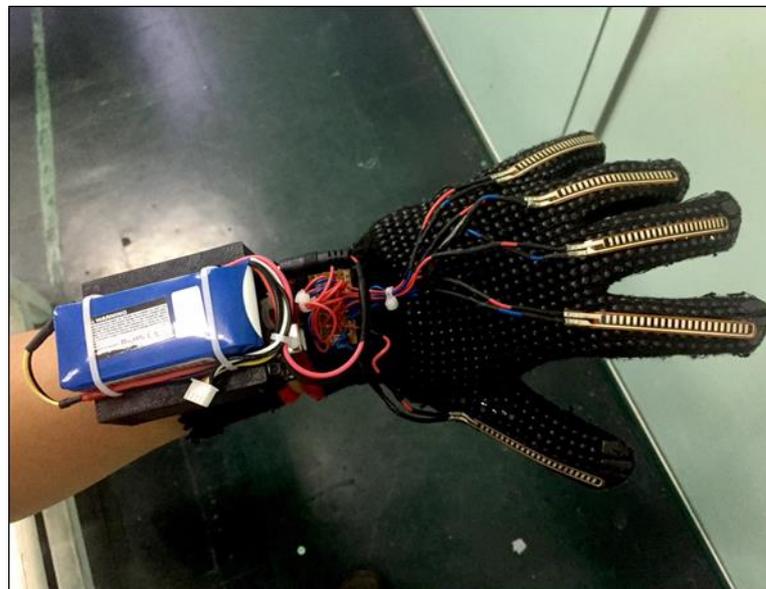
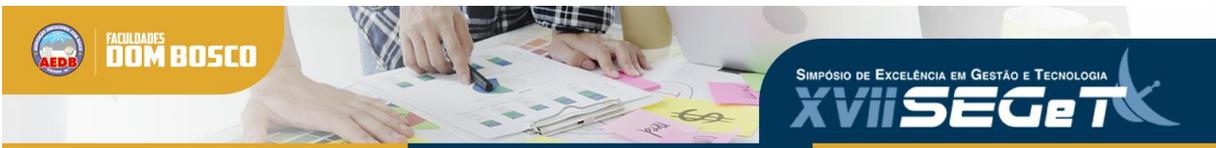


Figura 11: Luva sensorial
Fonte: Pereira(2020)

Na Figura 11, apresenta o design da luva e a forma como são dispostos os sensores flexíveis no dispositivo para que seja possível a captação dos movimentos da mão do indivíduo. Junto a ela, um suporte para o Arduino e o módulo *bluetooth* por questões de praticidade para aquele que manipulará a luva.



4. CONCLUSÃO

A execução do protótipo de uma mão robótica teve sucesso, utilizando da subárea da robótica denominada robótica social para integração de pessoas com deficiências físicas, tanto na sociedade como no mercado de trabalho. O protótipo realiza com eficácia movimentos básicos e consegue pegar objetos com formatos simples, como por exemplo bolas de papel, garrafas pets e segurar materiais com formatos. Além disso, a mão biônica desenvolvida possui baixo custo comparado com a tecnologia de próteses robóticas do mercado atual, pois a parte estrutural pode ser concebida em simples impressoras 3D. O emprego dos componentes que constituem a mão robótica destaca-se por possibilitar que a plataforma seja compacta e leve, facilitando sua portabilidade e viabilizando seu uso em diversos ambientes acadêmicos.

6. REFERÊNCIAS

DA SILVA, Z.A. L. Controle de Prótese Mecânica Aplicado à Robótica Assistiva através de Eletromiografia. Trabalho de Conclusão de Curso, Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora, UFJF 2016.

DEL CURA, V. de O. Acionamento e Controle de Dedo de uma Prótese para Membro Superior com Realimentação Proprioceptiva de Força e Temperatura. 2005. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

INMOOV. Disponível em: <<http://inmoov.fr/build-yours/hand-and-forarm-assembly-3d-views/>> Acesso em 18 jun.2020.

PEREIRA, L.L.; EMERICH, C. G.L.; RODRIGUES, S. G. I. & ROBERTO, S. G. Bioprótese Robótica (BIOBOT 4RM). Trabalho de Conclusão de Curso, Escola Técnica Pandiá Calógeras, ETPC 2019.

TEIXEIRA, C.C. Ana. Controle de Prótese Robótica por Comandos de Voz utilizando Redes Neurais Artificiais. Trabalho de Conclusão de Curso, Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora, UFJF 2017.

VENTIMIGLIA, P. Design of a human hand prosthesis. 2012. Tese de Doutorado. Worcester Polytechnic Institute.