

**Etec Professor Basíli­des de Godoy**  
**Centro Paula Souza**  
**Técnico em Mecatrônica**

**Gabriel Henrique Ferreira Fraga**

**Juan Oliveira Taveira**

**Leonardo Wallace Felipe Vieira**

**Matheus Rizzo Fidalgo**

**Paulo César Ribeiro dos Santos**

**PRÓTESE MECÂNICA**

**São Paulo**

**2024**

**Gabriel Henrique Ferreira Fraga**

**Juan Oliveira Taveira**  
**Leonardo Wallace Felipe Vieira**  
**Matheus Rizzo Fidalgo**  
**Paulo César Ribeiro dos Santos**

## **PRÓTESE MECÂNICA**

Trabalho de Conclusão de Curso  
Apresentado ao Curso Técnico  
em Mecatrônica da Etec  
Professor Basílides de Godoy,  
orientado pelo Prof. Ivan Vieira  
Gama, como requisito parcial  
para obtenção do título de  
técnico em Mecatrônica.

**São Paulo**

**2024**

**Dedicatória**

Dedicamos este trabalho, principalmente a Deus que sempre esteve ao nosso lado durante essa longa caminhada, a todos os professores da Escola Técnica Basilides de Godoy, em especial a nosso orientador Ivan Vieira Gama. E a todos em nosso grupo pela colaboração e aprendizagem durante a abordagem do tema.

## **Agradecimento**

Agradecemos primeiramente a Deus, por nos conceder saúde, sabedoria, coragem e força que nos ajudou durante o percurso do curso.

Aos nossos familiares pelo apoio e incentivo, por compreenderem nosso esforço durante a realização deste trabalho.

Ao corpo docente do curso de Mecatrônica, pelos ensinamentos e na construção do trabalho, em especial ao nosso orientador, professor Ivan Vieira Gama, que teve palavras certas em momentos de dificuldades.

E a cada integrante do grupo pela participação em momentos de alegria, tristeza, diversão e principalmente companheirismo. Durante o caminho existirão tropeços, porém a grande virtude é ter a coragem necessária para se levantar, recomeçar e jamais desistir.

**"Quando você quer alguma coisa, todo o universo conspira para que você realize o seu desejo. Mas é preciso empenhar-se e colocar o coração em cada passo do caminho; sem isso, a luta perde o sentido e os obstáculos se tornam intransponíveis." (Paulo Coelho)**

**Resumo**

Artigo, fala-se sobre como se constrói uma prótese mecânica controlada com exoesqueleto. Essa prótese consegue reproduzir movimentos de uma maneira completamente natural: sensores no exoesqueleto recolhem as ordens do utilizador e põem em movimento a própria prótese como quer o seu gesto. Além disso, esse sistema encontra-se numa situação em que é bem recebido pelas pessoas que apresentam problemas de locomoção, oferecendo-lhes maior independência e mobilidade. Tudo isto não poderia ser mais eficaz: a tecnologia a ser usada chega mesmo a permitir que o sistema seja ajustado às mais variadas necessidades e personalidades dos utilizadores, podendo ser utilizado em incontáveis aplicações.

**Palavras-chave:** Prótese mecânica, Exoesqueleto, Auxílio à mobilidade

## **Abstract**

The article talks about how to build a mechanical prosthesis controlled with an exoskeleton. This prosthesis can reproduce movements in a completely natural way: sensors on the exoskeleton collect the user's orders and set the prosthesis itself in motion according to their gesture. Furthermore, this system is in a situation where it is well received by people who have mobility problems, offering them greater independence and mobility. All of this could not be more effective: the technology being used even allows the system to be adjusted to the most varied needs and personalities of users and can be used in countless applications.

**Keywords:** Mechanical prosthesis, Exoskeleton, Mobility aid

## **Lista de ilustrações**

Imagem 1: Parte do braço robótico – Pág: 15

Imagem 2: Exoesqueleto – Pág: 15

Imagem 3: Arduino UNO – Pág: 17

Imagem 4: Fluxograma feito no TinkerCard – Pág: 19

Imagem 5: Passo 1 – Pág: 22

Imagem 6: Passo 2 – Pág: 22

Imagem 7: Passo 3 – Pág: 23

Imagem 8: Passo 4 – Pág: 23

Imagem 9: Passo 5 – Pág: 24

Imagem 10: Passo 6 – Pág: 24

Imagem 11: Passo 7 – Pág: 25

Imagem 12: Passo 8 – Pág: 25

Imagem 13: Passo 9 – Pág: 26

Imagem 14: Passo 10 – Pág: 26

Imagem 15: Passo 11 – Pág: 27

Imagem 16: Passo 12 – Pág: 27

Imagem 17: Passo 13 – Pág: 28

Imagem 18: Passo 14 – Pág: 28

Imagem 19: Passo 15 – Pág: 29

Imagem 20: Passo 16 – Pág: 29

Imagem 21: Passo 17 – Pág: 30

Imagem 22: Passo 18 – Pág: 30

Imagem 23: Passo 19 – Pág: 31

Imagem 24: Passo 20 – Pág: 31

Imagem 25: Passo 21 – Pág: 32

Imagem 26: Passo 22 – Pág: 32

Imagem 27: Passo 23 – Pág: 33

Imagem 28: Passo 24 – Pág: 33

Imagem 29: Passo 25 – Pág: 34  
Imagem 30: Passo 26 – Pág: 34  
Imagem 31: Passo 27 – Pág: 35  
Imagem 32: Passo 28 – Pág: 35  
Imagem 33: Passo 29 – Pág: 36  
Imagem 34: Passo 30 – Pág: 36  
Imagem 35: Passo 31 – Pág: 37  
Imagem 36: Passo 32 – Pág: 37  
Imagem 37: Passo 33 – Pág: 38  
Imagem 38: Passo 34 – Pág: 38  
Imagem 39: Passo 35 – Pág: 39  
Imagem 40: Passo 36 – Pág: 39  
Imagem 41: Passo 37 – Pág: 40  
Imagem 42: Passo 38 – Pág: 40  
Imagem 43: Passo 39 – Pág: 41  
Imagem 44: Passo 40 – Pág: 41  
Imagem 45: Passo 41 – Pág: 42  
Imagem 46: Passo 42 – Pág: 42  
Imagem 47: Passo 43 – Pág: 43  
Imagem 48: Passo 44 – Pág: 43  
Imagem 49: Passo 45 – Pág: 44  
Imagem 50: Passo 46 – Pág: 44  
Imagem 51: Passo 47 – Pág: 45  
Imagem 52: Passo 48 – Pág: 45  
Imagem 53: Passo 49 – Pág: 46  
Imagem 54: Passo 50 – Pág: 46  
Imagem 55: Passo 51 – Pág: 47  
Imagem 56: Passo 52 – Pág: 47  
Imagem 57: Passo 53 – Pág: 48  
Imagem 58: Passo 54 – Pág: 48  
Imagem 59: Passo 55 – Pág: 49

Imagem 60: Prótese Digital – Pág: 50

Imagem 61: Prótese Digital – Pág: 51

Imagem 62: Prótese Digital – Pág: 51

Imagem 63: Código da Prótese Digital – Pág: 52

Imagem 64: Código da Prótese Digital – Pág: 52

Imagem 65: Código da Prótese Digital – Pág: 53

Imagem 66: Pergunta Forms – Pág: 54

Imagem 67: Pergunta Forms – Pág: 55

Imagem 68: Pergunta Forms – Pág: 55

Imagem 69: Pergunta Forms – Pág: 56

Imagem 70: Pergunta Forms – Pág: 56

Imagem 71: Pergunta Forms – Pág: 57

Imagem 72: Pergunta Forms – Pág: 57

Imagem 73: Pergunta Forms – Pág: 58

Imagem 74: Pergunta Forms – Pág: 58

Imagem 75: Pergunta Forms – Pág: 59

Imagem 76: Cronograma do Desenvolvimento – Pág: 60

Imagem 77: Programação para definir os servos em 90° – Pág: 64

Imagem 78: Programação para definir os servos em 90° – Pág: 65

Imagem 79: Programação para definir os servos em 90° – Pág: 66

Imagem 80: Programação do exoesqueleto – Pág: 66

Imagem 81: Programação do exoesqueleto – Pág: 67

Imagem 82: Programação do exoesqueleto – Pág: 68

Imagem 83: Programação do exoesqueleto – Pág: 69

Imagem 84: Programação do exoesqueleto – Pág: 70

## **Lista de abreviaturas e siglas**

Placa de Circuito Impresso (PCB)

Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE)

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)

## Sumário

1	INTRODUÇÃO .....	13
2	MOBILIDADE ASSISTIDA .....	14
3	EXOESQUELETO E PRÓTESE MECÂNICA .....	15
4	ARDUINO .....	16
5	METODOLOGIA .....	17
5.1	CONFIGURAÇÃO DO ARDUINO .....	17
5.2	PROGRAMAÇÃO DO ARDUINO .....	17
5.3	PROGRAMAÇÃO DA PARTE DIGITAL .....	17
5.4	SERVOS MOTORES .....	18
5.5	FLUXOGRAMA .....	18
6	PROTÓTIPO .....	19
7	TABELA DE GASTOS .....	21
8	PASSO A PASSO .....	22
8.1	PASSO 1 .....	22
8.2	PASSO 2 .....	26
8.3	PASSO 3 .....	31
8.4	PASSO 4 .....	44
9	PARTE DIGITAL .....	50
10	PESQUEISA DE CAMPO .....	54
11	CRONOGRAMA .....	60
12	CONCLUSÃO .....	61
13	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	61
14	ANEXO .....	62

## 1 INTRODUÇÃO

Assim, a redação final da crescente exigência de soluções que aumentarão a melhoria da autossuficiência e da mobilidade das pessoas com deficiência motora é a capacidade de uma prótese mecânica operada por um exoesqueleto. O objetivo desta pesquisa final do trabalho é projetar e pesquisar um protótipo de mecânico capaz de ser governado por um exoesqueleto, a fim de permitir que os usuários se tornem extra móveis, e assim melhorar a qualidade de suas vidas.

O objetivo principal da pesquisa final do trabalho é estudar as tecnologias que permitirão integrar flexivelmente exoesqueletos e suporte de prótese mecânica, e é por isso que é altamente baseado na busca de um sistema capaz de movimentos naturais e altamente responsivos. Ele visa identificar o sensor e o atuador limite sincronizados apropriados, entrar em queimar o impacto de tal tecnologia na vida dos usuários e criar um protótipo em cooperação com seus colegas.

Portanto, a motivação fundamental para este estudo é a necessidade de tecnologias assistivas prontamente disponíveis e eficazes para atender a uma população cada vez maior de pessoas com deficiência. A hipótese é que a utilização do membro de substituição, quando monitorada prévia e sistematicamente por sensores de movimento e sistemas de controle, contribuirá para melhorar significativamente a mobilidade e a autonomia dos usuários.

A tal propósito, uma revisão de literatura foi realizada e protótipos desenvolvidos e testados nessa performance desse grupo foram definidos em cenários simulados. Uma revisão dos autores e trabalhos relevantes das áreas de biomecânica, engenharia para reabilitação e robótica aplicada foi realizada para fornecer uma base teórica para o contexto.

Desse modo, este TCC tem como objetivo contribuir para o campo da tecnologia assistiva ao apresentar uma solução inovadora e útil para apoiar pessoas com deficiência motora, bem como para diversificar as oportunidades de uso de exoesqueletos em um ambiente clínico e de reabilitação.

## **2 MOBILIDADE ASSISTIDA**

A mobilidade assistida é, portanto, um campo da tecnologia que procura garantir a independência e a qualidade de vida das pessoas com deficiência no que diz respeito a mobilidade. Devido à crescente popularidade e evolução dos sistemas de mobilidade assistida, como próteses, coletes e exoesqueletos, fornecem suporte cada vez mais sofisticado nas tarefas diárias. Se acreditamos que o desenvolvimento de novas tecnologias avançará e que o campo se tornará uma solução de assistência mais eficiente e personalizada.

### 3 EXOESQUELETO E PRÓTESE MECÂNICA

Nosso sistema vai contar com um exoesqueleto que possibilitará capturar os movimentos realizados pelo corpo do usuário e aplicá-los em uma prótese mecânica para uma integração mais intuitiva e precisa do movimento e melhor usabilidade do dispositivo protético. A coordenação entre o exoesqueleto e prótese será alcançada por meio da utilização conjunta entre sensores e atuação dos componentes mecânicos juntamente com um sistema controlador para assegurar uma sincronização perfeita entre os movimentos do usuário e da prótese.

Imagem 1: Parte do braço robótico



Fonte: <https://abrir.link/ppkQU>

Imagem 2: Exoesqueleto



Fonte: <https://www.thingiverse.com/thing:1982745>

## 4 ARDUINO

Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica que possibilita a seus usuários a criação de projetos eletrônicos interativos e autônomos. Ela consiste em uma placa de circuito impresso (PCB) que reúne em si um microcontrolador, memória, portas de entrada/saídas e outros componentes. Ela é programada com uma linguagem de alto nível baseada em C/C++ e fácil de se aprender e de se usar. Ele pode ser utilizado nas mais variadas áreas, desde a doméstica, educacional e comercial até a industrial, devido à sua flexibilidade.

## 5 METODOLOGIA

Para realizar a automação do projeto com Arduino foram seguidos os seguintes passos.

### 5.1 CONFIGURAÇÃO DO ARDUINO

Inicialmente, foi necessário configurar o Arduino para reconhecer os movimentos do exoesqueleto, passando os sinais para os potenciômetros e assim finalmente chegando aos servos motores, fazendo com que o protótipo tenha movimento.

### 5.2 PROGRAMAÇÃO DO ARDUINO

Imagem 3: Arduino UNO



Fonte: <https://abrir.link/YtDhh>

Em seguida desenvolvemos o código do projeto utilizando IDE (Ambiente de Desenvolvimento Integrado) do Arduino. Os códigos feitos no programa foram utilizados para reconhecer o movimento da mão repassando para o protótipo.

### 5.3 PROGRAMAÇÃO DA PARTE DIGITAL

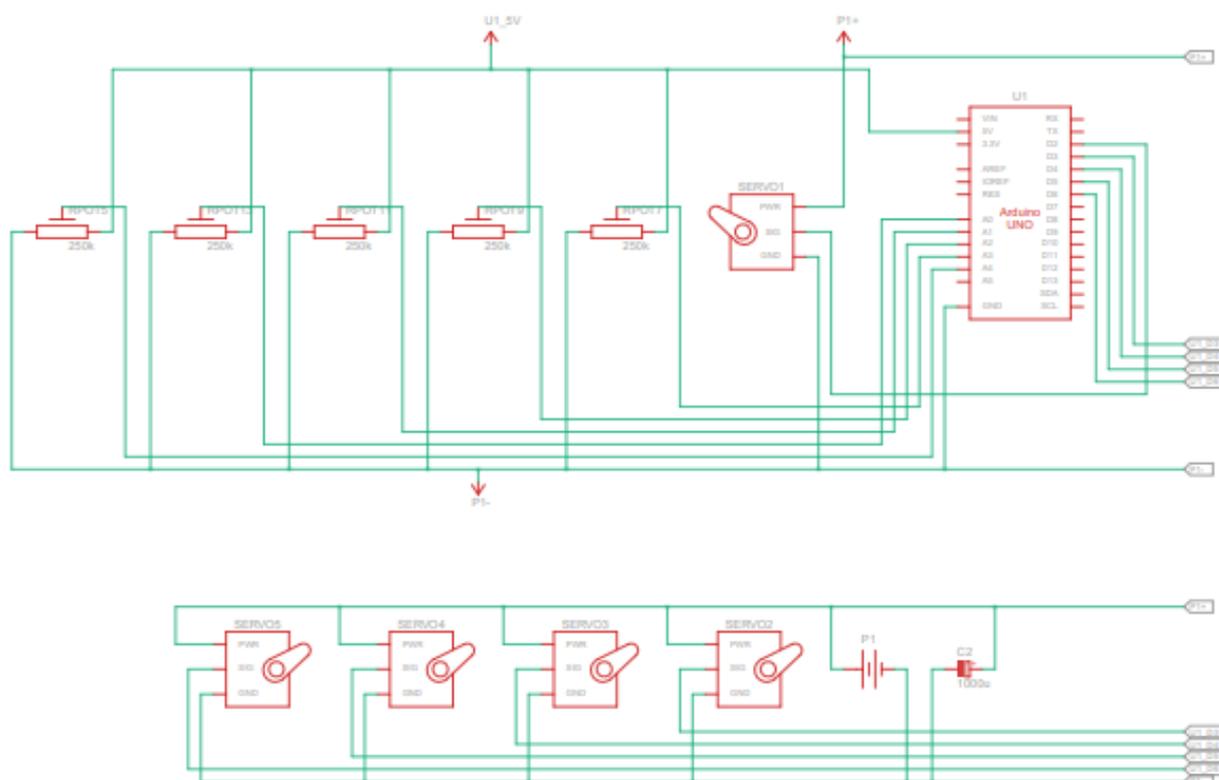
Desenvolvemos um código em C# através do programa Unyt, desenhamos e manipulamos formas geométricas para simular a musculatura do braço, e então aplicamos códigos que definem uma série de movimentos replicando o da nossa prótese, seguidos de um gradiente de cores de verde a vermelho que demonstra a intensidade de força que está sendo aplicada dependendo do movimento da simulação. A simulação também conta com uma integração a parte mecânica, então a partir do movimento do nosso exoesqueleto, o Arduino irá interpretar e nosso código irá ler e replicar este movimento na simulação 3D.

## **5.4 SERVOS MOTORES**

Funcionalidade dos servos motores após todos os programas estarem prontos, os principais serviram para movimentar os servos motores que faram o movimento de rotação puxando cordas internas, fazendo com que exista movimentos entre todas as partes dos dedos e do pulso.

## **5.5 FLUXOGRAMA**

Imagem 4: Fluxograma feito no TinkerCard



Fonte: Dos autores, 2024

## 6 PROTÓTIPO

Para realizar a montagem do protótipo utilizamos os seguintes componentes:

- Arduino Uno

- Fios Jumpers
- Impressora 3D
- Protoboard
- Imãs
- Filamento PLA
- Adesivo instantâneo
- Servo motor MG995
- Linha de nylon 2.0
- Potenciômetro Deslizante
- Parafusos
- Chave Philips
- Parafusadeiras
- Furadeira
- Placa de cobre
- Esponja antiestática
- Ferro de solda
- Solda
- Fluxo de solda
- Acetona
- Broca 8mm
- Broca 6mm
- Broca 3mm
- Broca 2.5mm

## 7 TABELA DE GASTOS

Materiais	N° de Itens	Valor
Arduino Uno	1	R\$80,00
Fios Jumpers	20	R\$20,00
Impressora 3D	1	R\$400,00
Protoboard	1	R\$19,90
Imãs	50	R\$25,10
Filamento PLA	1kg	R\$108,90
Adesivo instantâneo	1	R\$45,00
Servo motor MG995	6	R\$193,57
Linha de nylon 2.0	5 metros	R\$20,00
Potenciômetro Deslizante	5	R\$39,00
Parafusos	25	R\$5,00
Chave Philips	1	R\$45,99
Parafusadeira	1	R\$170,00
Furadeira	1	R\$150,00
Placa de cobre	1	R\$27,90
Esponja antiestática	5	R\$25,00
Ferro de solda	1	R\$30,00
Solda	1	R\$20,00
Fluxo de solda	1	R\$150,00
Acetona	1	R\$25,00
TOTAL	=	R\$1600,36

Fonte: Dos autores, 2024

## 8 PASSO A PASSO

Seguimentos necessários ordenados para a execução do protótipo.

### 8.1 PASSO 1

Imagem 5: Passo 1



Fonte: <https://inmoov.fr/wp-content/uploads/2013/09/DSC06390.jpg>

Foi removido os suportes anti-deformação e apare com algum instrumento.

Imagem 6: Passo 2



Fonte: <https://inmoov.fr/wp-content/uploads/2013/09/DSC06389.jpg>

Foi usado um alicate para prender as peças juntas enquanto as juntas com acetona.

Imagem 7: Passo 3



Fonte: <https://inmoov.fr/wp-content/uploads/2013/09/DSC06401.jpg>

Com a quarta parte do antebraço foi feita a mesma coisa, com a peça prensada cole-as.

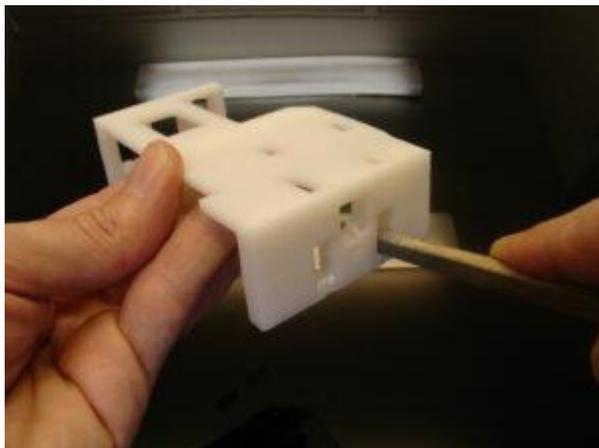
Imagem 8: Passo 4



Fonte: <https://inmoov.fr/wp-content/uploads/2013/09/DSC06393.jpg>

Foram melhorados os furos do lado da segunda parte do antebraço com uma broca de 6 mm. Eles servem para fixar um servo extra para obter um polegar de dupla atuação.

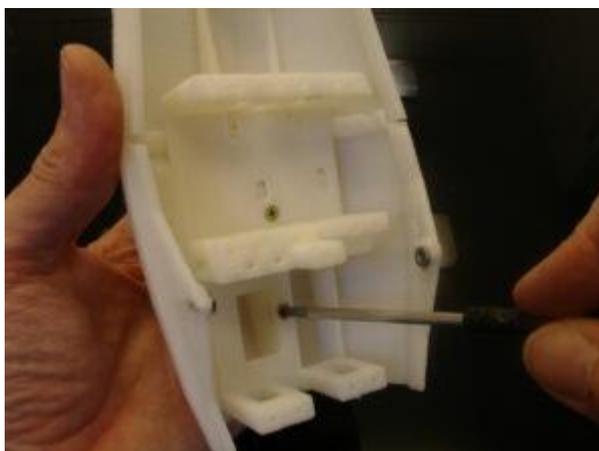
Imagem 9: Passo 5



Fonte: <https://inmoov.fr/wp-content/uploads/2013/09/DSC06397.jpg>

Foi colocado na quinta parte referenciada a base do servo simples, certifique-se de que ela esteja completamente assentada na parte inferior.

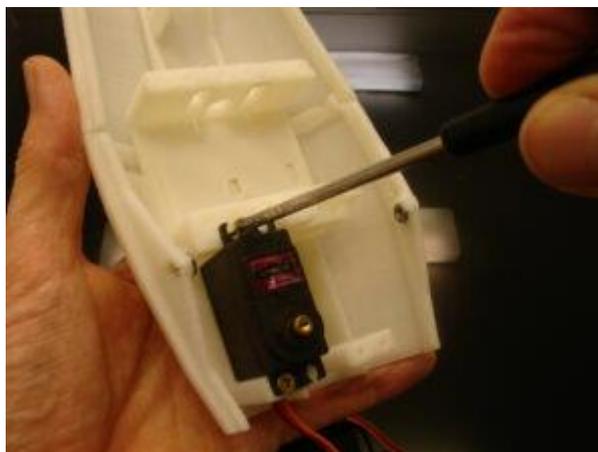
Imagem 10: Passo 6



Fonte: <https://abrir.link/CySuw>

Então, parafuse esse complemento na base do servo simples e siga os próximos passos.

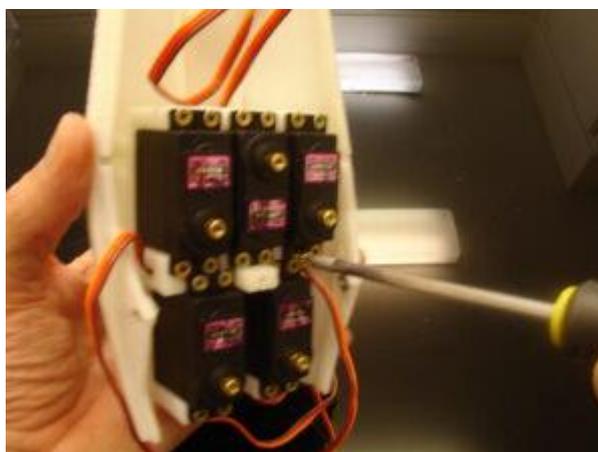
Imagem 11: Passo 7



Fonte: <https://inmoov.fr/wp-content/uploads/2013/09/DSC06416.jpg>

Neste ponto pode-se montar os servos em uma base de servo simples.

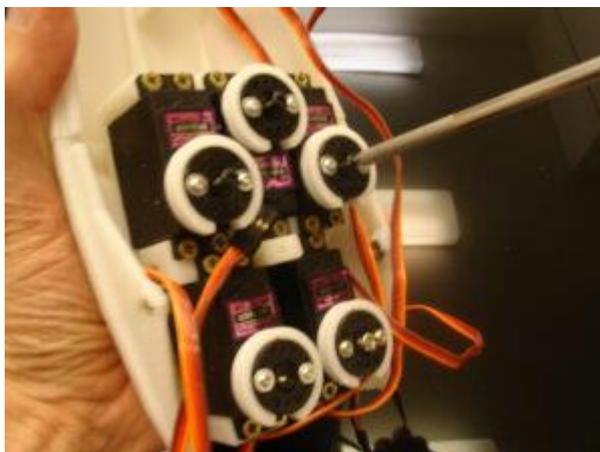
Imagem 12: Passo 8



Fonte: <https://inmoov.fr/wp-content/uploads/2013/09/DSC06417.jpg>

Utiliza-se os anexos 1,2,3 junto do Arduino para definir todos os seus servos em 90 graus.

Imagem 13: Passo 9



Fonte: <https://inmoov.fr/wp-content/uploads/2013/09/DSC06441.jpg>

## 8.2 PASSO 2

Imagem 14: Passo 10



Fonte: <https://inmoov.fr/wp-content/uploads/2013/09/DSC06425.jpg>

Fura-se novamente os furos para o revestimento.

Imagem 15: Passo 11



Fonte: <https://inmoov.fr/wp-content/uploads/2013/09/DSC06426.jpg>

Imagem 16: Passo 12



Fonte: <https://inmoov.fr/wp-content/uploads/2013/09/DSC06427.jpg>

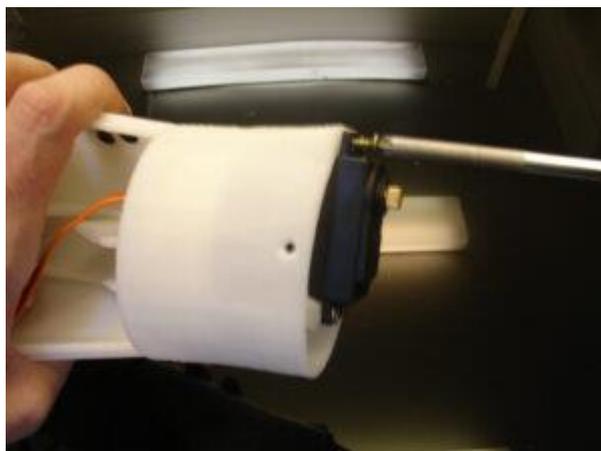
Insira o servo MG996 de 180 graus.

Imagem 17: Passo13



Fonte: <https://inmoov.fr/wp-content/uploads/2013/09/DSC06435.jpg>

Imagem 18: Passo 14



Fonte: <https://inmoov.fr/wp-content/uploads/2013/09/DSC06437.jpg>

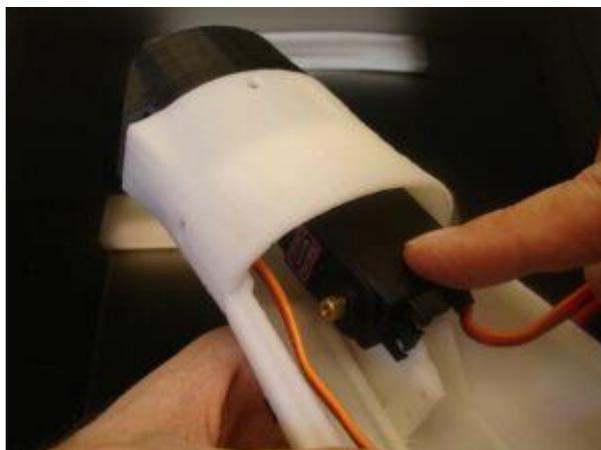
Imagem 19: Passo 15



Fonte: <https://inmoov.fr/wp-content/uploads/2013/09/DSC06436.jpg>

Refaça o furo com uma broca de 2,5 mm.

Imagem 20: Passo 16



Fonte: <https://inmoov.fr/wp-content/uploads/2013/09/DSC06439.jpg>

Colocamos o servo nesse lugar.

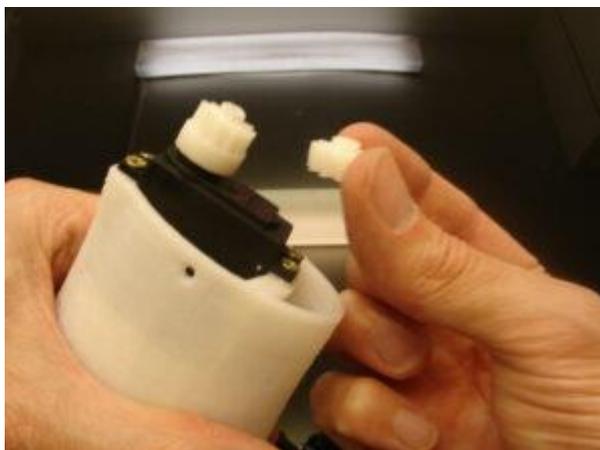
Imagem 21: Passo 17



Fonte: <https://inmoov.fr/wp-content/uploads/2013/09/DSC06440.jpg>

Remova os furos dos ligamentos com uma broca de 8 mm.

Imagem 22: Passo 18



Fonte: <https://inmoov.fr/wp-content/uploads/2013/09/DSC06442.jpg>

Use cola Adesivo instantâneo nos componentes para fixar o ligamento no servo.

Imagem 23: Passo 19



Fonte: <https://inmoov.fr/wp-content/uploads/2013/09/DSC06445.jpg>

### 8.3 PASSO 3

Imagem 24: Passo 20



Fonte: <https://inmoov.fr/wp-content/uploads/2013/09/DSC06429.jpg>

Hora de refazer o furo nas dobradiças dos dedos. Eu guardo os dedos em sacos separados para evitar misturar entre os servos motores.

Imagem 25: Passo 21



Fonte: <https://inmoov.fr/wp-content/uploads/2013/09/DSC06430.jpg>

A dobradiça externa é furada novamente com uma broca de 3 mm.

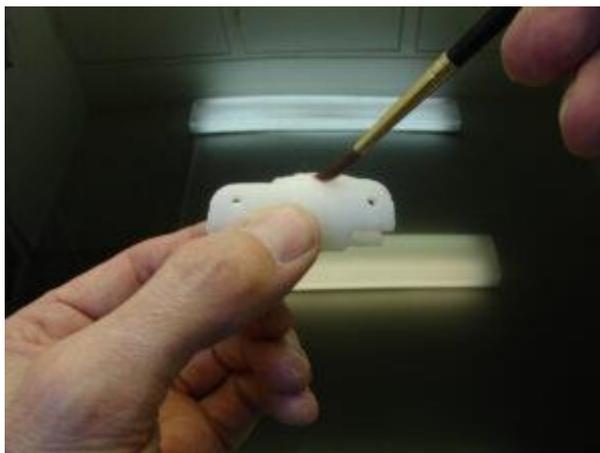
Imagem 26: Passo 22



Fonte: <https://inmoov.fr/wp-content/uploads/2013/09/DSC06433.jpg>

Preencha as dobradiças para adaptá-las melhor.

Imagem 27: Passo 23



Fonte: <https://inmoov.fr/wp-content/uploads/2013/09/DSC06469.jpg>

Cole as peças com acetona (ABS)

Imagem 28: Passo 24



Fonte: <https://inmoov.fr/wp-content/uploads/2013/09/DSC06471.jpg>

Use seu filamento de 3 mm para fazer pinos.

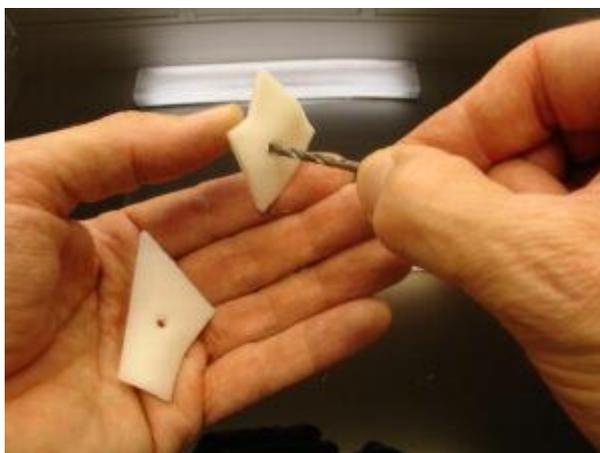
Imagem 29: Passo 25



Fonte: <https://inmoov.fr/wp-content/uploads/2013/09/DSC06472.jpg>

Corte com uma faca o filamento. Se você não tiver filamento de 3mm, precisará fazer isso com parafusos de 3mm. Perfure novamente todos os furos das tampas com uma broca de 3 mm.

Imagem 30: Passo 26



Fonte: <https://inmoov.fr/wp-content/uploads/2013/09/DSC06404.jpg>

Imagem 31: Passo 27



Fonte: <https://inmoov.fr/wp-content/uploads/2013/09/DSC06405.jpg>

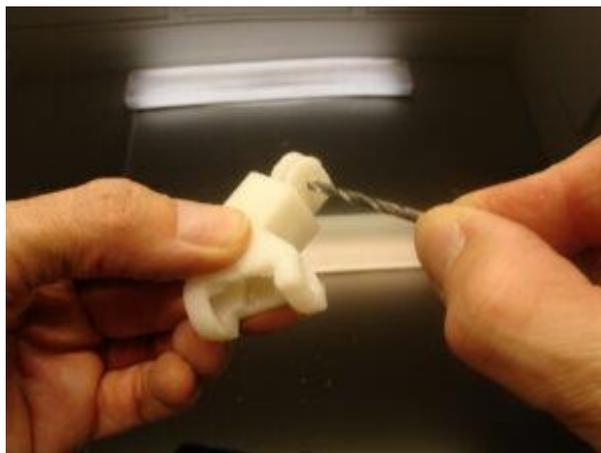
Furamos com uma broca de 2,5 mm para adaptar as capas.

Imagem 32: Passo 28



Fonte: <https://inmoov.fr/wp-content/uploads/2013/09/DSC06406.jpg>

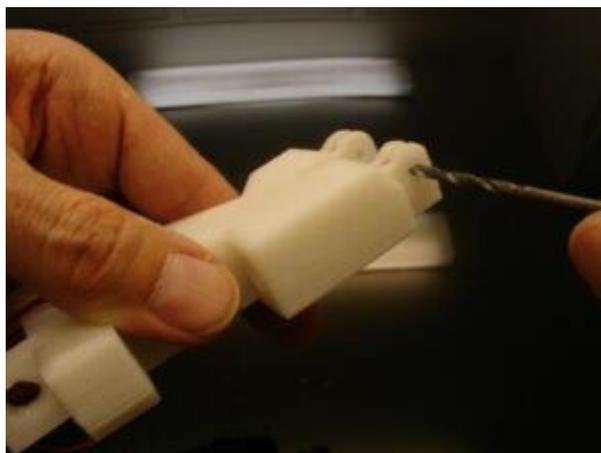
Imagem 33: Passo 29



Fonte: <https://inmoov.fr/wp-content/uploads/2013/09/DSC06409.jpg>

Refaça os furos das dobradiças com uma broca de 3,2 ou 3,5 mm

Imagem 34: Passo 30



Fonte: <https://inmoov.fr/wp-content/uploads/2013/09/DSC06411.jpg>

Imagem 35: Passo 31



Fonte: <https://inmoov.fr/wp-content/uploads/2013/09/DSC06412.jpg>

Perfure novamente as dobradiças grandes com uma broca de 8 mm.

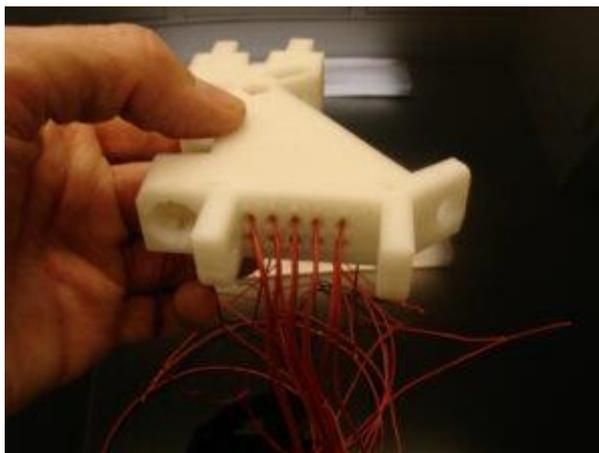
Imagem 36: Passo 32



Fonte: <https://inmoov.fr/wp-content/uploads/2013/09/DSC06413.jpg>

É necessário certificar-se de que os parafusos funcionem suavemente, sem resistência, mas de uma maneira suave. Em seguida cortamos 10 pedaços de 75 cm de comprimento da ninha de nylon.

Imagem 37: Passo 33



Fonte: <https://inmoov.fr/wp-content/uploads/2013/09/DSC06407.jpg>

Insira as linhas de nylon nos furos da parte interior da mão.

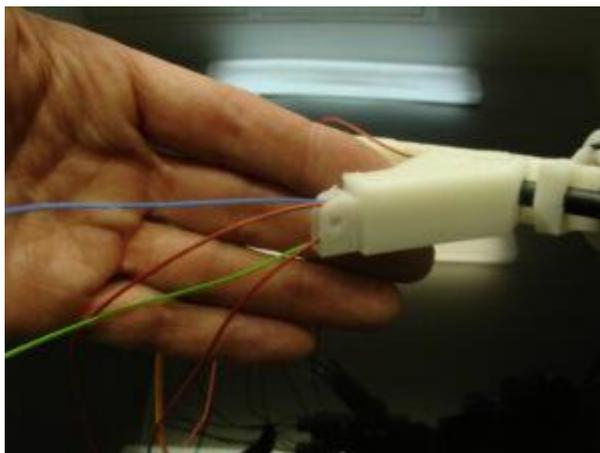
Imagem 38: Passo 34



Fonte: <https://inmoov.fr/wp-content/uploads/2013/09/DSC06415.jpg>

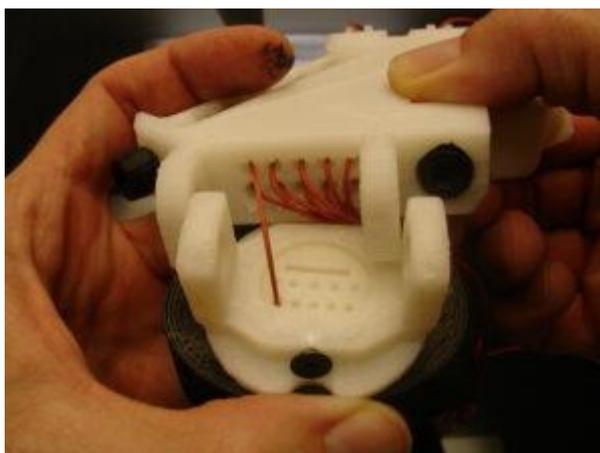
Os fios de nylon estão passando pelos furos do meio do protótipo.

Imagem 39: Passo 35



Fonte: <https://inmoov.fr/wp-content/uploads/2013/09/DSC06475.jpg>

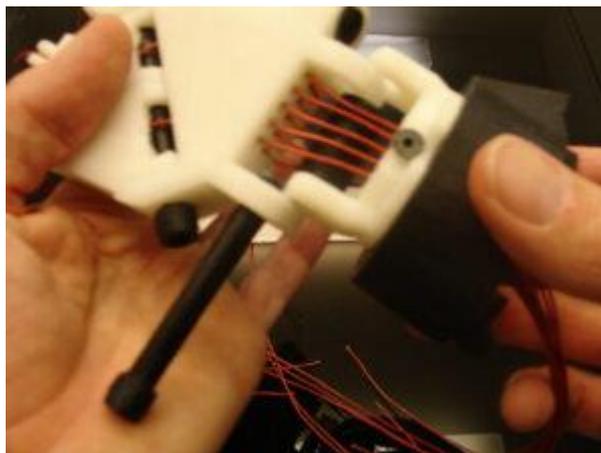
Imagem 40: Passo 36



Fonte: <https://inmoov.fr/wp-content/uploads/2013/09/DSC06452.jpg>

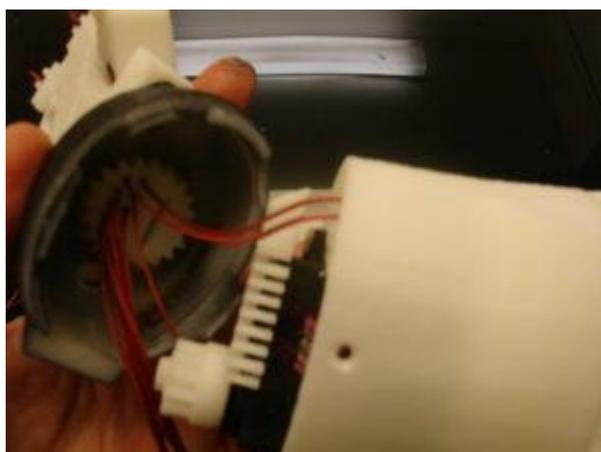
Agora conecte o pulso ao antebraço; encaixando cada parte da peça corretamente.

Imagem 41: Passo 37



Fonte: <https://inmoov.fr/wp-content/uploads/2013/09/DSC06454.jpg>

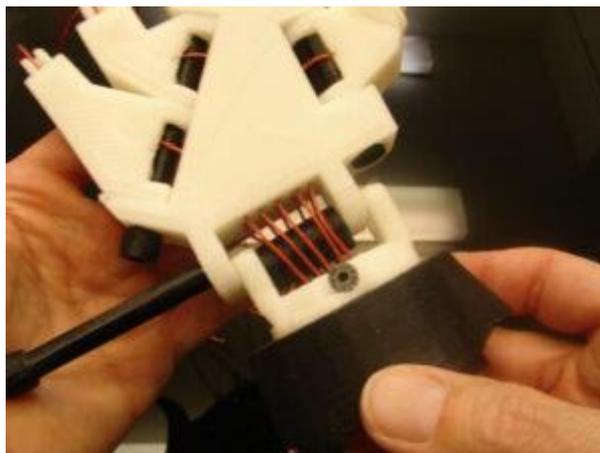
Imagem 42: Passo 38



Fonte: <https://inmoov.fr/wp-content/uploads/2013/09/DSC06459.jpg>

Adicione o ligamento entre os cabos

Imagem 43: Passo 39



Fonte: <https://inmoov.fr/wp-content/uploads/2013/09/DSC06455.jpg>

Use o anel "C" para impedir que o parafuso escape.

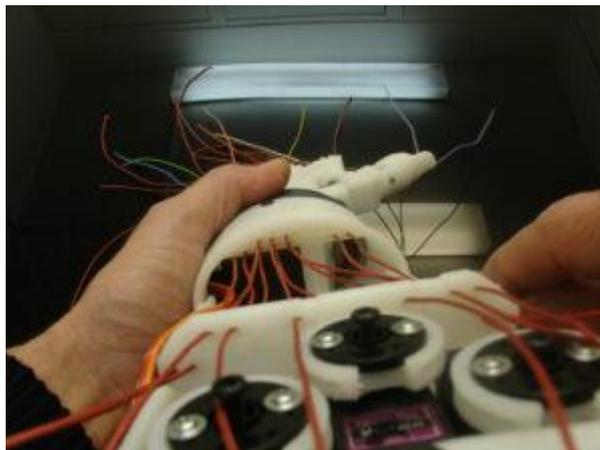
Imagem 44: Passo 40



Fonte: <https://inmoov.fr/wp-content/uploads/2013/09/DSC06473.jpg>

Este é o dorso da mão, por aqui passamos os fios.

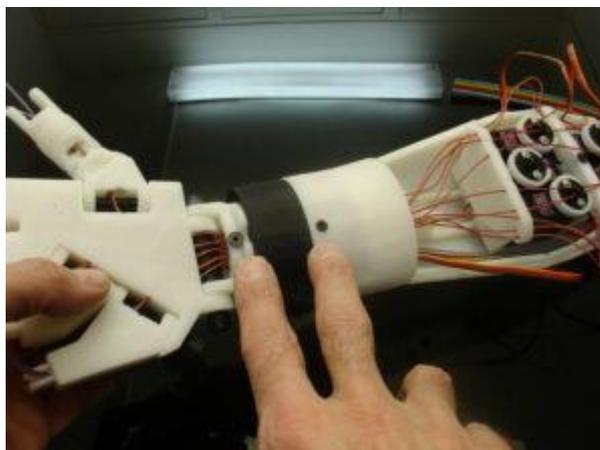
Imagem 45: Passo 41



Fonte: <https://inmoov.fr/wp-content/uploads/2013/09/DSC06483.jpg>

Veja como o forro deve ficar até o pulso.

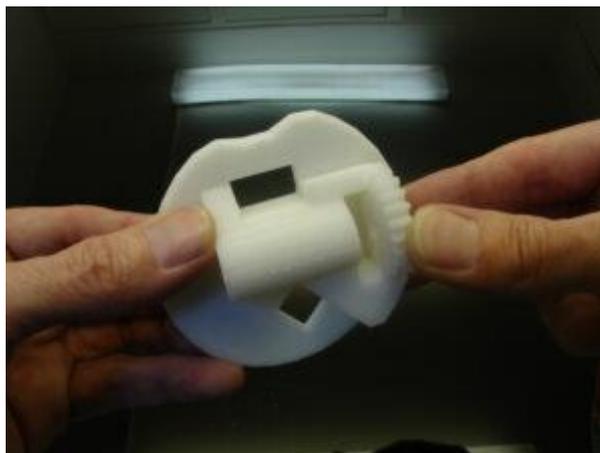
Imagem 46: Passo 42



Fonte: <https://inmoov.fr/wp-content/uploads/2013/09/DSC06482.jpg>

Ao montar o pulso, certifique-se de que o servo esteja ajustado em 90 graus e que os dois parafusos na imagem estejam alinhados.

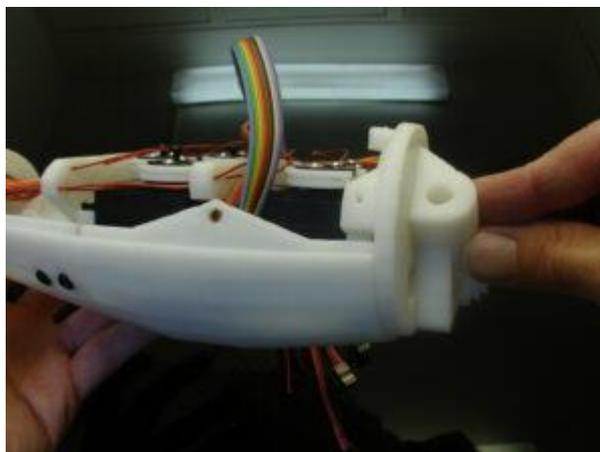
Imagem 47: Passo 43



Fonte: <https://inmoov.fr/wp-content/uploads/2013/09/DSC06485.jpg>

Alinhe o furo quadrado. Se estiver usando acetona, não há necessidade de adicionar parafusos se ambas as superfícies estiverem corretamente planas.

Imagem 48: Passo 44



Fonte: <https://inmoov.fr/wp-content/uploads/2013/09/DSC06487.jpg>

Agora cole este conjunto, certifique-se de que ele esteja corretamente alinhado nos slots.

Imagem 49: Passo 45



Fonte: <https://inmoov.fr/wp-content/uploads/2013/09/DSC06489.jpg>

#### 8.4 PASSO 4

Ao montar os dedos, utilizamos as marcas que podem ajudar você a ver em que ordem isso deve ser feito.

Imagem 50: Passo 46



Fonte: <https://inmoov.fr/wp-content/uploads/2013/09/DSC06490.jpg>

Imagem 51: Passo 47



Fonte: <https://inmoov.fr/wp-content/uploads/2013/09/DSC06493.jpg>

Cole a ponta do dedo na ponta da dobradiça. Certifique-se de alinhar as linhas das unhas, ficará melhor refurar os furos da dobradiça com uma broca de 2 mm. Perfure novamente o furo da dobradiça da ponta com a mesma broca.

Imagem 52: Passo 48



Fonte: <https://inmoov.fr/wp-content/uploads/2013/09/dsc06507.jpg>

Corte algumas tiras de cobre de cerca de 3 a 4 mm de largura.

Imagem 53: Passo 49



Fonte: <https://inmoov.fr/wp-content/uploads/2013/09/DSC06509.jpg>

Recorte essas tiras em pequenos triângulos. Eles serão os contadores para a espuma antiestática. Corte com uma tesoura alguns pequenos círculos na sua espuma antiestática.

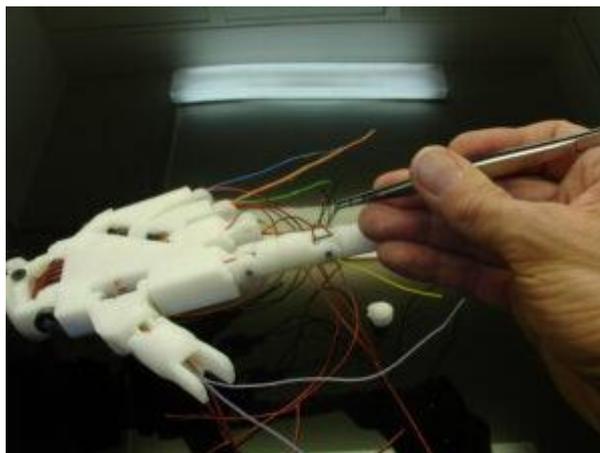
Imagem 54: Passo 50



Fonte: <https://inmoov.fr/wp-content/uploads/2013/09/DSC06513.jpg>

Hora de montar o dedo. A última dobradiça do dedo receberá o conjunto do sensor da ponta do dedo. Todos os furos nessas partes do dedo devem estar limpos e grandes o suficiente para ter os 2 cabos de tensão.

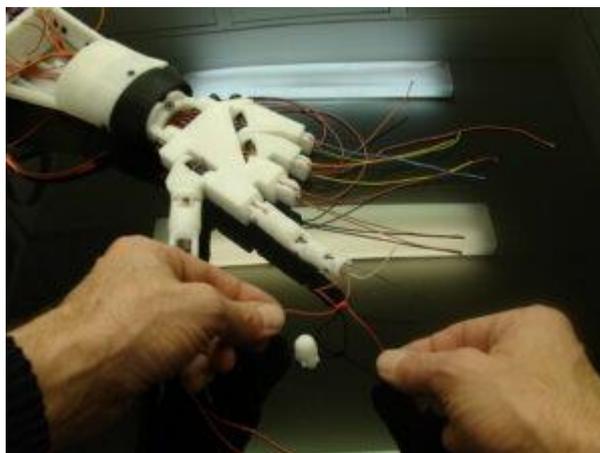
Imagem 55: Passo 51



Fonte: <https://inmoov.fr/wp-content/uploads/2013/09/DSC06498.jpg>

Passe os cabos de tensão. Um de cada no lado de cima e um de cada no lado de baixo. Certifique-se de evitar qualquer torção dos cabos, isso causaria dedos disfuncionais.

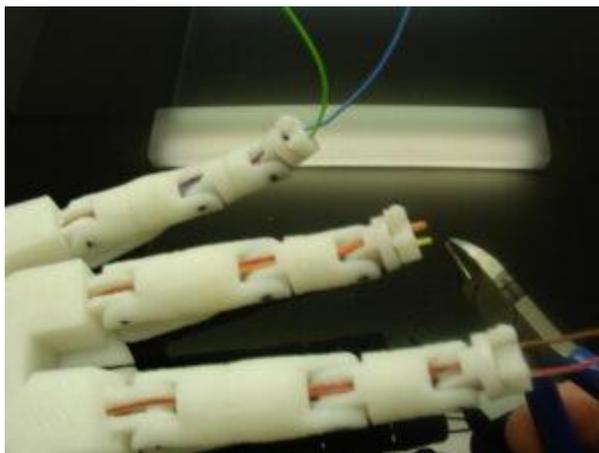
Imagem 56: Passo 52



Fonte: <https://inmoov.fr/wp-content/uploads/2013/09/DSC06500.jpg>

Um monte deles é necessário porque não queremos que eles passem pelos furos quando os servos estiverem puxando com força. Adicionamos cola para garantir qualquer surpresa ruim. Corte os restos dos cabos de tensão.

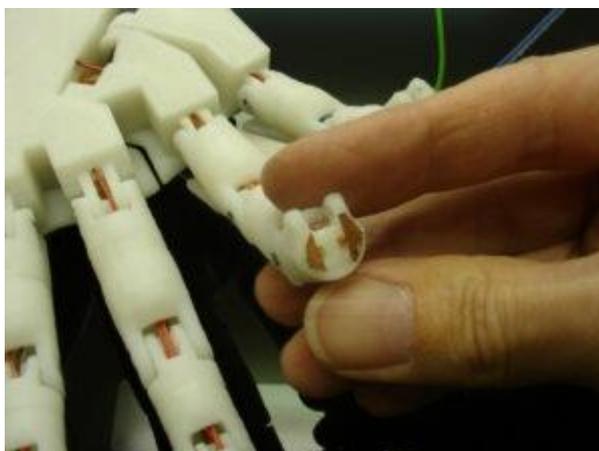
Imagem 57: Passo 53



Fonte: <https://inmoov.fr/wp-content/uploads/2013/09/DSC06514.jpg>

Para mantê-los planos enquanto a cola endurece, usamos fita adesiva. Fique atento à fita que você usa, pois ela pode ficar colada também nas pontas dos dedos.

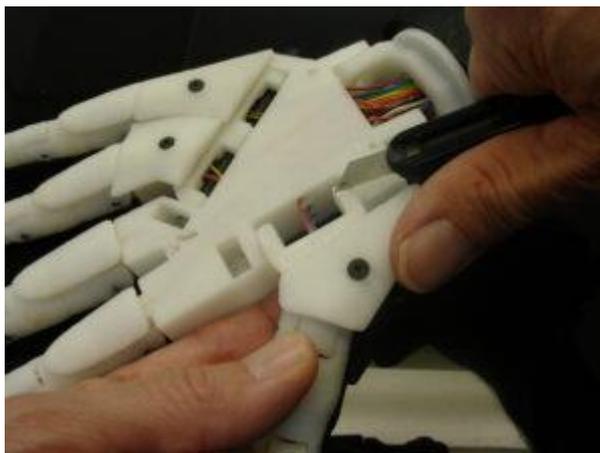
Imagem 58: Passo 54



Fonte: <https://inmoov.fr/wp-content/uploads/2013/09/DSC06521.jpg>

Cole as capas nos dedos. Eles são usados para evitar que o dedo vá muito para trás e adicionam um visual ao design.

Imagem 59: Passo 55



Fonte: <https://inmoov.fr/wp-content/uploads/2013/09/DSC06524.jpg>

## 9 PARTE DIGITAL

Nossa simulação 3D foi iniciada com a procura de modelos 3D de mão e antebraço online para inspiração, após essa etapa desenhamos com polígonos a musculatura e a encaixamos em um modelo de braço também feito com polígonos, levamos algum tempo para moldá-los na tentativa de tornar o mais fiel possível a realidade. Após esta etapa, criamos movimentos através da ferramenta Esqueleto do programa Unyt, e desenvolvemos apenas aqueles movimentos cujo nossa parte mecânica apresenta. Separamos a musculatura pra cada dedo e aplicamos nomes e criamos algumas variáveis em função da organização do projeto. Criamos um gradiente de cores que mais pra frente será utilizado para indicar a força aplicada na musculatura. Iniciamos o código associando nossas variáveis e nossos músculos aos seus respectivos dedos, colocando um valor global que seria indicado para todos os músculos que varia de acordo com o movimento do dedo em questão, logo após aplicamos o gradiente de cores em função desse valor, a medida que o esqueleto (ferramenta utilizada para criar movimento) se mexia, o valor global era alterado, indicando em que ponto de 0-100% a cor teria que estar dentro do gradiente. Em seguida limitamos o movimento buscando novamente aproximar a simulação da realidade. E por fim criamos um slider, que quando é estimulado, muda o valor global, mudando não só o movimento do dedo como também a cor, associamos cada slider a um dedo e o slider recebe a informação do potenciômetro (viabilizado por conta do Arduino) e age direta e proporcionalmente ao movimento dele, que está ligado também a parte do exoesqueleto.

Imagem 60: Prótese Digital



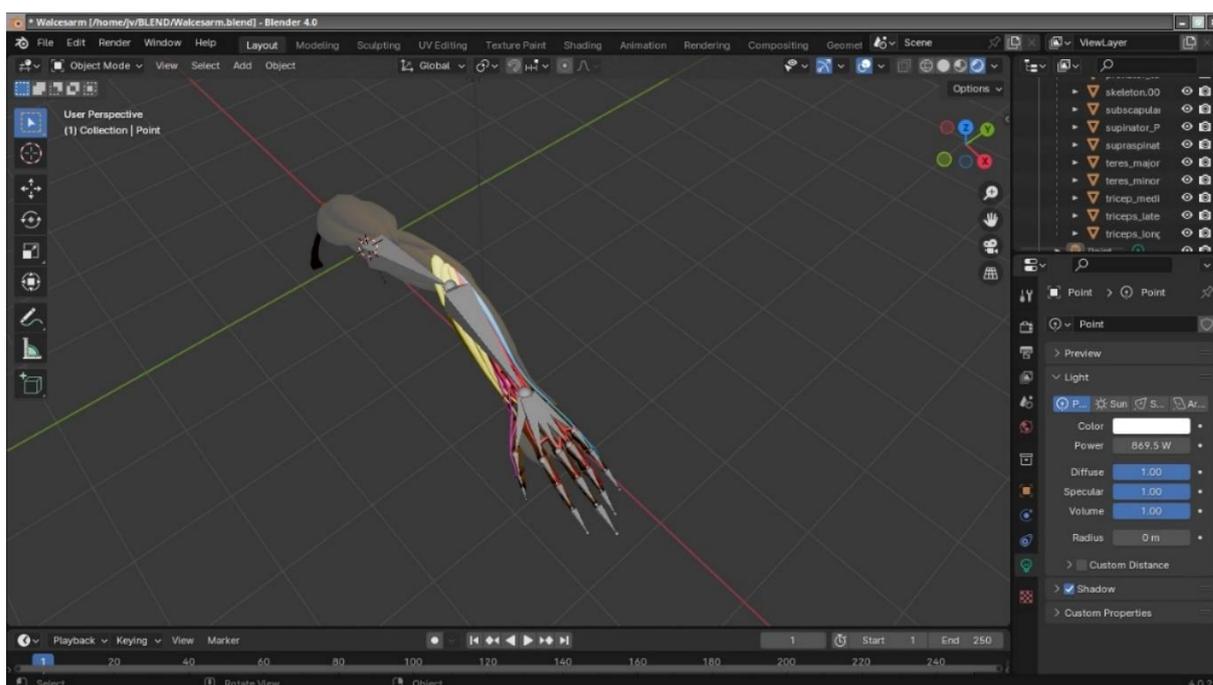
Fonte: Dos Autores, 2024

Imagem 61: Prótese Digital



Fonte: Dos Autores, 2024

Imagem 62: Prótese Digital



Fonte: Dos Autores, 2024

Imagem 63: Código da Prótese Digital

```

1 using System.Collections;
2 using System.Collections.Generic;
3 using UnityEngine;
4
5
6
7 public class Movement : MonoBehaviour
8 {
9     [SerializeField]
10    Gradient walcecolors = new Gradient();
11
12
13    [SerializeField]
14    GameObject cdedon1;
15    [SerializeField]
16    GameObject cdedon2;
17    [SerializeField]
18    GameObject cdedon3;
19    [SerializeField]
20    GameObject cindicador;
21    [SerializeField]
22    GameObject cdedin;
23    [SerializeField]
24    GameObject digitorium;
25
26    //nomes lindos (cdedon)=color dedon
27
28
29
30    [SerializeField]
31    GameObject dedon;
32    [Range(0.0f,100.0f)]
33    public float dedonval=0;
34
35
36
37    [SerializeField]
38    GameObject indicador;
39    [Range(0.0f,100.0f)]
40    public float indicadorval=0;
41

```

Fonte: Dos Autores, 2024

Imagem 64: Código da Prótese Digital

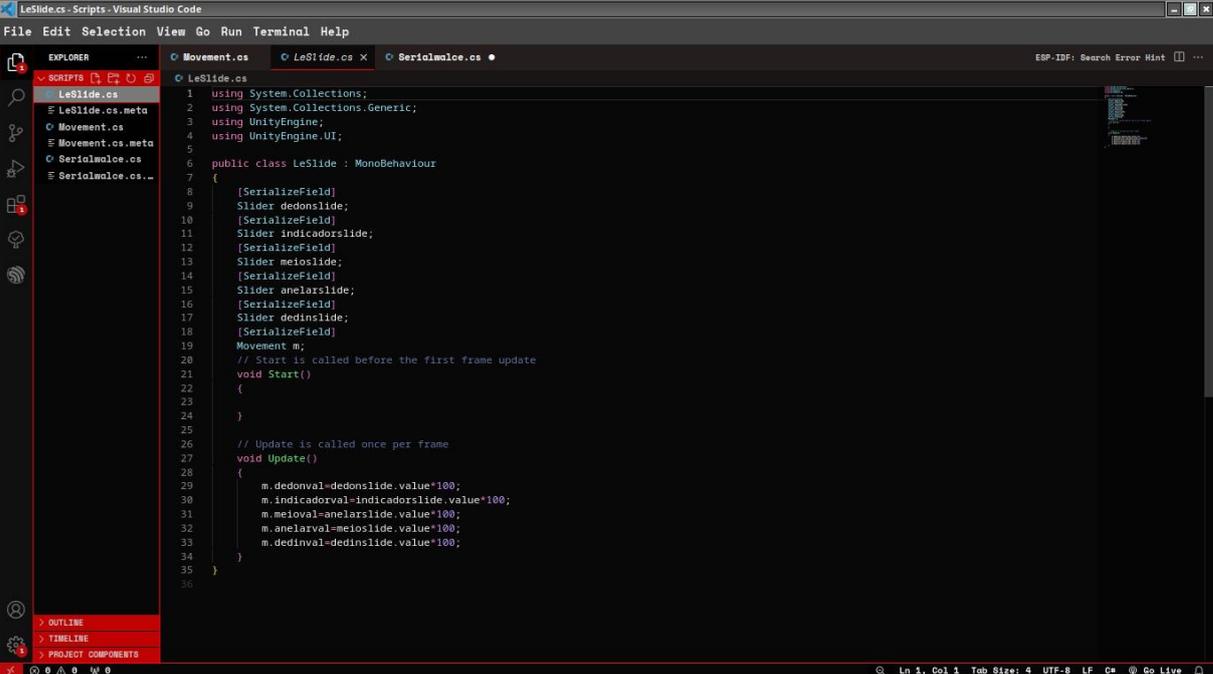
```

58 public float dedinval=0;rotation = Quaternion.RotateTowards(dedoncurrent, targetRotation, 200f * Time.deltaTime);
59 {
60
61     indicador.transform.eulerAngles=new Vector3(indicador.transform.eulerAngles.x,indicador.transform.eulerAngles.y,indicadorval*1.5f+90);
62
63     meio.transform.eulerAngles=new Vector3(meio.transform.eulerAngles.x,meio.transform.eulerAngles.y,meioval*1.5f+90);
64
65     anelar.transform.eulerAngles=new Vector3(anelar.transform.eulerAngles.x,anelar.transform.eulerAngles.y,anelarval*1.5f+90);
66
67     dedin.transform.eulerAngles=new Vector3(dedin.transform.eulerAngles.x,dedin.transform.eulerAngles.y,dedinval*1.5f+90);
68
69
70     //Cores
71
72     cdedon1.GetComponent<Renderer>().material.SetColor("_Color",walcecolors.Evaluate(dedonval/100f));
73     cdedon2.GetComponent<Renderer>().material.SetColor("_Color",walcecolors.Evaluate(100f-(dedonval/100f)));
74     cdedon3.GetComponent<Renderer>().material.SetColor("_Color",walcecolors.Evaluate(dedonval/100f));
75
76     cindicador.GetComponent<Renderer>().material.SetColor("_Color",walcecolors.Evaluate(indicadorval/100f));
77
78     cdedin.GetComponent<Renderer>().material.SetColor("_Color",walcecolors.Evaluate(dedinval/100f));
79
80     //DIGITORIUM
81     digitorium.GetComponent<Renderer>().material.SetColor("_Color",walcecolors.Evaluate((anelarval-meioval-indicadorval)/3f/100f));
82
83 }
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105

```

Fonte: Dos Autores, 2024

Imagem 65: Código da Prótese Digital



```
1 using System.Collections;
2 using System.Collections.Generic;
3 using UnityEngine;
4 using UnityEngine.UI;
5
6 public class LeSlide : MonoBehaviour
7 {
8     [SerializeField]
9     Slider dedonslide;
10    [SerializeField]
11    Slider indicadoreslide;
12    [SerializeField]
13    Slider meioslide;
14    [SerializeField]
15    Slider anelarslide;
16    [SerializeField]
17    Slider dedinslide;
18    [SerializeField]
19    Movement m;
20    // Start is called before the first frame update
21    void Start()
22    {
23    }
24
25
26    // Update is called once per frame
27    void Update()
28    {
29        m.dedonval=dedonslide.value*100;
30        m.indicadorval=indicadorslide.value*100;
31        m.meioval=anelarslide.value*100;
32        m.anelarval=meioslide.value*100;
33        m.dedInval=dedinslide.value*100;
34    }
35
36
```

Fonte: Dos Autores, 2024

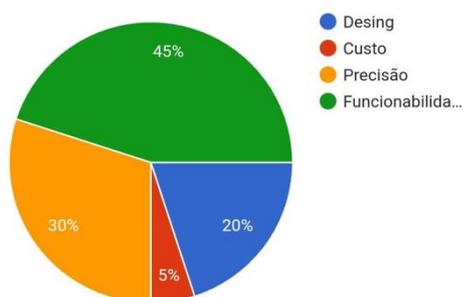
## 10 PESQUISA DE CAMPO

Nossa pesquisa de campo foi conduzida com o objetivo de coletar dados, nos proporcionando uma análise mais profunda e detalhada.

Imagem 66: Pergunta Forms

1. Quais características você considera mais atraente em um braço mecânico?

20 respostas

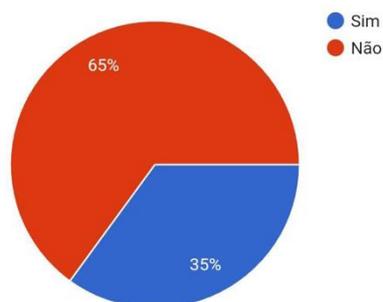


Fonte: Dos Autores, 2024

Imagem 67: Pergunta Forms

2. Você já utilizou ou trabalhou com algum tipo de braço mecânico anteriormente?

20 respostas

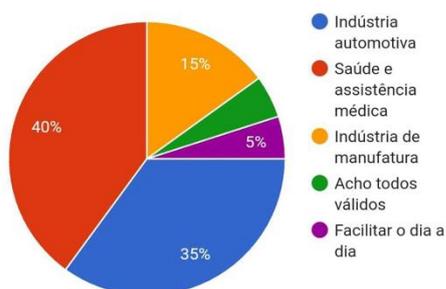


Fonte: Dos Autores, 2024

Imagem 68: Pergunta Forms

3. Em quais áreas você acredita que os braços mecânicos são mais úteis ou necessários?

20 respostas

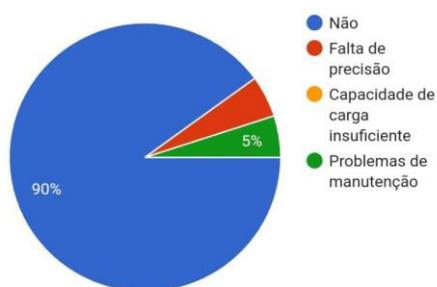


Fonte: Dos Autores, 2024

Imagem 69: Pergunta Forms

4. Você já teve alguma experiência negativa ao usar um braço mecânico? Se sim, qual foi o problema?

20 respostas

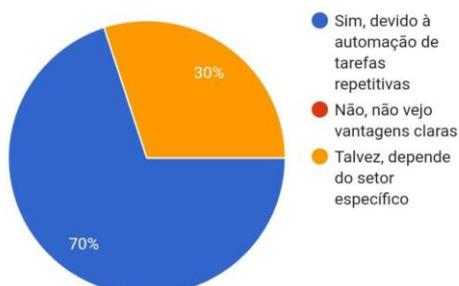


Fonte: Dos Autores, 2024

Imagem 70: Pergunta Forms

5. Você acredita que os braços mecânicos podem melhorar a eficiência e produtividade em determinados setores? Por quê?

20 respostas

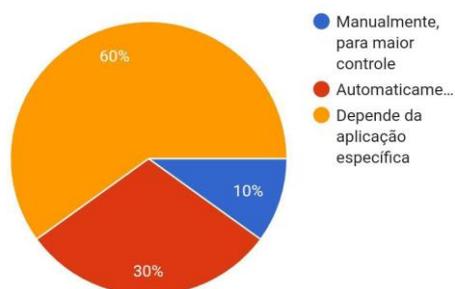


Fonte: Dos Autores, 2024

Imagem 71: Pergunta Forms

6. Você prefere braços mecânicos controlados manualmente ou automaticamente? Por quê?

20 respostas

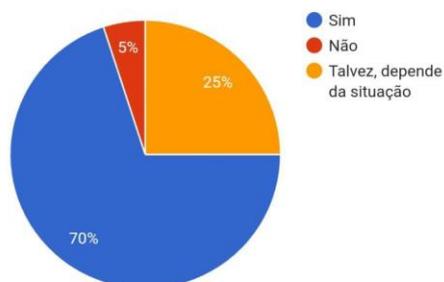


Fonte: Dos Autores, 2024

### Imagem 72: Pergunta Forms

7. Você acredita que os braços mecânicos podem ser uma solução viável para tarefas perigosas ou de alto risco?

20 respostas

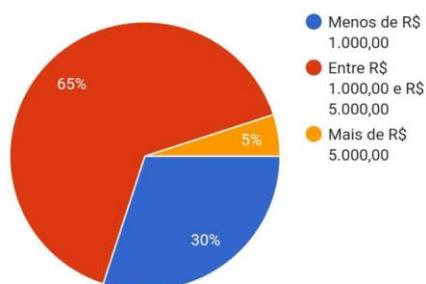


Fonte: Dos Autores, 2024

## Imagem 73: Pergunta Forms

8. Quanto você estaria disposto a investir em um braço mecânico de qualidade para suas necessidades específicas?

20 respostas

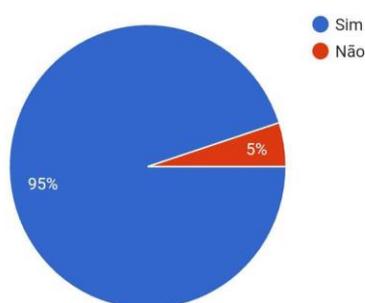


Fonte: Dos Autores, 2024

## Imagem 74: Perguntas Forms

9. Você acha ideia do projeto interessante?

20 respostas

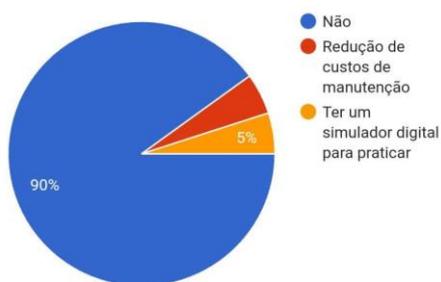


Fonte: Dos Autores, 2024

### Imagem 75: Pesquisa Forms

10. Você tem alguma sugestão ou recurso adicional que gostaria de ver em um braço mecânico ideal?

20 respostas



Fonte: Dos autores, 2024

## 11 CRONOGRAMA

O cronograma que nós elaboramos considerou a organização e eficiência no desenvolvimento do projeto de forma estruturada e objetiva, contido em etapas bimensais. Cada uma delas corresponde a um aspecto identificado no processo, fornecendo uma visão cronológica sobre o andamento e abrindo a oportunidade para ajustes. Ele parte desde a concepção da ideia inicial até a preparação para apresentação final, e considera as etapas de pesquisa, experimentação, desenvolvimento técnico e acadêmico.

Imagem 76: Cronograma do desenvolvimento

Quinzena 1	04/03	Quinzena 2	21/03	Quinzena 3	05/04	Quinzena 4	20/04
Escolha do projeto		Pesquisa do Projeto		Compra dos materiais		Início das projeções em impressora 3D	
Desenvolvimento da ideia do projet		Escolha dos materiais		Chegada dos Materiais		Agendamento das Impressões em 3D	
Quinzena 5		Quinzena 6	20/05	Quinzena 7	05/06	Quinzena 8	20/06
Primeiras Impressões em 3D		Início do estudo da musculatura humana da mão		Continuação das Impressões		Compra da terceira parte de materiais	
Programação do Arduino da parte		Continuação das impressões em 3D		Compra da segunda partes dos materiais		Continuação das impressões	
Quinzena 9	05/07	Quinzena 10	20/07	Quinzena 11	04/08	Quinzena 12	19/08
Recesso Escolar		Recesso Escolar		Estudo da Musculatura da mão humana		Início da montagem da parte física do projeto	
				Termino das Impressões em 3D		Termino da coleta de dados da musculatura da mão humana	
Quinzena 13	03/09	Quinzena 14	18/09	Quinzena 15	03/10	Quinzena 16	18/10
Início da programação da parte dig		Desenvolvimento da programação da parte digital		Desenvolvimento da programação da parte digital		Desenvolvimento da programação da parte digital	
Testes da parte física		Início do desenvolvimento da parte escrita		Desenvolvimento da parte escrita		Desenvolvimento da parte escrita	
Quinzena 17	02/11	Quinzena 18	17/11				
Desenvolvimento da programação		Termino da parte escrita					
Desenvolvimento da parte escrita		Termino da parte digital					
Testes da parte digital		Encerramento do desenvolvimento do projeto					
		Ensaio para apresentação do projeto					

Fonte: Dos Autores, 2024

## 12 CONCLUSÃO

Em outras palavras, a pesquisa propôs que a prótese mecânica controlada por exoesqueleto é possível. O uso de sensor, atuador e microcontrolador poderia produzir protótipos altamente precisos para executar o movimento semelhante ao humano. Como resultado da flexibilidade e riqueza de recursos no desenvolvimento de aplicativos, com base em hardware e software de código aberto, como Arduino, ele é escolhido juntamente com a interface fácil para MATLAB/Simulink para controle e teste de protótipos. A simulação 3D é prevista como dando uma visão muito boa de como o sistema mecânico funciona.

As implicações desta pesquisa são, portanto, consideradas como dando muitos frutos para o futuro. Se concretizado, isso teria um enorme impacto na melhoria da qualidade de vida de indivíduos com perda de membros ou deficiências por meio de tecnologias revolucionárias de reabilitação e assistência que oferecem muito mais em termos de independência e mobilidade. Além disso, há a possibilidade de revolucionar a reabilitação e as tecnologias de assistência por meio dessas próteses. Finalmente, os princípios que foram implementados neste projeto seriam aplicados a outra aplicação da robótica; interação humano-robô ou exoesqueleto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

<https://www.arduino.cc/>

<https://www.datasheet4u.com/datasheet-pdf/ETC/MG995/pdf.php?id=839879>

[https://inmoov.fr/hand-and-forarm/?doing\\_wp\\_cron=1723049165.4160621166229248046875](https://inmoov.fr/hand-and-forarm/?doing_wp_cron=1723049165.4160621166229248046875)

<https://youtu.be/2CE6ndly9vo?si=NkZIREd-zJmpS-sX>

## **13 ANEXO**

Anexo 1

Imagem 77: Programação para definir os servos em 90°

```

#include <Servo.h>

Servo servothumb;          // Define thumb servo
Servo servoindex;         // Define index servo
Servo servomajeure;
Servo servoringfinger;
Servo servopinky;
Servo servowrist;
Servo servobiceps;
Servo servorotate;
Servo servoshoulder;
Servo servoomoplat;
Servo servoneck;
Servo servorothead;

void setup() {
  servothumb.attach(2); // Set thumb servo to digital pin 2
  servoindex.attach(3); // Set index servo to digital pin 3
  servomajeure.attach(4);
  servoringfinger.attach(5);
  servopinky.attach(6);
  servowrist.attach(7);
  servobiceps.attach(8);
  servorotate.attach(9);
  servoshoulder.attach(10);
  servoomoplat.attach(11);
  servoneck.attach(12);
  servorothead.attach(13);
}

void loop() {           // Loop through motion tests
  alltovirtual();      // Example: alltovirtual
  delay(4000);         // Wait 4000 milliseconds (4 seconds)
  //alltorest();       // Uncomment to use this
  //delay(4000);       // Uncomment to use this
  //alltomax();        // Uncomment to use this
  //delay(2000);       // Uncomment to use this
}

```

Fonte: Dos Autores, 2024

## Anexo 2

Imagem 78: Programação para definir os servos em 90°

```

}
// Motion to set the servo into "virtual" 0 position: alltovirtual
void alltovirtual() {
  servothumb.write(0);
  servoindex.write(0);
  servomajeure.write(0);
  servoringfinger.write(0);
  servopinky.write(0);
  servowrist.write(0);
  servobiceps.write(0);
  servorotate.write(20); //Never less then (20 degree)
  servoshoulder.write(30); //Never less then (30 degree)
  servoomoplat.write(10); //Never less then (10 degree)
  servoneck.write(0);
  servorothead.write(0);
}
// Motion to set the servo into "rest" position: alltorest
void alltorest() {
  servothumb.write(0);
  servoindex.write(0);
  servomajeure.write(0);
  servoringfinger.write(0);
  servopinky.write(0);
  servowrist.write(0);
  servobiceps.write(0);
  servorotate.write(90); //Never less then (20 degree)
  servoshoulder.write(30); //Never less then (30 degree)
  servoomoplat.write(10); //Never less then (10 degree)
  servoneck.write(90);
  servorothead.write(90);
}

// Motion to set the servo into "max" position: alltomax
void alltomax() {
  servothumb.write(180);
  servoindex.write(180);
  servomajeure.write(180);
  servoringfinger.write(180);
  servopinky.write(180);
}

```

Fonte: Dos Autores, 2024

### Anexo 3

Imagem 79: Programação para definir os servos em 90°

```

servobiceps.write(85);    //Never more then (85 or 90degree)
servorotate.write(110);  //Never more then (110 degree)
servoshoulder.write(130); //Never more then (130 degree)
servoomoplat.write(70);  //Never more then (70 degree)
servoneck.write(180);
servorothead.write(180);

}

```

Fonte: Dos Autores, 2024

#### Anexo 4

Imagem 80: Programação do exoesqueleto

```

// inclui biblioteca do servomotor
#include <Servo.h>

// define pinos dos servos
#define pinServ1 2
#define pinServ2 3
#define pinServ3 4
#define pinServ4 5
#define pinServ5 6

// define as portas dos potenciômetros
#define pot1 A0
#define pot2 A1
#define pot3 A2
#define pot4 A3
#define pot5 A4

// nomeia os servos
Servo serv1,serv2,serv3,serv4,serv5;

```

Fonte: Dos Autores, 2024

#### Anexo 5

Imagem 81: Programação do exoesqueleto

```
void loop() {  
  
    // leitura dos potenciômetros  
    motor1 = map(analogRead(pot1), 0, 1023, 0, 180);  
    motor2 = map(analogRead(pot2), 0, 1023, 0, 180);  
    motor3 = map(analogRead(pot3), 0, 1023, 85, 180);  
    motor4 = map(analogRead(pot4), 0, 1023, 0, 43);  
    motor5 = map(analogRead(pot5), 0, 1023, 0, 43);  
  
    // posicionamento dos potenciômetros  
    serv1.write(motor1);  
    serv2.write(motor2);  
    serv3.write(motor3);  
    serv4.write(motor4);  
    serv5.write(motor5);  
  
    if ((millis() - mostradorTimer) >= intervaloMos  
  
    // envio para o monitor serial do posicionamento:  
    Serial.println("*****");
```

Fonte: Dos Autores, 2024

Imagem 82: Programação do exoesqueleto

```
// cria as variáveis dos ângulos de cada motor
int motor1,motor2,motor3,motor4,motor5;

unsigned long mostradorTimer = 1;
const unsigned long intervaloMostrador = 5000;

void setup() {

    //inicia o monitor serial
    Serial.begin(9600);

    // atribui pinos dos servos
    serv1.attach(pinServ1);
    serv2.attach(pinServ2);
    serv3.attach(pinServ3);
    serv4.attach(pinServ4);
    serv5.attach(pinServ5);

}
```

Fonte: Dos Autores, 2024

Imagem 83:Programação do exoesqueleto

```
Serial.print("Pot5:");  
Serial.print(analogRead(pot5));  
Serial.print(" Angulo Motor5:");  
Serial.println(motor5);  
  
mostradorTimer = millis();  
}  
  
// tempo de espera para recomeçar  
delay(100);  
  
}
```

Fonte: Dos Autores, 2024

Imagem 84; Programação do exoesqueleto

```
Serial.print("Pot1:");  
Serial.print(analogRead(pot1));  
Serial.print(" Angulo Motor1:");  
Serial.println(motor1);  
  
Serial.print("Pot2:");  
Serial.print(analogRead(pot2));  
Serial.print(" Angulo Motor2:");  
Serial.println(motor2);  
  
Serial.print("Pot3:");  
Serial.print(analogRead(pot3));  
Serial.print(" Angulo Motor3:");  
Serial.println(motor3);  
  
Serial.print("Pot4:");  
Serial.print(analogRead(pot4));  
Serial.print(" Angulo Motor4:");  
Serial.println(motor4);
```

Fonte: Dos Autores, 2024