

**Etec EURO ALBINO DE SOUZA**  
**ENSINO MÉDIO COM HABILITAÇÃO PROFISSIONAL DE TÉCNICO**  
**EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL**

**MATHEUS FELIPE AGOSTINHO**  
**MIGUEL BUJARY RANGEL DE OLIVEIRA**  
**NATHAN DANIEL RAMIRO PEQUENO**  
**OTÁVIO ERNESTO DOS SANTOS**  
**NATHAN GUILHERME DE MATOS E SILVA**

**MÃO BIÔNICA CONTROLADA POR VISÃO**  
**COMPUTACIONAL**

**Etec Euro Albino de Souza**  
**Ensino Médio com Habilitação Profissional de Técnico**  
**em Automação Industrial**

**MATHEUS FELIPE AGOSTINHO**  
**MIGUEL BUJARY RANGEL DE OLIVEIRA**  
**NATHAN DANIEL RAMIRO PEQUENO**  
**OTÁVIO ERNESTO DOS SANTOS**  
**NATHAN GUILHERME DE MATOS E SILVA**

**MÃO BIÔNICA CONTROLADA POR VISÃO**  
**COMPUTACIONAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Etec Euro Albino de Souza, do Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, submetida à banca examinadora do curso Ensino Médio com Habilitação Profissional, como requisito para obtenção do diploma de Técnico em Automação industrial.

**Orientador:** Prof. Ms. Diogo Pedriali.

P425m Pequeno, Nathan Daniel Ramiro; Silva, Nathan Guilherme de Matos e; Oliveira, Miguel Bujary Rangel de; Santos, Otávio Ernesto dos; Lima, Matheus Felipe Agostinho de.

Mão Biônica: Controle Via OpenCV – Mogi Guaçu/SP, 2024.

50 p.

Trabalho de Conclusão do Curso de Ensino Médio com Habilitação Profissional de Técnico em Automação da ETEC Auro Albino de Souza, de Mogi Guaçu.

Orientador: Professor Mestre Diogo Pedriali  
I. Python. II. OpenCV. III. Biomecânica. IV. Robótica.

CDD: 629.892

**ETEC EURO ALBINO DE SOUZA**  
**ENSINO MÉDIO COM HABILITAÇÃO PROFISSIONAL DE TÉCNICO**  
**EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL**

**MATHEUS FELIPE AGOSTINHO**  
**MIGUEL BUJARY RANGEL DE OLIVEIRA**  
**NATHAN DANIEL RAMIRO PEQUENO**  
**OTÁVIO ERNESTO DOS SANTOS**  
**NATHAN GUILHERME DE MATOS E SILVA**

**MÃO BIÔNICA CONTROLADA POR VISÃO**  
**COMPUTACIONAL**

Monografia aprovada por banca examinadora em 18 de novembro de 2024.

**Banca Examinadora:**

Prof. Diogo Pedriali – (Orientador)

Prof. Cicero Augusto Queiroz de Mello

Prof. Luis Carlos Pompeu

Mogi Guaçu – SP  
2024

## **DEDICATÓRIA**

Esta monografia é dedicada a todos os profissionais os quais foram essenciais para a nossa formação e consolidação dos conhecimentos adquiridos ao longo desses três anos, sobretudo os professores do curso de automação industrial, sendo estes, os professores que residem e ainda ministram aulas: professor Diogo Pedriali, professor Cláudio Lopes da Silva, professor Leandro Piovesan, professor Luis Carlos Pompeu, professor Francisco Nieri, professor Alex Arrais, professor Alexandre Momesso; e professores os quais não ministram mais aulas na ETEC Euro Albino de Souza: professor Deibson Xavier, professor Luiz, professor Fábio Fernandes Barbosa. Gostaria também de dedicar a todos que trabalham em favor da evolução das tecnologias e que planejam cuidadosamente cada aspecto de projetos como este, que visa e possibilita uma melhora significativa na vida de milhares e milhões de pessoas, colocando acima de tudo o bem-estar humano e inclusive a natureza. Por último, dedico este artigo para aqueles que possam usufruir corretamente dele, que possam não somente usá-lo, mas ainda o melhorar e aperfeiçoar.

## AGRADECIMENTOS

O primeiro agradecimento deve ser feito a Deus Todo Poderoso, por enumeráveis coisas, mas principalmente pela conclusão desses três anos de aprendizado e muito estudo, do qual todos dependemos direta ou indiretamente.

Assim também é dever do grupo agradecer a todos os nossos familiares, pais, avós, tios, sobretudo aqueles que desde o início de nossa trajetória nos apoiaram e nos incentivaram, que hão de ser, num futuro próximo, formadores de pessoas com capacidade de moldar o por vir, cidadãos de bem, éticos, livres e responsáveis.

Gostaria de expressar também gratidão aos professores do núcleo comum da ETEC Euro albino de Souza, que foram nossa base, a essência para que pudéssemos avançar em nossas respectivas áreas, tanto de formação acadêmica quanto na formação pessoal e social, instruindo e ensinando. Queremos aqui agradecer especialmente a três de nossos professores do curso, por seu incentivo e colaboração para que este projeto pudesse ter sucesso, sendo estes: professor Diogo Pedriali, professor Luis Carlos Pompeu e professor Alexandre Momesso.

Não esquecendo, é claro, dos nossos colegas de classe e amigos que nos proporcionaram momentos incríveis, divertidos e inesquecíveis, os quais agora ficarão marcados em nossas vidas como lembranças felizes, não se limitando apenas à classe, mas indo além para outros cursos.

Por último, aos profissionais que cuidaram e cuidam da limpeza, segurança, organização da nossa escola, temos tamanha gratidão, a qual não poderia ser expressa apenas em algumas palavras. Todos os estes foram essenciais para a nossa formação acadêmica, além de conformar a cada um de nós em todos os âmbitos possíveis, criando para a sociedade pessoas conscientes, de caráter e justas.

“Não creio que haja uma emoção mais intensa para um inventor do que ver suas criações funcionando. Essas emoções fazem você esquecer de comer, de dormir, de tudo.”

Nikola Tesla

## RESUMO

Esta monografia apresenta o desenvolvimento de um protótipo de mão biônica controlada por visão computacional baseada em inteligência artificial. Voltado para aplicação industrial, este projeto conta com recursos da atual indústria 4.0 e explora as áreas de robótica, engenharia e automação industrial. Para a realização dos objetivos propostos no projeto, foram conduzidas pesquisas detalhadas por artigos, monografias e outros meios escritos a fim de criar uma base teórica técnico-científica sólida. Esse desenvolvimento teórico foi estruturado em quatro etapas fundamentais: a revisão bibliográfica, consulta aos materiais e resultados obtidos, planejamento e execução, com supervisão constante do docente orientador. O projeto se destaca pelo uso de tecnologias de ponta já citadas, aliadas aos recursos possibilitados pela impressão 3D, como a personalização e a adição de sustentabilidade possibilitada pelo PETG, material usado, reciclável e resistente. O funcionamento deste protótipo é baseado na captura de imagens via webcam, processadas em tempo real por um algoritmo de I.A. e o envio de dados para a placa microcontroladora ESP 32, responsável por movimentar as partes das mãos de maneira intuitiva e responsiva. Com potencial integração às demandas industriais mais recentes, como parte de um sistema de controle de gêmeos digitais, além disso, o projeto abre caminhos para futuras aplicações nas áreas da medicina, sobretudo em tecnologias assistivas e reabilitação. Os resultados obtidos, o desenvolvimento da estrutura de antebraço e mão biônica capaz de espelhar movimentos naturais de uma mão humana por meio da captura de imagens combinado com recursos como impressão 3D sustentável e a introdução de IA no projeto, demonstraram viabilidade e inovação por meio de um projeto acessível, inovador, inclusivo, sustentável e tecnológico, com impacto significativo nos campos da biomecânica e robótica, e grande impacto no âmbito industrial. O desenvolvimento do projeto foi valioso para o grupo, contando com obstáculos relacionados à detecção, superado e à manipulação de objetos, enriquecendo o aprendizado e apontando possibilidades para futuras melhorias e expansões do projeto.

**Palavras-chave:** Inteligência Artificial. Visão computacional. Mão biônica. Biomecânica. Robótica.

## **ABSTRACT**

*This monograph presents the development of a prototype of a bionic hand controlled by computer vision based on artificial intelligence. Aimed at industrial application, this project relies on resources from the current Industry 4.0 and explores the areas of robotics, engineering and industrial automation. To achieve the objectives proposed in the project, detailed research was conducted using articles, monographs and other written media to create a solid technical-scientific theoretical basis. This theoretical development was structured in four fundamental stages: bibliographic review, consultation of materials and results obtained, planning and execution, with constant supervision by the supervising professor. The project stands out for the use of cutting-edge technologies already mentioned, combined with the resources made possible by 3D printing, such as customization and the addition of sustainability made possible by PETG, a recyclable and resistant material used. The operation of this prototype is based on capturing images via webcam, processed in real time by an AI algorithm and sending data to the ESP 32 microcontroller board, responsible for moving the parts of the hands in an intuitive and responsive manner. With potential integration into the latest industrial demands, as part of a digital twin control system, the project also paves the way for future applications in the areas of medicine, especially in assistive technologies and rehabilitation. The results obtained, the development of the bionic forearm and hand structure capable of mirroring natural movements of a human hand through image capture combined with resources such as sustainable 3D printing and the introduction of AI into the project, demonstrated feasibility and innovation through an accessible, innovative, inclusive, sustainable and technological project, with a significant impact in the fields of biomechanics and robotics, and also a great impact in the industrial environment. The development of the project was valuable for the group, counting on obstacles related to detection, overcoming and manipulation of objects, enriching the learning and pointing out possibilities for future improvements and expansions of the project.*

**Key words:** *Artificial Intelligence. Computer vision. Bionic hand. Biomechanics. Robotics.*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Acidentes de trabalho	24
Figura 2 - Cronograma	40
Figura 3 - Desenvolvimento do protótipo	41
Figura 4 - Desenvolvimento protótipo	41
Figura 5 - Suporte Antebraço 3D	45
Figura 6 - Suporte Antebraço PETG	45
Figura 7 - i2_HandCoverV1	47
Figura 8 - i2_HandPDI6225V2	47
Figura 9 - i2_FingersX5V2	48
Figura 10 - i2_WristGearV1	48
Figura 11 - i2_CoverFingerV3	49
Figura 12 - i2_FingersMoldX5V3	49
Figura 13 - i2_WristLargeV2	50
Figura 14 - robpart5V4	50
Figura 15 – RobRingV3	51
Figura 16 - LeftRobServoBedV6	51
Figura 17 - RotaWrist1V4	52
Figura 18 - LeftRotaWrist2V3	52
Figura 19 - RotaWrist3V3	53
Figura 20 - WristGearsV5	53
Figura 21 – Bolt_entretoise7	54
Figura 22 - LeftRobCableBackV3	54
Figura 23 - LeftRobCableFrontV3	55
Figura 24 - não identificado	55
Figura 25 - robpart2V4	56
Figura 26 - robpart3V4	56
Figura 27 - robpart4V4	57
Figura 28 - Ligações Eletrônicas	58
Figura 29 - Remoção dos suportes e aparagem	59
Figura 30 - Montagem dos Robparts juntos	59
Figura 31 - Espere a cola hobby secar	60

Figura 32 - Verificar se as peças estão limpas	60
Figura 33 - Repita o processo com a part 3 e 4	61
Figura 34 - Inserir as porcas para os parafusos	61
Figura 35 – Lixar	62
Figura 36 - Encaixe do Robpart5	62
Figura 37 - Colar ou parafusar a base do servo.	63
Figura 38 - Montagem dos servos à base	63
Figura 39 - Parafuse todos os motores	64
Figura 40 - Limpe os furos preenchidos	64
Figura 41- Conferir.	65
Figura 42 - Encaixar as polias nos servos	65
Figura 43 - Remover o suporte do RotaWrist1	66
Figura 44 - Fure novamente se necessário.	66
Figura 45 - Certificar o encaixe nos RobParts	67
Figura 46 - Sugestão para uma adaptação melhor	67
Figura 47 - Montagem correta dos RobParts.	68
Figura 48 - Colagem do RotaWrist1 ao Robpart2	68
Figura 49 - Colagem do servo de pulso	69
Figura 50 – Montagem do servomotor	69
Figura 51 - Furar com a broca M3 se necessário.	70
Figura 52 - Refurar os furos	70
Figura 53 - Refurar com a broca m3	71
Figura 54 - Colar as partes do eixo	71
Figura 55 - Verificar o eixo	72
Figura 56 - Montagem do RobCableFront	72
Figura 57 - Amostragem do WristGear	73
Figura 58 - Ajuste do Servomotor	73
Figura 59 - Parafuse o conjunto ao pulso.	74
Figura 60 - Montagem da engrenagem.	74
Figura 61 - Encaixe o RotaWrist2	75
Figura 62 - Alinhe a engrenagem principal e o RotaWrist3.	75
Figura 63 - Remover o pedaço de pré-suporte Impresso.	76
Figura 64 - Limpe as bordas caso necessário.	76
Figura 65 - ??????	77

Figura 66 - Refurar o WristLarge.	77
Figura 67 - Preparar os furos para os parafusos M3 x 16 mm.	78
Figura 68 - Limpar todos os furos de cada dedo.	78
Figura 69 - Limpar os furos de cada uma das 3 seções dos dedos	79
Figura 70 - Limpe a saída do sensor do corredor.	79
Figura 71 - Limpar o furo onde a mola será fixada.	80
Figura 72 - Certificar que as três seções de cada dedo se encaixem e se movam.	80
Figura 73 - Limpar a seção dos dedos.	81
Figura 74 - Certificar que a agulha possa deslizar através da seção do dedo.	82
Figura 75 - Adicionar e montar as seções de dedos juntas.	82
Figura 76 - Certificar se as entradas estejam desobstruídas.	83
Figura 77 - Preparar a linha de pesca e as passar por cada dedo.	83
Figura 78 - Passar a linha de pesca pelo WristLarge.	84
Figura 79 - Amostragem do resultado após passar a linha de pesca.	84
Figura 80 - Limpar os invólucros dos parafusos de 3 mm.	85
Figura 81 - Adicionar os parafusos para a montagem dos dedos ao WristLatge.	85
Figura 82 - Montar o WristLarge no RotaWrist3	86
Figura 83 - Colocar um mini-grampo nas rachaduras	86
Figura 84 - Colocar e parafusar a tampa da palma da mão	87
Figura 85 - Colocar as fitas nas rachaduras	87
Figura 86 - Passar os tubos através dos tubos de teflon.	88
Figura 87 - Passar os tubos pelos furos da cama do servo.	88
Figura 88 - Linha de pesca pelo tubo	89
Figura 89 - Colocar a ponta do tubo no furo.	89
Figura 90 - Repetir a operação para todos os dedos.	90
Figura 91 - Molas	90
Figura 92 - Passar pela mola a linha de pesca.	91
Figura 93 - Passar a linha pelo furo da mola.	91
Figura 94 - Passar a mola pela seção do dedo.	92
Figura 95 - Usar parafusos pequenos	92
Figura 96 - Corte o parafuso.	93
Figura 97 - Parafuso	93
Figura 98 - Segure a mola.	94
Figura 99 - Monte o pequeno parafuso para fixar a mola.	94

Figura 100 – Pequeno Parafuso.	95
Figura 101 - dfrkytsxdktsxdktsxdrktsdrektsek.	95
Figura 102 - Montar o parafuso	95
Figura 103 - Retire a linha de pesca antes de apertar o parafuso.	96
Figura 104 - Aperte o parafuso com cuidado.	96
Figura 105 - Pegue Agulhas	97
Figura 106 - Use a agulha para atravessar a mola no dedo.	97
Figura 107 - Passe a segunda agulha pela segunda seção do dedo.	98
Figura 108 - Corte as agulhas.	98
Figura 109 - Coloque uma gota de cola para que a agulha não saia.	99
Figura 110 - Faça o mesmo com o polegar.	99
Figura 111 - Coloque o parafuso na tampa e segure a mola no lugar.	100
Figura 112 – Cuidado, não forçar a rosca na ponta do dedo.	100
Figura 113 - Repita para cada dedo.	101
Figura 114 - Sugestão para montar a capa de dedo.	101
Figura 115 - Amostragem do resultado.	102
Figura 116 - Passo a passo para segurar a linha de pesca no lugar.	102
Figura 117 - Corte o a cola com a tesoura afiada.	103
Figura 118 - Forme um nó grande	103
Figura 119 - Aperte o nó e coloque o parafuso.	104

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Cronograma .....	42
Quadro 2 - Desenvolvimento do protótipo .....	43
Quadro 3 - Desenvolvimento do protótipo parte 2.....	43

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>ETEC</b>	Escolas Técnicas do Estado de São Paulo
<b>PcD</b>	Pessoas com Deficiência
<b>IMM</b>	Interface cérebro máquina
<b>3D</b>	Tridimensional
<b>PETG</b>	Polietileno Tereftalo Glicol
<b>PET</b>	Tereftalato de Polietileno
<b>PLA</b>	Ácido Polilático
<b>ESAW</b>	European Statistics on Accidents at Work
<b><i>OpenCV</i></b>	Open-Source Computer Vision Library
<b>UE</b>	União Europeia
<b>EPI</b>	Equipamentos de proteção individual
<b>FPS</b>	Frames por segundo
<b>PWM</b>	Pulse Width Modulation
<b>BITS</b>	Binary digit
<b>GPIO</b>	General-Purpose Input/Output
<b>USB</b>	Universal Serial Bus
<b>HD</b>	High Definition
<b>CM</b>	Centímetros
<b>MM</b>	Milímetros
<b>M</b>	Metros
<b>KG</b>	Quilograma
<b>HBR</b>	Harvard Business Review
<b>IBM</b>	International Business Machines Corporation
<b>SciELO</b>	Scientific Electronic Library Online
<b>EUROSTAT</b>	European Statistics

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>17</b>
1.1	OBJETIVO GERAL .....	18
1.1.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
1.2	JUSTIFICATIVA.....	18
1.3	ANÁLISE FINANCEIRA .....	19
1.4	ANÁLISE SOCIAL.....	20
1.4.1	ANÁLISE AMBIENTAL.....	21
1.4.2	ANÁLISE DE SEGURANÇA .....	21
1.5	RELEVÂNCIA .....	22
1.6	ACESSIBILIDADE.....	23
<b>2</b>	<b>DESENVOLVIMENTO.....</b>	<b>24</b>
2.1	REFERENCIAL TEÓRICO.....	39
2.1.1	METODOLOGIA CIENTÍFICA .....	41
2.2	CRONOGRAMA.....	42
2.3	FUNDAMENTAÇÃO .....	44
2.4	RECURSOS NECESSÁRIOS E CUSTOS.....	45
2.5	DETALHAMENTOS .....	47
2.5.1	IMPRESSÃO.....	47
2.5.2	DIAGRAMA ELETRÔNICO.....	60
2.6	CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO .....	60
2.6.1	Antebraço.....	61
2.6.2	Mão .....	71
2.7	PROTOCOLO DE TESTES .....	106
2.7.1	EXECUÇÃO DOS TESTES .....	107
2.7.2	COLETA DE DADOS DOS TESTES .....	107
2.7.3	ANÁLISE DOS DADOS DOS TESTES.....	108
2.8	MELHORIAS.....	108
2.9	ASPECTOS POSITIVOS .....	109
2.10	RISCOS .....	109
2.11	DIFERENCIAIS.....	110
<b>3</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>111</b>
3.1	TRABALHOS FUTUROS.....	111
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>113</b>

# 1 INTRODUÇÃO

A robótica e seus benefícios têm o potencial de transformar os empregos e as organizações. Ao contrário de alguns estudos que apontavam declínio de emprego devido ao seu uso nas fábricas, foi descoberto que investimentos na área apenas reduzem cargos de supervisão e gerência, entretanto tais investimento acabam por trazer aumento significativo dos empregos. (DIXON; HONG; WU, 2021)

Com a inauguração da atual indústria 4.0, o uso frequente e crescente de ferramentas como inteligência artificial tem potencializado, em proporções antes inimagináveis, a robótica. Seus impactos podem ser observados em diversas áreas, como redes industriais, urbanas, comércio e acredita-se que sua aplicação se torne predominante em muitas outras camadas da sociedade.

Nesse contexto, após análises, discussões e considerações sobre as tendências tecnológicas e de mercado, foi decidido pelo grupo o desenvolvimento de um projeto voltado à robótica. O grupo optou pela construção de uma *bionic hand*, em tradução livre, uma mão biônica, um projeto inovador que combina recursos avançados em automação industrial, como programação avançada, impressão 3D e inteligência artificial. Ademais, o projeto também verifica futuras adaptações e estudos na área da neurobiologia, com vistas à evolução do projeto como prótese.

O protótipo, mão biônica, opera por base da réplica em tempo real dos movimentos de uma mão humana. Utilizando uma webcam, o sistema capta imagens da mão de um usuário que controla o dispositivo. E por meio destas imagens, após seu processamento, é iniciado o mapeamento da mão por um *script* desenvolvido em Python, com a biblioteca *OpenCV*, o qual realiza a estruturação de pontos principais da mão, e os converte em matrizes numéricas. Esses dados então são transmitidos para a placa microcontroladora utilizada, o ESP 32, responsável pelas partes componentes da mão, o que permite à mão biônica replicar os movimentos naturais de uma mão humana, de maneira intuitiva e responsiva

Após a introdução, será abordado ao decorrer desta monografia o modo o qual foi escolhido a mão biônica para a construção, considerações e adaptações futuras, custos e análises de materiais, abordagem e metodologia usada, pesquisas, bem como o desenvolvimento do inicial ao final, incluindo testes, correções e as etapas até a conclusão do trabalho.

## **1.1 OBJETIVO GERAL**

O objetivo principal do projeto é desenvolver uma mão biônica que exerça a função, no âmbito industrial, de um sistema, ou parte integrante, de controle de estações de gêmeas digitais com o foco de estudo em biomecânica.

Prioritariamente o protótipo desenvolvido visa o uso e aplicação no setor industrial, devido as suas características especiais, como a adição do sistema de visão computacional para o controle natural da mão biônica através da réplica de movimentos em tempo real, e mantém em segundo plano, futuras adaptações para seu uso como tecnologia assistiva, ou uma prótese de alta tecnologia.

Seu foco, de modo geral, se dá na integração de conceitos de biomecânica e biomedicina, bem como o acréscimo de tecnologias de ponta e inovadoras da automação industrial e mecânica.

### **1.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Para atingir o objetivo geral do projeto, foi definido pela equipe três objetivos específicos, sendo estes (i) realização de pesquisa detalhada utilizando plataformas de busca acadêmica por artigos, monografias ou outros meios escritos para apoio e embasamento técnico-científico tanto na elaboração do protótipo quanto construção e defesa, justificativa para tal; (ii) utilização dos recursos e progresso do projeto com implementação do sistema de visão computacional, inteligência artificial como elementos inovadores, feita montagem e ajustes mecânicos de correção; (iii) realização de testes e análise de resultados obtidos, conclusão do protótipo final e constatação da resolução do problema foco e objetivo do projeto.

## **1.2 JUSTIFICATIVA**

O desenvolvimento de uma estrutura robótica, antebraço e mão biônica se alinha com o progresso técnico, científico e acadêmico dos últimos anos. Sua versatilidade de implementação e o alcance de expectativas permitem seu uso nos campos da indústria, medicina, educação, características e aspectos que o tornam extremamente relevante para as aplicações em automação.

Este trabalho de conclusão de curso tem o potencial de contribuir significativamente nas áreas científicas, especialmente na medicina, com a reabilitação e construção de próteses, com alguns ajustes e modificações futuras no projeto, e já citada, aplicação no meio industrial, que permitiria uma integração a outros meios e sistemas através da personalização de peças, inovando com o uso de materiais leves e flexíveis, além da introdução de elementos tecnológicos de ponta, contribuindo pelo progresso técnico.

Adicionalmente, o emprego do projeto em áreas de risco, como no manuseio de materiais perigosos ou em tarefas repetitivas que exijam de precisão, reforça a sua aplicabilidade.

A integração de tecnologias emergentes, de alta precisão, como o *OpenCV* e as placas microcontroladora, aliadas aos recursos da impressão 3D, cooperam para um controle mais eficiente e intuitivo do dispositivo. Esses fatores promovem o desenvolvimento de novas técnicas e algoritmos em visão computacional, otimizando o controle de dispositivos robóticos, contribuindo para o progresso do conhecimento científico.

Por fim, o projeto reflete o progresso acadêmico alcançado ao longo desses três anos de curso de Automação Industrial, integrando os conhecimentos obtidos em suas disciplinas como Microcontroladores, Programação de sistemas, Robótica e Eletrônica. O caráter interdisciplinar do projeto o torna uma excelente oportunidade de aplicação e aprendizado de novos conhecimentos.

Além de contribuir com o desenvolvimento prático, o projeto oferece também oportunidades de aprendizado e aplicação acadêmica a serem feitas sobre diversas perspectivas, propiciando avanços em diversas disciplinas e promovendo a inovação em automação industrial e biomecânica.

### **1.3 ANÁLISE FINANCEIRA**

Atualmente, o mercado para a compra de dispositivos robóticos e tecnologias assistivas apresenta barreiras de acesso para pessoas e empresas com rendas abaixo da média, devido aos seus valores elevados, fato que ocorre pela complexidade das tecnologias usadas e uma mão de obra especializada mais dispendiosa. Analisando o quesito de acessibilidade financeira, o grupo desenvolveu

uma mão biônica que combina tecnologia de ponta com um preço acessível, sem a perda de funcionalidade.

Esse fator foi conquistado pela utilização de um material sustentável e econômico na impressão das peças, o PETG, reduzindo custos adicionais com a fabricação da estrutura. Assim, o custo total do protótipo é estimado em aproximadamente R\$ 850,00, um valor relativamente competitivo em relação a outras soluções.

## **1.4 ANÁLISE SOCIAL**

Os impactos sociais deste projeto indicam potenciais benefícios, por meio de seu objetivo, o desenvolvimento de uma mão biônica multifuncional.

Estes benefícios se destacam pela acessibilidade e facilidade de controle da mão biônica, assim cria-se uma alternativa para indústrias que procuram otimização e facilitação de processos. Atuando por exemplo como um sistema de gêmeos digitais, que permite à mão replicar um movimento em uma linha de produção, de um operador a distância.

Outra aplicação de grande impacto seria sua parceria futura com órgãos públicos e de saúde, desenvolvendo a construção de próteses personalizadas a preços acessíveis. Essa colaboração reduziria o tempo de espera para pacientes necessitados de próteses, bem como o custo para essa construção.

Ao concretizar esse projeto, a inclusão social seria seu principal impacto, possibilitada graças à autonomia proporcionada com impressão e o sistema preciso da visão computacional, promovendo integração no mercado de trabalho para PcD, permitindo-os estarem aptos a tarefas antes impossibilitadas. Além disso, também com contribuições nas áreas de pesquisa e educação, servindo para elevar o conhecimento humano.

Por fim, embora a automação possa afetar certos empregos tradicionais, ela também cria oportunidades que requerem habilidades especializadas, trazendo a evolução da força de trabalho, impactando positivamente o mercado e as áreas do conhecimento.

### **1.4.1 ANÁLISE AMBIENTAL**

A utilização do filamento PETG para a impressão das peças da mão biônica oferece benefícios em termos de sustentabilidade. Seu uso reduz a produção de resíduos e aumenta a possibilidade de reciclagem, um aspecto positivo tendo em vista que a sustentabilidade e impactos ambientais vêm sendo cada vez mais considerados em projetos.

Outro aspecto favorável ao projeto é o baixo consumo de energia, especialmente se tratando de um protótipo, ao utilizar o ESP 32. Uma placa conhecida por sua eficiência energética, com um consumo inferior quando comparada a outras.

Entretanto, existem impactos ambientais desfavoráveis a serem considerados. A durabilidade, vida útil dos componentes eletrônicos utilizados são preocupantes pelo fato de que, após a perda, os seus descartes de forma incorreta podem causar resíduos eletrônicos prejudiciais ao meio ambiente. Assim como o descarte inadequado também dos polímeros/plásticos presentes.

### **1.4.2 ANÁLISE DE SEGURANÇA**

Com as diversas aplicabilidades industriais, uma das principais qualidades do projeto é a capacidade de realizar tarefas de forma remota e com precisão. Isso permite que possam ser executados afazeres minuciosos e potencialmente perigosos, sem a necessidade de exposição direta do operador, protegendo sua integridade física.

O projeto foi desenvolvido para funcionar de maneira ordenada e precisa, priorizando a segurança no ambiente de trabalho. Fator crucial para o alcance de padrões de segurança necessários em dispositivos de uso industrial.

Para aprimorar mais o protótipo, seria interessante a adição de um sistema de interrupção do funcionamento como uma futura implementação de sensores, ou algumas modificações nos programas utilizados, garantindo uma resposta rápida em casos de emergência, minimizando ameaças ao ser humano.

Outro aspecto para garantir que problemas relacionados à segurança e capacidades do dispositivo ocorram é o uso de fontes de energia adequadas e com isolamento elétrico adequado. Sendo também vitais as manutenções e inspeções periódicas para manter a longevidade e funcionamento do dispositivo.

## 1.5 RELEVÂNCIA

O trabalho desenvolvido tem grande relevância nas áreas da automação, robótica e engenharia, particularmente no contexto da indústria 4.0, que se destaca pelo uso de tecnologias inovadoras, tais como a inteligência artificial, robótica e visão computacional. O projeto impacta diversas esferas da sociedade, como:

**Sociais:** promove a inclusão social ao propor futuras adaptações que podem evoluir para tecnologias assistivas e de reabilitação acessíveis e funcionais. Além de contribuir para o avanço da pesquisa científica e educação como uma plataforma de desenvolvimento de novas técnicas e estudos interdisciplinares.

**Econômicos:** com a criação de novos mercados, como os de tecnologias assistivas e automação, o projeto se alinha com a proposta de redução de gastos com a produção e aquisição de dispositivos robóticos e próteses tecnológicas. Futuramente, o projeto poderá também impactar as esferas da economia públicas e privadas ao oferecer soluções tecnológicas e inovadoras acessíveis.

**Tecnológicas, industriais e científicas:** o emprego do protótipo em diferentes ambientes de automação industrial, particularmente em tarefas que envolvam precisão, reforça a sua utilidade, a introdução de sistemas de controle baseados em visão computacional (*OpenCV*) e a tecnologia dos microcontroladores tornam o projeto eficiente e intuitivo, com inovação e diferentes propostas para o meio industrial e tecno científico, além de sugerir o desenvolvimento de algoritmos de computação avançados.

Projetos como esse devem ser estudados e aprimorados por terem um impacto e papel transformador nas muitas esferas da sociedade, promovendo inclusão e impulsionando avanços econômicos, industriais e educacionais capacitativos por meio da tecnologia.

## **1.6 ACESSIBILIDADE**

As possibilidades de acessibilidade do projeto são amplas, com seu objetivo central sendo o desenvolvimento de tecnologias de interface homem máquina (IHM) e seu uso industrial, possibilitando a prototipagem de soluções assistivas com baixo custo.

A personalização de peças permite atender as variadas necessidades e incorpora ao projeto um aspecto inclusivo, o qual vai além do lucro e reconhecimento. O foco está em criar um impacto social, visando um futuro mais justo e acessível para todas as pessoas, especialmente para aquelas que dependem dessas tecnologias. Com isso, o projeto se torna altamente eficiente, tanto em termos de custo quanto em acessibilidade.

## 2 DESENVOLVIMENTO

Nas últimas décadas, foi possível observar um crescimento relevante nos setores industriais. Em um contexto global, o número de trabalhadores nas indústrias cresceu à medida que a economia passou pelo processo da industrialização. Exemplos disso são países não tão distantes do Brasil, os Estados Unidos da América, chamado por muitos de potência mundial, assim como outros como, por exemplo, a China, Rússia, Japão, Alemanha, entre outros.

De acordo com o World Bank (2024), a porcentagem de emprego na indústria em relação ao total de empregos em 2022 era cerca de 23.8% do total de empregos globalmente, uma porcentagem que pode aumentar daqui a alguns anos pelo denso crescimento da população global, mas claro, devem ser levadas em considerações a automatização das tarefas nos dias atuais. Tudo isso vem sendo possibilitado pelos avanços tecnológicos, esses avanços permitiram o surgimento da automação e a criação de novas indústrias.

Em meio a esse progresso tecno científico, o campo da robótica se desenvolveu. A robótica é um ramo da engenharia que projeta, fabrica e opera robôs com o intuito de criar máquinas para auxiliar o ser humano. Esta área da engenharia pode se aplicar nos mais diversos setores industriais e científicos, como setor militar, nanotecnologia, aeroespacial, engenharia mecânica e outras. (CHAVES, 2022)

Uma poderosa ferramenta quando se trata da integração da tecnologia aos objetivos industriais, os gêmeos digitais podem proporcionar melhorias significativas nos processos de manufatura. Um exemplo prático é sua aplicação em linhas de produção automotivas, auxiliando na montagem e pintura de veículos. Essa tecnologia contribui para maximizar a qualidade do processo, além de minimizar falhas e reduzir o risco de acidentes.

Futuramente, a visão computacional, que segundo a Engineering Brasil, 2023 é uma técnica de processamento e interpretação de imagens baseada em inteligência artificial, possibilitaria a potencialização da robótica em suas atuais aplicações e a capacita para novas áreas de uso. Permitindo que a máquina operar nos mais variados ambientes de forma inteligente. Essa evolução pode abrir novas oportunidades em setores como saúde, onde robôs assistem cirurgias com precisão milimétrica.

Com tal crescimento também surgiram as necessidades de segurança, devido aos acidentes que passaram a ocorrer com frequência, seja por atividades mal executadas ou por problemas de operação de maquinários. Para entender sobre a gravidade das lesões ou acidentes de trabalho, é preciso utilizar a definição de acidente segundo a ESAW.

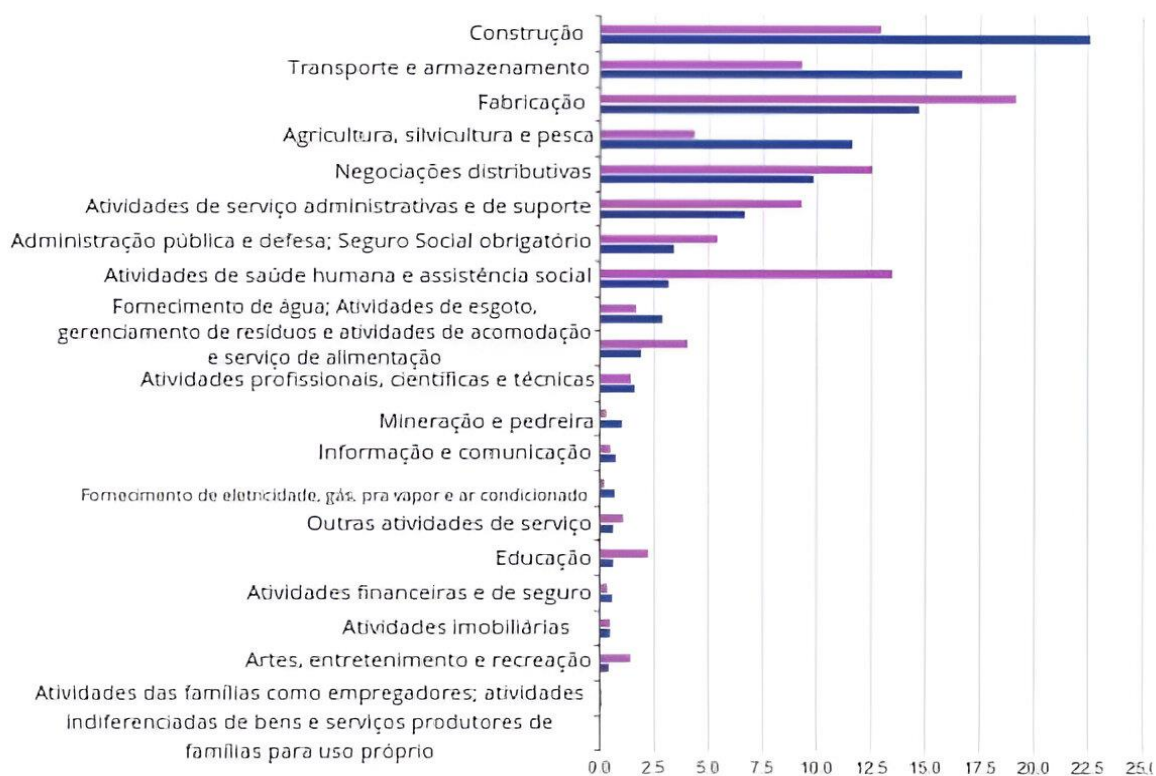
Um acidente de trabalho é definido na metodologia ESAW como uma ocorrência discreta durante o curso do trabalho que leva a danos físicos ou mentais. Acidentes fatais de trabalho são aqueles que levam à morte da vítima dentro de um ano após a ocorrência. Acidentes não fatais de trabalho são definidos como aqueles que causam pelo menos quatro dias corridos completos de ausência do trabalho. (EUROSTAT, 2024)

No contexto dos acidentes industriais, as mãos são frequentemente afetadas, seja por cortes, esmagamentos ou amputações. Segundo a Eurostat “Acidentes não fatais foram relativamente comuns na indústria, 19,2% do total na UE em 2021.” (EUROSTAT, 2024)

Ambiente no qual as mãos geralmente ficam expostas ou vulneráveis, tornando propícios acidentes que possam levar a amputação ou ao dano grave no membro, não sendo exclusivo do ambiente industrial tais tipos de ocorrências.

Figura 1 - Acidentes de trabalho

## Acidentes fatais e não fatais no trabalho por seção da NACE, UE, 2021 (% dos acidentes fatais e não fatais)



Nota: Acidentes não fatais (graves) relatados no âmbito da ESAW são acidentes que implicam pelo menos quatro dias completos de ausência do trabalho. Classificado nos valores de acidentes fatais. Fonte: Eurostat (Códigos de dados online: HSW\_N2\_01 e HSW\_N2\_02)

■ Acidentes não fatais  
■ Acidentes fatais

eurostat

Fonte: Eurostat (2021)

O gráfico acima destaca a necessidade crescente de segurança, especialmente em áreas de trabalho industriais. Essa segurança pode ser promovida por meio do projeto, que tem potencial para auxiliar em tarefas de risco e servir como ferramenta de reabilitação, seja em atividades específicas ou em rotinas diárias. Dessa forma, evidencia-se a importância do desenvolvimento de projetos como a mão biônica, que abordam aspectos fundamentais de tecnologia, eficiência industrial e segurança. Para a implementação do projeto, foram utilizados dois códigos de programação: um em Python e outro em C++.

Primeiramente, o método para a identificação da mão e para a reprodução de movimentos faz proveito de um script em Python do *OpenCV*, uma biblioteca de código aberto que inclui centenas de algoritmos de visão computacional.

Seus módulos utilizados no projeto foram: funcionalidade principal (core), processamento de imagens (imgproc) e análise de vídeo (vídeo), que, respectivamente, têm por função:

- (I) Um módulo compacto que define estruturas de dados básicas, incluindo a matriz multidimensional densa Mat e funções básicas usadas por todos os outros módulos.
- (II) Um módulo de processamento de imagem que inclui filtragem de imagem linear e não linear, transformações geométricas de imagem (redimensionamento, distorção afim e de perspectiva, remapeamento genérico baseado em tabela), conversão de espaço de cor, histogramas e assim por diante.
- (III) Um módulo de análise de vídeo que inclui estimativa de movimento, subtração de fundo e algoritmos de rastreamento de objetos. (*OPENCV*, s.d.)

Através da junção do funcionamento destes módulos, é possível realizar a captura e mapeamento da mão para a réplica dos movimentos pelo dispositivo, no *script* em Python a seguir.

Importação de bibliotecas:

Essas bibliotecas são essenciais para o funcionamento correto do programa, dentre elas as principais do *OpenCV* para reconhecimento de imagens.

```
import cv2
import mediapipe as mp
import time
import serial
import numpy as np
import pyautogui
```

O projeto utiliza seis bibliotecas, cada uma com uma funcionalidade específica. A biblioteca *Mediapipe* é responsável por detectar os pontos de referência da mão. *Time* é usada para trabalhar com intervalos de tempo. *Serial* possibilita a comunicação serial com o ESP32. *Numpy* permite manipular arrays, sendo útil no processamento de dados das imagens. *Pyautogui* é utilizada para configurar e manipular a tela de visualização.

Criação de classe:

ClassHandDetector():

Aqui é criada uma classe para detectar as mãos através do Mediapipe.

Uma classe é uma estrutura de programação semelhante a um molde que permite criar objetos, e agrupar suas características e dados.

Métodos:

```
def __init__(self, mode=False, maxHands=1, detectionCon=0.5, trackCon=0.5):
```

Neste bloco o método `__init__` que inicializa a classe de `handDetector` chamado também de construtor.

*\*Mode\** define se o modo da detecção é estático (True) ou dinâmico (False).

No modo estático cada quadro é processado de forma independente com maior precisão e menor velocidade. Já no modo dinâmico a detecção é mais rápida em contrapartida sua precisão é diminuída.

*MaxHands* é o que limita a quantidade de mãos a serem detectadas, ou seja, uma.

*detectionCon* define a confiabilidade mínima para a detecção da mão, neste caso 0,5. Este valor pode aumentar as detecções em contrapartida a sua precisão é mais baixo.

*TracCon* Define a confiança mínima para rastrear uma mão já detectada, sendo útil para manter a mão rastreada mesmo em movimento, defino de 0,5.

```
self.mode = mode self.maxHands = maxHands self.detectionCon =detectionCon self.trackCon = trackCon self.mpHands = mp.solutions.hands self.hands = self.mpHands.Hands(static_image_mode= self.mode, max_num_hands=self.maxHands, min_detection_confidence=self.detectionCon, min_tracking_confidence=self.trackCon) self.mpDraw = mp.solutions.drawing_utils
```

Neste último bloco são configurados os atributos da classe usando de *Self*. para ligar cada ao seu próprio objeto.

`self.mode`, `self.maxHands`, `self.detectionCon`, e `self.trackCon` guardam as configurações estabelecidas pelo usuário ao criar o objeto.

`self.mpHandse` `self.hands` inicializa o detector de mãos do MediaPipe e `self.mpDraw` acessa as funções do detector para exibir os pontos de referência da mão na imagem.

```
def findHands(self, frame, draw=True):  
    O método findHands processa a imagem e desenha as landmarks das mãos:  
    imgRGB = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2RGB)  
    Converte a imagem de BGR para RGB, pois o MediaPipe utiliza o formato  
    RGB.
```

```
    self.results = self.hands.process(imgRGB)  
    Armazena os resultados da detecção de mãos.  
  
    if self.results.multi_hand_landmarks:  
        for handLms in self.results.multi_hand_landmarks:  
            if draw:  
                Caso draw seja True, desenha as landmarks e as conexões entre os pontos  
                da mão na imagem.
```

```
    self.mpDraw.draw_landmarks(frame, handLms,  
self.mpHands.HAND_CONNECTIONS)  
    return frame
```

De modo geral, nesta parte do programa são feitas a conversão de cor da imagem para RGB necessário para a biblioteca do MediaPipe, depois são processadas as imagens e logo em seguida se a mão for detectada será feito o mapeamento entre os pontos de referência da mão.

```
def findPosition(self, frame, handNo=0, draw=False):  
  
    Esta função captura as posições dos pontos de referência mapeados da mão  
    detectada.
```

O método findPosition identifica a posição de cada ponto da mão e determina o tipo (esquerda ou direita):

```
lmList = []
Lista com as posições dos pontos da mão (id, cx, cy).

handType = None
Determina se a mão é a esquerda ou direita.

if self.results.multi_hand_landmarks:
    myHand =
self.results.multi_hand_landmarks[handNo]
    for id, lm in enumerate(myHand.landmark):
Caso draw seja True, desenha um círculo no ponto com id == 0 (ponto do
pulso).

        h, w, c = frame.shape
        cx, cy = int(lm.x * w), int(lm.y * h)
        lmList.append([id, cx, cy])
        if draw and id == 0:
            cv2.circle(frame, (cx, cy), 15, (255, 0, 255), -1)

        # Determina o tipo da mão
        if self.results.multi_handedness:
self.results.multi_handedness[handNo].classification[0].label
            handType =
        return lmList, handType
```

Função principal:

```
def main():
Função principal que inicializa variáveis de controle de tempo e define os
estados dos dedos (inicialmente todos estão "False").
```

```
    prevTime = 0
    currentTime = 0
    hand = [{"Wrist", False}, {"Index", False}, {"Middle", False},
            {"Ring", False}, {"Thumb", False}, {"Pinky", False}]

    ser = serial.Serial(port="COM5")
Estabelece a conexão serial com a porta COM5.
    cap = cv2.VideoCapture(0, cv2.CAP_DSHOW)
Configura a captura de vídeo pela câmera.

    detector = HandDetector()
Instancia um objeto HandDetector.

    # Configura a tela cheia
    screen_width, screen_height = pyautogui.size()
    cap.set(cv2.CAP_PROP_FRAME_WIDTH, screen_width)
```



```

elif lmList[i*4][2] < lmList[(i*4)-2][2] and hand[j][1]:
    hand[j][1] = False
    change = True
    print(hand[j][0], hand[j][1])
if j == 3:
    j += 2
else:
    j += 1

if change:
    msg = "".join(["1" if hand[i][1] else "0" for i in range(6)]) + '\n'
    print(msg)
    ser.write(msg.encode("Ascii"))

# Desenhar bordas pretas com texto
black_border_top = np.zeros((border_height, frame.shape[1], 3),
dtype=np.uint8)
black_border_bottom = np.zeros((border_height, frame.shape[1], 3),
dtype=np.uint8)

# Aumenta o tamanho da fonte
font_scale = 1.5
font_thickness = 3

# Adiciona o texto na borda superior e inferior
cv2.putText(black_border_top, "SISTEMA MAO BIONICA",
(int((black_border_top.shape[1] - 480) / 2), int(border_height / 2 +
10)),
cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, font_scale, (255, 255, 255),
font_thickness, cv2.LINE_AA)

cv2.putText(black_border_bottom, "SISTEMA MAO BIONICA",
(int((black_border_bottom.shape[1] - 480) / 2), int(border_height /
2 + 10)),
cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, font_scale, (255, 255, 255),
font_thickness, cv2.LINE_AA)

# Combina as bordas com o frame
frame = np.vstack((black_border_top, frame, black_border_bottom))

# Mostra o frame final
cv2.imshow("frame", frame)

if cv2.waitKey(1) & 0xFF == ord("q"):
    break

cap.release()
cv2.destroyAllWindows()

if __name__ == "__main__":

```

```
main()
```

Ao ser feito o primeiro programa, o *script* em Python do *OpenCV* para a detecção das mãos, deve ser adicionado outro programa, desenvolvimento para a placa microcontroladora. Este programa foi realizado na plataforma Arduino IDE, em C++, linguagem nativa.

Primeiro se deve começar pelo escopo do código, o local onde se inserem as variáveis e as bibliotecas.

Inclusão de bibliotecas:

```
#include <ESP32Servo.h>
```

Aqui é adicionada biblioteca, por `#include` seguido da biblioteca a ser incluída neste caso a biblioteca que permite o ESP trabalhar com servos motores.

Declaração de Variáveis:

```
// Definição dos pinos para cada servo
const int servoPinky = 19; // GPIO19 para o dedo mindinho
const int servoRing = 18; // GPIO18 para o dedo anelar
const int servoMiddle = 5; // GPIO5 para o dedo médio
const int servoIndex = 17; // GPIO17 para o dedo indicador
const int servoThumb = 16; // GPIO16 para o polegar
const int servoWrist = 4; // GPIO4 para o pulso
```

São declaradas 6 variáveis, 5 referentes aos dedos da mão e uma referente ao pulso. Na declaração de variáveis, é usado o `int`, que se refere ao tipo de variáveis inteiras e o modificador `const`, que define a mesma como uma constante, ou seja, indica que esta variável não sofrerá alterações ao longo do programa, seguidas do nome da variável e seu pino.

Criação de Objetos Servo

```
Servo pinkyServo; // Controla o servo do mindinho
Servo ringServo; // Controla o servo do anelar
Servo middleServo; // Controla o servo do médio
Servo indexServo; // Controla o servo do indicador
```

```
Servo thumbServo; // Controla o servo do polegar
Servo wristServo; // Controla o servo do pulso
```

São criados 6 objetos, referentes as variáveis anteriormente descritas, estes são instancias (objeto com propriedades específicas) da classe Servo. Classes são um conceito de programação orientada a objetos de forma personalizada, semelhante a um molde, sendo capaz de agrupar dados sobre algo específico.

Esses objetos da classe são associados a um pino do ESP, de maneira a controlar um servo motor diferente. Dessa forma, é diferenciado cada pino e motor facilitando a interpretação e permitindo o controle individual de cada motor.

*Array* para o controle do estado

```
bool currentState[6] = {false, false, false, false, false, false}; // Estado atual
de cada servo
bool newState[6] = {false, false, false, false, false, false}; // Novo estado a
ser aplicado
bool change = false; // Flag para indicar se houve mudança no estado
```

São declaradas variáveis booleanas do tipo bool, que retorna valores de verdadeiro ou falso, juntamente de *Arrays* para o controle do estado de cada objeto, neste caso, os motores dos dedos e do pulso, totalizando 6 estados. Inicializando-os em falso no primeiro *Array* currentState, que corresponde ao estado de aberto ou fechado. Já em segundo *Array*, newState, temos o estado a ser aplicado a esses objetos.

Um *Array* é um vetor, que é capaz de armazenar dados unidimensionais, como uma gaveta. Sua declaração segue a estrutura de uma variável, seu nome seguido por colchetes [ ] e os dados armazenados, atribuídos entre chaves.

Por fim novamente é declarada uma variável booleana, para indicar se houve mudança no estado dos objetos.

Declaração de variáveis para comunicação

```
/ Variáveis para recepção de dados seriais
char serialData; // Armazena cada caractere recebido
String receivedString = ""; // Armazena a string completa recebida
```

Neste bloco são declaradas outras duas variáveis, uma do tipo char, que permite trabalhar com caracteres e outra do tipo String. Em serialData, é possível armazenar caracteres que são recebidos pela porta serial do ESP, como zero e um responsável por representar o estado do dedo respectivamente fechado ou aberto neste caso referente ao *Array*.

Configuração: O *void setup* é uma função de inicialização, ou seja, são definidas as condições de configuração ao inicializar a placa microcontroladora, e este é verificado somente na inicialização da placa.

```
void setup() {  
  // Inicialização da comunicação serial  
  Serial.begin(9600); // 9600 baud rate
```

Aqui é inicializado a comunicação serial, esta é responsável pela transmissão de dados entre a placa e outros dispositivos, como um computador, por sua porta serial. Sua estrutura é composta por Serial para se referir ao canal, o meio de comunicação, seguida de *.begin* para seu início. Além de conter entre parênteses ( ) a taxa de transmissão dos dados, chamada de baud rate, neste caso 9600 bits por segundo.

Alocação de timers

```
// Alocação de timers para os servos  
ESP32PWM::allocateTimer(0);  
ESP32PWM::allocateTimer(1);  
ESP32PWM::allocateTimer(2);  
ESP32PWM::allocateTimer(3);
```

São designados timers (temporizadores) para os servos conforme a biblioteca que permite o controle de servos motores. São alocados somente quatro timers devido à limitação de recursos da biblioteca e à necessidade de gerar sinais PWM para controle dos servos e sua posição.

Anexando os objetos da classe

```
// Anexação dos servos aos pinos correspondentes  
pinkyServo.attach(servoPinky);  
ringServo.attach(servoRing);  
middleServo.attach(servoMiddle);  
indexServo.attach(servoIndex);
```

```
thumbServo.attach(servoThumb);
wristServo.attach(servoWrist);
```

No bloco acima são anexados os objetos criados na classe, aos seus pinos, declarados no escopo do programa, respectivamente 19,18,5,17,16 e 4, chamados também de GPIO. Necessário para que cada motor receba os sinais para seu controle.

Direcionamento da posição dos servos:

```
// Posicionamento inicial dos servos (90 graus - posição neutra)
pinkyServo.write(90);
ringServo.write(90);
middleServo.write(90);
indexServo.write(90);
thumbServo.write(90);
wristServo.write(90);
}
```

Por último, dentro da estrutura do void setup os motores são configurados para uma posição neutra de 90 graus. Para realizar essa configuração deve-se inserir o nome do objeto da classe seguido do método `.write()`, que permite definir um ângulo e o mover o motor para essa posição. (ARDUINO, s.d.)

Função para a movimentação dos servos:

```
/*
  Função para mover um servo de forma suave
  - servo: referência ao objeto Servo a ser movido
  - shouldFlex: true para fechar (180°), false para abrir (0°)
  - pin: pino GPIO ao qual o servo está conectado (não utilizado atualmente)
*/
void moveServo(Servo& servo, bool shouldFlex, int pin) {
  int targetAngle = shouldFlex ? 180 : 0; // 180° para fechar, 0° para abrir
  int currentAngle = servo.read(); // Lê a posição atual do servo
```

Nesta função há três parâmetros, declarados entre ( ), `Servo& servo`: parâmetro para controlar o objeto servo; `bool shouldFlex`: é um parâmetro baseado na lógica booleana, se o valor deste for true, `targetAngle` será configurado para 180 graus se for false será configurado para 0 graus; e `int pin`: indica o pino do qual está sendo controlado o servo para garantir que moverá o servo correto.

```
// Move o servo gradualmente para evitar movimentos bruscos
if (currentAngle < targetAngle) {
  for (int angle = currentAngle; angle <= targetAngle; angle += 10) {
    servo.write(angle);
    delay(5); // Pequeno delay para movimento suave
```

```

    }
  }
  else {
    for (int angle = currentAngle; angle >= targetAngle; angle -= 10) {
      servo.write(angle);
      delay(5); // Pequeno delay para movimento suave
    }
  }
}
}
}

```

Esta função move os motores de forma gradual e suave, para evitar movimentos bruscos, tendo 0 graus como aberto e 180 graus como fechado.

Sua estrutura é a mesma das anteriores por se tratar também de uma função void, uma função onde são declarados parâmetros sem a necessidade de um retorno da mesma, seu funcionamento é declarado entre { }.

A variável targetAngle armazena o ângulo destino do servo, ou seja, sua posição final. Ainda nessa função é possível verificar a posição atual dos motores, além de contar com as estruturas condicionais do if e else que permitem tomar ações baseados em condições. Movendo o servo motor de forma gradual, a cada 10 graus.

Função Loop: É a parte principal do código, pois nesta função ficará armazenado o funcionamento do projeto em loop.

```
void loop() {
```

Verificação de dados:

```

// Verifica se há dados disponíveis na porta serial
if (Serial.available()) {
  serialData = Serial.read(); // Lê um caractere

```

Aqui é verificado se há dados a serem lidos na porta serial através de Serial.available(), se houver será feita a leitura e armazenada em serialData.

```

if (serialData == '\n') { // Se for o fim da linha
  if (receivedString.length() == 6) { // Verifica se recebeu 6 caracteres
    // Converte a string recebida em estados para os servos
    for (int i = 0; i < 6; i++) {
      newState[i] = (receivedString.charAt(i) == '1');
    }
    change = true; // Indica que há mudanças a serem aplicadas

```

```

    }
    receivedString = ""; // Limpa a string para a próxima leitura
  } else {
    receivedString += serialData; // Adiciona o caractere à string
  }
}

```

Já nesta outra condicional se serialData for um caractere de nova linha ('\n'), o código verificará se a string recebida (receivedString) tem exatamente 6 caracteres. Caso sim ele converte os caracteres em um valor booleano (true ou false), com base em se o caractere é '1'. Isso é armazenado na *Array* newState[].

A variável change é definida como true, indicando que houve uma mudança de estado que precisa ser processada.

Se serialData não for uma nova linha, ele simplesmente adiciona o caractere à receivedString.

Atualização dos estados dos servos:

```

// Se houver mudanças a serem aplicadas
if (change) {
  // Verifica cada servo e move apenas os que mudaram de estado
  if (newState[0] != currentState[0]) moveServo(wristServo, newState[0],
servoWrist);
  if (newState[1] != currentState[1]) moveServo/thumbServo, newState[1],
servoThumb);
  if (newState[2] != currentState[2]) moveServo(indexServo, newState[2],
servoIndex);
  if (newState[3] != currentState[3]) moveServo/middleServo, newState[3],
servoMiddle);
  if (newState[4] != currentState[4]) moveServo/ringServo, newState[4],
servoRing);
  if (newState[5] != currentState[5]) moveServo/pinkyServo, newState[5],
servoPinky);

  // Atualiza o estado atual
  for (int i = 0; i < 6; i++) {
    currentState[i] = newState[i];
  }
  change = false; // Reseta a flag de mudança
}
}

```

Este bloco if change executará a ação apenas se houverem mudanças nos estados dos servos, se houver será chamada a função moveServo para ajustar a posição do servo de acordo com os dados, estado atual recebido.

## 2.1 REFERENCIAL TEÓRICO

Prezando o rigor acadêmico e uma fundamentação teórica apropriada, este capítulo pretende analisar e revisar os principais conceitos e teorias que embasam o desenvolvimento de uma mão biônica.

O desenvolvimento de uma mão biônica controlada por visão computacional representa um progresso significativo nas áreas industriais e de tecnologia, como a robótica, engenharia e automação industrial, com potencial de uso e aplicação em variados ambientes. A comunicação é a parte componente fundamental do projeto, e esta é feita unicamente pelo *script*, usado para referenciar a movimentação ou sua detecção através de uma webcam, diferentemente de muitos outros componentes robóticas ou robôs colaborativos industriais.

A robótica mas tem ganhado cada vez mais espaço no cotidiano, basta um olhar para as mais avançadas industriais como por exemplo a Amazon, que utiliza de robôs para as mais variadas tarefas. Isso demonstra a importância e o destaque que vem tendo este ramo da tecnologia.

A robótica da próxima geração utiliza inteligência artificial (IA) para executar tarefas de forma colaborativa e é adequada para situações não controladas/imprevisíveis ambientes. Além disso, devido às condições favoráveis (avanços na IA, tecnologia de detecção tecnologias e visão computacional), os robôs industriais colaborativos tornaram-se significativamente mais inteligente, mostrando o potencial de uma cooperação confiável e segura e aumentando os benefícios produtividade e eficiência dos processos envolvidos. (DZEDZICKIS et al., 2021, p.5)

O que destaca sobre a interoperabilidade das máquinas possibilitada pela combinação desses recursos, tendo como resultado a capacidade de operar e realizar tarefas complexas nos mais diversos ambientes, tendo como ponto crucial o uso da visão computacional, que fornece ao robô o necessário para se ter percepção do ambiente, permitindo manobras e ajustes em tempo real, com precisão e tempo de reposta curto.

Neste projeto o uso e implementação da visão computacional, com a biblioteca *OpenCV*, elimina a necessidade de sensores externos, permitindo a interpretação dos movimentos realizados e sua execução a partir do movimento dos

servos motores, simplificando o processo e otimizando desde sua estrutura mecânica quanto a operacional.

A aplicação desse tipo de tecnologia inclui desde a automatização em linhas de produção, como em linhas de montagens de veículos, até a execução de tarefas de mais periculosidade e complexidade para seres humanos. Essa aplicação oferece diversos benefícios a seus usuários justamente por reduzir gastos adicionais com componentes físicos, mas sem a perda da precisão destes, possível pelo nível de desenvolvimento da programação usada.

Os atuais projetos ligados à área da robótica e automação vem sendo impulsionados ainda mais com o uso da Inteligência artificial e da visão computacional, se fazendo presente em muitos setores industriais considerados inteligentes. Exemplos disso são projetos como este e as possibilidades de aplicação como parte de um sistema de gêmeos digitais, que segundo a IBM, são modelos virtuais projetados para representar objetos físicos (2024). “A pesquisa e implementação de gêmeos digitais se tornou popular em certos domínios, como: cidades inteligentes, espaços urbanos, [...] engenharia e a indústria automotiva, entre outros.” (BOTÍN-SANABRIA et al., 2022)

O desejo do grupo, ao construir uma mão biônica controlada por visão computacional, de modo que esse projeto, considerado protótipo, seja aplicável como um sistema avançado de automação, já citado, parte de um sistema de gêmeo digital de um braço humano, com replica de movimentos em tempo de modo preciso e prático.

Assim, o embasamento teórico do projeto se baseia nos atuais avanços dos ramos das tecnologias aplicadas como a automação e robótica e suas derivações. Com os dados obtidos é possível perceber a integração de tais tecnologias citadas e as combinações desses ramos pode proporcionar significativos avanços nas indústrias e seus processos, para garantir mais produtividade e qualidade, sendo também um dispositivo inovador que possa auxiliar os desenvolvimentos de outros projetos de mesmo intuito porém melhores, mais avançados e eficientes.

## 2.1.1 METODOLOGIA CIENTÍFICA

Para o princípio da realização das pesquisas de artigos, outras monografias, arquivos e teses de modo geral, que pudessem ajudar tanto no desenvolvimento da monografia quanto no do protótipo, e para seu embasamento técnico-científico, foram necessárias consultas de formas a se executarem corretamente cada passo, e cada etapa de planejamento para que os objetivos a serem estabelecidos fossem atingidos com sucesso.

Essas consultas foram realizadas como etapas de pré-desenvolvimento gerais, feitas ao professor e meios confiáveis, segundo também o professor orientador. Nesta consulta, primeiramente foram divididas quatro etapas fundamentais essenciais para o alcance desses objetivos e logo em seguida realizadas. A primeira etapa deste planejamento, as pesquisas bibliográficas e documentais, foi realizada em algumas plataformas e sites, tais como o Google Scholar, SciELO, Eurostat, e alguns outros os quais não serão citadas ao efeito de destaque a estes três principais meios, vale ressaltar que estes não foram os únicos. Na etapa e através dos meios citados são feitas buscas, que vão de dados e estatísticas a informações sobre a construção de projetos semelhantes à mão biônica, para que se possa ter como base somente, tipos de métodos usados para tais finalidades e argumentos que validem a construção do protótipo do grupo, além de auxiliarem na montagem e defesa específica de avaliações e testes nas quais o grupo há de ser submetido.

Considerando o foco do grupo, um projeto do âmbito da robótica e biomecânica, que trabalhasse com recursos avançados de automação industrial.

Na segunda etapa, consulta a arquivos e teses, foram feitas a consulta de arquivos de monografias disponíveis, como as reunidas na primeira etapa e as quais poderiam ser acessadas na própria unidade escolar, especificamente na biblioteca com a disponibilidade de livros técnicos, de normas e especificações adequadas, e artigos escritos pelos antigos estudantes formados e aprovados pela instituição. Escolhendo as informações apropriadas em meio aos resultados obtidos dessas pesquisas e seleções, para o preenchimento de lacunas existentes e o desenvolvimento de uma monografia concreta e bem embasada, bem como para a

montagem. Nem todas as pesquisas deram resultados, o que destaca a importância de várias perspectivas e pesquisas diferentes de mesmo objetivo.

Na terceira etapa fundamental, planejamento e execução, foram definidos todos os recursos necessários, formas de interação e organização para que todos os objetivos estabelecidos fossem definitivamente atingidos, incluindo cronogramas definindo o que deveria ser realizado e quem do grupo seria o responsável pelo cumprimento de tal tarefa. Para uma organização e determinação mais eficiente foram feitas pesquisas sobre modos de organização eficientes e eficazes a fim de valorizar o trabalho, se apoiando principalmente em dicas e estratégias da Harvard Business Review (HBR), fazendo o uso de programas adequados para estabelecer esses cronogramas.

Na quarta e última etapa, apoio técnico-científico, foram realizadas, com a ajuda do professor orientador, a respeito de possíveis problemas que poderiam ocorrer com o projeto e sugestões de correções.

## 2.2 CRONOGRAMA

Para um melhor decorrer do trabalho, há a necessidade de uma estrutura regular de organização, para que todas as demandas e objetivos do trabalho sejam atingidos, isto exige cronogramas a prazos a serem cumpridos.

Quadro 1 - Cronograma

Datas	Descrição do planejamento
20/fev	Apresentação do escopo da matéria de PTCC
27/fev	Montagem dos grupos de trabalho e análise das demandas regionais
05/mar	Análise dos temas definidos pelos grupos.
12/mar	Definições e metodologias de projetos e análise dos temas inovadores. Início da escrita da monografia.
19/mar	Análise crítica do tema inovador a ser desenvolvido.
26/mar	Abordagem sobre metodologia científica.
02/abr	Abordagem sobre metodologia científica.
16/abr	Análise dos temas
23/abr	Revisão sobre citações bibliográficas
30/abr	Revisão sobre citações bibliográficas
07/05/2024 até 04/06	Continuação da escrita da monografia.
11/jun	Pré-apresentação do desenvolvimento do projeto.
18/jun	Pré-apresentação do desenvolvimento do projeto.
25/jun	Entrega da monografia em processo de desenvolvimento, dados da ficha catalográfica, contrato de pesquisa
02/jul	Reunião de orientação para todos os alunos com foco na utilização do cronograma para a disciplina de DTCC
30/jul	Desenvolvimento do TCC (DTCC)
06/08/2024 até 10/09	Desenvolvimento do protótipo, da monografia e do pôster.
17/set	Entrega da monografia revisada e finalizada
24/set	Entrega do pôster revisado e finalizado
01/10/2024 até 29/10	Desenvolvimento do protótipo, da monografia e do pôster.
03/nov	Revisão total da monografia e do pôster.
19/nov	Treino de pré-apresentação do projeto para a banca examinadora.
26/nov	Apresentação Final do DTCC para a banca de avaliação.
03/dez	Entrega da monografia, termo de autenticidade, termo de autorização de divulgação
10/dez	Entrega de mídia removível contendo os arquivos retornados via e-mail pelo professor orientador

Fonte: Autoria Própria

Este é o cronograma disponibilizado pelo docente ao longo da matéria de planejamento de desenvolvimento do trabalho de conclusão de curso. Segundo o quadro 1.

Quadro 2 - Desenvolvimento do protótipo

CRONOGRAMA PARA DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO E MONOGRAFIA (ETEC)	
Datas	Início de escrita de tópicos da monografia e desenvolvimento do TCC
12/mar	Definição de metodologia do projeto e Início da escrita da monografia
14/mar	Pesquisas para embasamento teórico do projeto: Todos os membros do grupo
26/mar	Consulta aos meios escritos obtidos para embasamento do projeto: Todos os membros do grupo
28/mar	Resumo: Nathan Daniel e Matheus Felipe
29/mar	Introdução: Nathan Daniel
30/mar	Cronograma: Nathan Guilherme
07/abr	Objetivos gerais e específicos: Nathan Daniel
08/abr	Análise financeira: Otávio Ernesto
15/abr	Levantamento de custos: Miguel Bujary e Nathan Guilherme
20/abr	Análise ambiental: Miguel Bujary e Nathan Daniel
28/abr	Análise de segurança: Otávio Ernesto
30/abr	Justificativa: Nathan Daniel
07/mai	Relevância: Nathan Daniel
15/mai	Compra dos materiais necessários para início do desenvolvimento do protótipo: Miguel Bujary
10/mai	Acessibilidade: Nathan Daniel e Nathan Guilherme
27/mai	Desenvolvimento: Nathan Daniel e Nathan Guilherme
28/mai	Referencial teórico: Nathan Daniel e Matheus Felipe
30/mai	Metodologia científica: Nathan Daniel e Matheus Felipe

Fonte: Autoria Própria

Este cronograma diz respeito ao início da escrita da monografia, com pesquisas, análises e considerações bem como o desenvolvimento do projeto, dividido do mês de março até maio, conforme indica o quadro 2.

Quadro 3 - Desenvolvimento do protótipo parte 2

07/jun	Recursos necessários e custos: Matheus Felipe e Miguel Bujary
02/jul	Início do desenvolvimento do protótipo, montagem: Miguel Bujary
13/jul	Fundamentação: Matheus Felipe e Miguel Bujary
03/out	Protocolo de testes, execução de testes, coleta de dados dos testes: Nathan Daniel
03/out	Finalização da montagem e ajustes no protótipo: Todos os membros do grupo
05/out	Análise dos dados dos testes: Matheus Felipe
07/out	Melhorias: Nathan Daniel Matheus Felipe
07/out	Riscos: Matheus Felipe e Otávio Ernesto
10/out	Desenhos e detalhamentos: Nathan Daniel e Miguel Bujary
13/out	Diferenciais: Matheus Felipe e Nathan Daniel
15/out	Construção do protótipo: Miguel Bujary
15/out	Considerações finais: Matheus Felipe e Nathan Daniel
20/out	Trabalhos Futuros: Todos os membros do grupo
01/nov	Finalização, revisão e correção geral de monografia: Nathan Daniel, Otávio Ernesto, Miguel Bujary, Matheus Felipe

Fonte: Autoria Própria

Este se refere ao mês de junho ao mês de novembro, conforme indica o quadro 3.

## 2.3 FUNDAMENTAÇÃO

Este capítulo visa apresentar os conceitos teóricos para sustentar a pesquisa do projeto, mão biônica. Serão abordados os conceitos centrais essenciais para que o leitor tenha uma maior compreensão sobre o tema abordado, além da compreensão sobre a justificativa e explicação dos componentes e termos usados ao longo da monografia.

O projeto mão biônica, controlado via biblioteca em Python, uma linguagem de programação que ajuda o usuário a dar instruções para o computador de uma maneira simples e de fácil entendimento. Junto da utilização da biblioteca *OpenCV* que, é uma biblioteca que oferece ferramentas como o processamento de imagens, sendo importante para o projeto na qual essas imagens capturadas serão lidas e direcionadas por comunicação serial para a placa microcontroladora escolhida, ESP32, que será explicado em breve. As imagens capturadas possibilitarão o foco do projeto, controle e reprodução de movimentos que a mão biônica reproduzirá semelhante a uma mão humana comum.

Comunicação serial é um método de transmissão de dados no qual bits, abreviação de *binary digits*, o qual é a menor quantidade de informação em computação, possam ser enviados sequencialmente por meio de um canal de comunicação único. A comunicação serial é geralmente usada em transmissões com grandes distâncias por um dispositivo emissor até um dispositivo receptor, enviando um bit por vez.

Retornando à explicação, temos o microcontrolador escolhido para o projeto, ESP32, que é como um pequeno computador embutido com um chip e possibilitando a conexão à internet via WiFi, usados principalmente em projetos que envolvem eletrônica e tecnologia. No projeto, ela tem sua função de captar as imagens no caso da utilização de uma webcam, uma câmera pequena, em uma mão de um usuário qualquer que esteja controlando o projeto. Através do código Python e da biblioteca *OpenCV*, essas imagens serão traduzidas em formato de números, chamadas matrizes, possibilitando a transmissão de dados por comunicação serial até a placa ESP32 auxiliando na realização da réplica de movimentos.

O projeto também conta com a movimentação própria na parte dos dedos da mão biônica, que utiliza a rotação de seis servos motores para sua movimentação

independente, através do código programado especialmente para cada servo no ESP32. Os servos motores são motores elétricos que dentro deles é possível controlar precisamente sua posição, seu torque e sua velocidade. O que possibilita isso é sua estrutura composta por um motor, um sensor de posição que, por exemplo, poderia ser um potenciômetro. Potenciômetro basicamente é um componente eletrônico usado para medir ou ajustar a resistência de um circuito, por um cursor que permite controlar a quantidade de corrente elétrica ou a tensão no circuito. Nos servomotores, o potenciômetro tem o papel de ajustar a posição dos servos de acordo com um sinal de controle definido para ele, fornecendo uma maior precisão para o projeto ao movimentar independentemente cada dedo da mão robótica.

Para o revestimento da mão e do braço, as peças que o compõem foram em sua grande maioria feitas em impressão 3D, feita por um processo onde, por meio de um modelo digital desenhado, feito por um software especializado como, por exemplo, o *ultimaker cura*, é então dividido em camadas finas. Assim que o desenho estiver pronto, é redirecionado para uma impressora 3D, que faz seu papel construindo o objeto específico adicionando uma quantidade de material. Esses materiais podem ser feitos em plástico, metais ou resinas. O material escolhido para o projeto foi o plástico do tipo PETG, um material nobre para a impressão 3D que tem uma alta resistência mecânica, química e boa resistência térmica.

## **2.4 RECURSOS NECESSÁRIOS E CUSTOS**

O projeto de construção de uma mão e antebraço biônicos exige a integração de conhecimentos tecnológicos, materiais adequados e considerações para as despesas. A preparação para a compra, montagem e utilização do protótipo pode exigir a colaboração entre duas ou mais pessoas.

Equipamentos e materiais:

Eletrônicos: No todo, os gastos com os componentes eletrônicos do projeto, resultando em R\$ 252,58. Vale salientar que o preço da webcam se encontra entre parênteses, não incluso, devido ao uso do grupo da própria webcam do computador de um membro, resultando neste valor.

Item	Quantidade	Preço
Módulo de desenvolvimento ESP 32 de 38 pinos	1 unidade	R\$ 28,38
Webcam com Tripé, 1080P Full HD	1 unidade	(R\$ 94,11)
Fonte de alimentação 5V 30 <sup>a</sup>	1 unidade	R\$ 65,20
Micro cabo USB	1 unidade	R\$ 8,90
Placa eletrônica universal	1 unidade	R\$ 18,00
Barra de pino macho e fêmea	1 unidade	R\$ 2,80
Bornes Kre com 2 vias	1 unidade	R\$ 1,20
Servo-motores Mg996r	6 unidades	R\$ 128,10

Impressão: O custo relacionado à parte de impressão, de modo geral, foi minimizado, já que um membro do grupo ficou responsável por fazê-la, diminuindo gastos com terceiros, tendo como único gasto o próprio filamento, que custou R\$ 150,00.

#### 1 Kg de filamento PETG

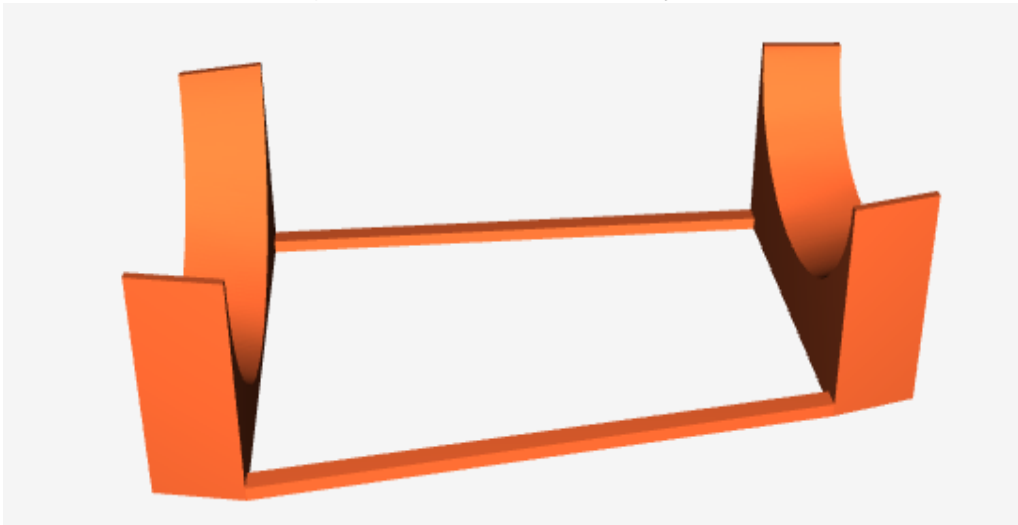
Item	Quantidade	Preço
Tubos de teflon com diâmetro interno de 1,5mm X diâmetro externo 2,5mm (3 metros)	5 unidades	R\$ 11,43
Fio de nylon (linha de pesca)	1 carretel	R\$ 20,00
Molas de expansão 3/16"x1-3/4	1 caixa fechada	R\$ 41,00
Adesivo Araldite hobby	1 unidade	R\$ 27,00

## 2.5 DETALHAMENTOS

Ao longo deste tópico serão abordados os detalhes das etapas essenciais de desenvolvimento do protótipo, como a impressão 3D e diagrama eletrônico para a ligação da placa microcontroladora.

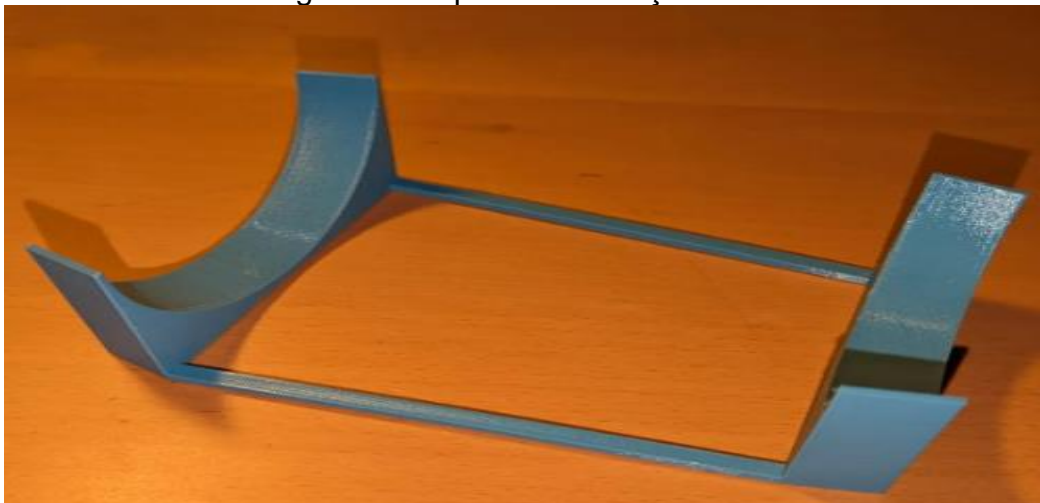
### 2.5.1 IMPRESSÃO

Figura 2 - Suporte Antebraço 3D



Fonte: LANGEVIN, 2024

Figura 3 - Suporte Antebraço PETG



Fonte: Autoria Própria.

A impressão 3D é uma tecnologia de manufatura aditiva que permite criar objetos tridimensionais a partir de um modelo digital.

Usar impressão 3D para projetos possui muitos benefícios, dentre eles: personalização de peças; produtos acessíveis em níveis de custo; impressão precisa com exatas dimensões; evita desperdício de materiais. (RIOTRON, 2019)

Para realizar as impressões devidas do projeto, como já citado, foi utilizado um filamento de material PETG (Polietileno Tereftalato Glicol), o qual segundo a Imperplast (2023) “o plástico PETG, ou Polietileno-Tereftalato, é um tipo de polímero termoplástico amplamente utilizado na fabricação de diversos produtos, desde garrafas de refrigerante até peças de equipamentos médicos.” Além disso, algumas das vantagens e características de usar o PETG para a impressão são: excelente resistência química e ao impacto; durabilidade; transparência; facilidade de transformação; leveza, maleabilidade e flexibilidade; atóxico, pode ser usado em contato direto com produtos alimentares e médicos; [...] pode ser esterilizado; suporta altas pressões, pode ser dobrado a frio e não propaga chamas. (MUNDO DO PLÁSTICO, 2024).

Essas características fazem do PETG uma escolha popular para aplicações em ambientes industriais e medicinais, onde a resistência química e mecânica é essencial. Além disso, sua reciclabilidade torna-o uma opção mais sustentável em relação a outros materiais.

Para a impressão, é possível dividi-la em duas etapas, a impressão das partes componentes da mão do antebraço.

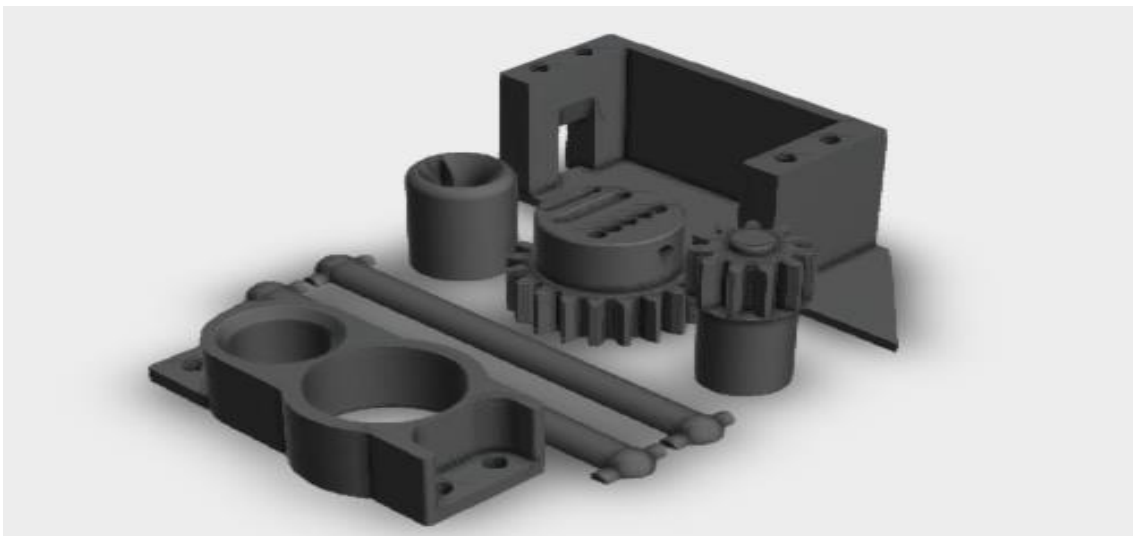
Na próxima página, as peças impressas da mão:

Figura 4- i2\_HandCoverV1.



Fonte: Langevin, 2024

Figura 5 - i2\_HandPDI6225V2



Fonte: LANGEVIN, 2024

Figura 6 - i2\_FingersX5V2



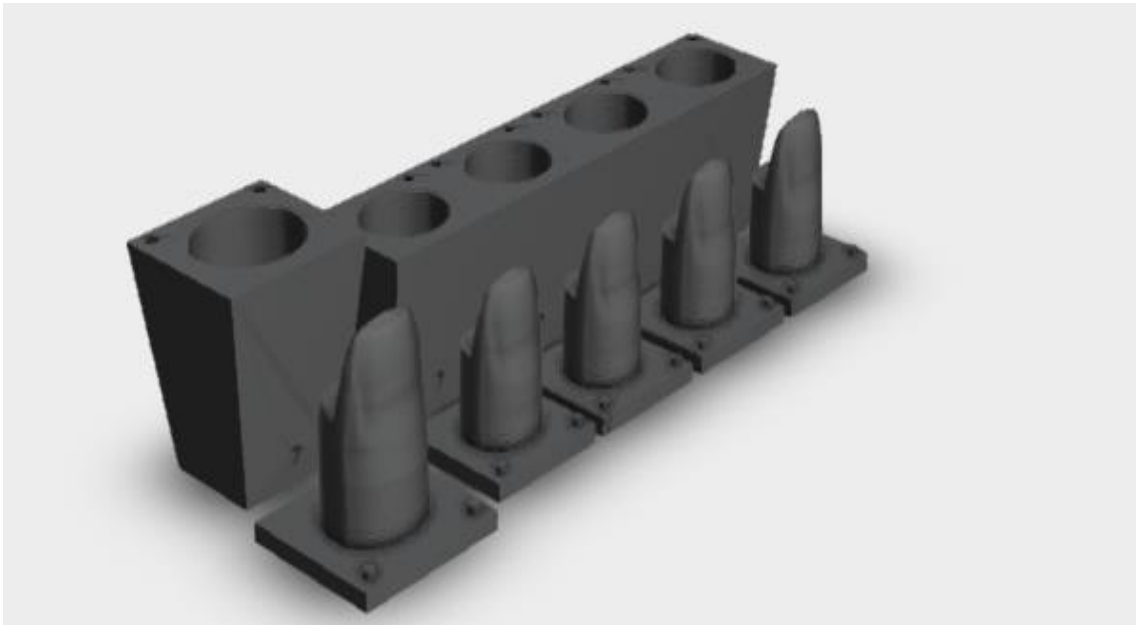
Fonte: LANGEVIN, 2024

Figura 7 - i2\_WristGearV1



Fonte: LANGEVIN, 2024

Figura 5 - i2\_CoverFingerV3



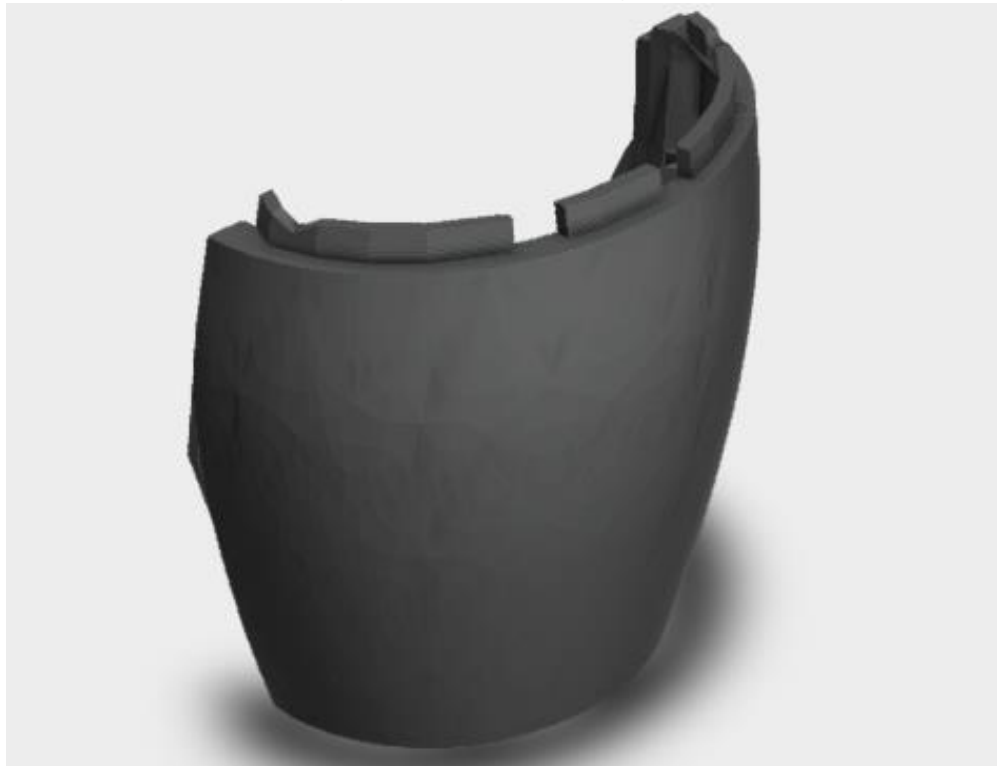
Fonte: LANGEVIN, 2024

Figura 8 - i2\_FingersMoldX5V3



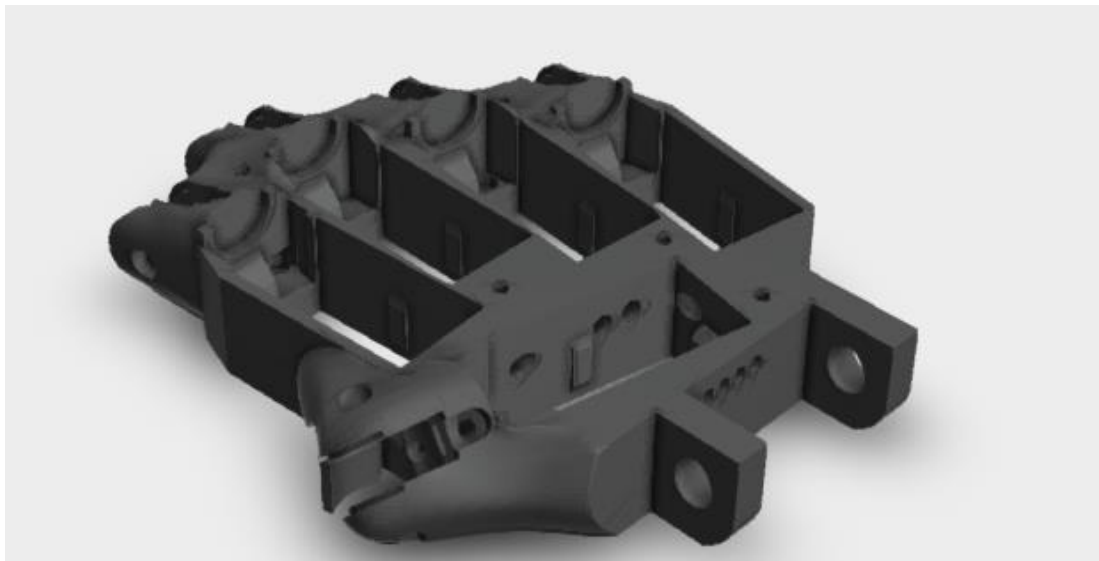
Fonte LANGEVIN, 2024

Figura 9 - i2\_WristLargeV2



Fonte LANGEVIN, 2024

Figura 10 - Robpart5V4



Fonte: LANGEVIN, 2024

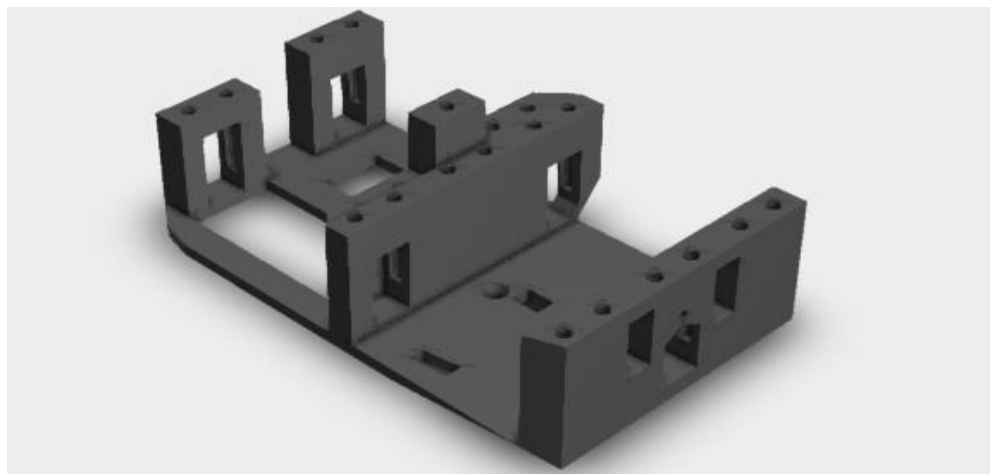
Peças impressas do antebraço:

Figura 11 – RobRingV3



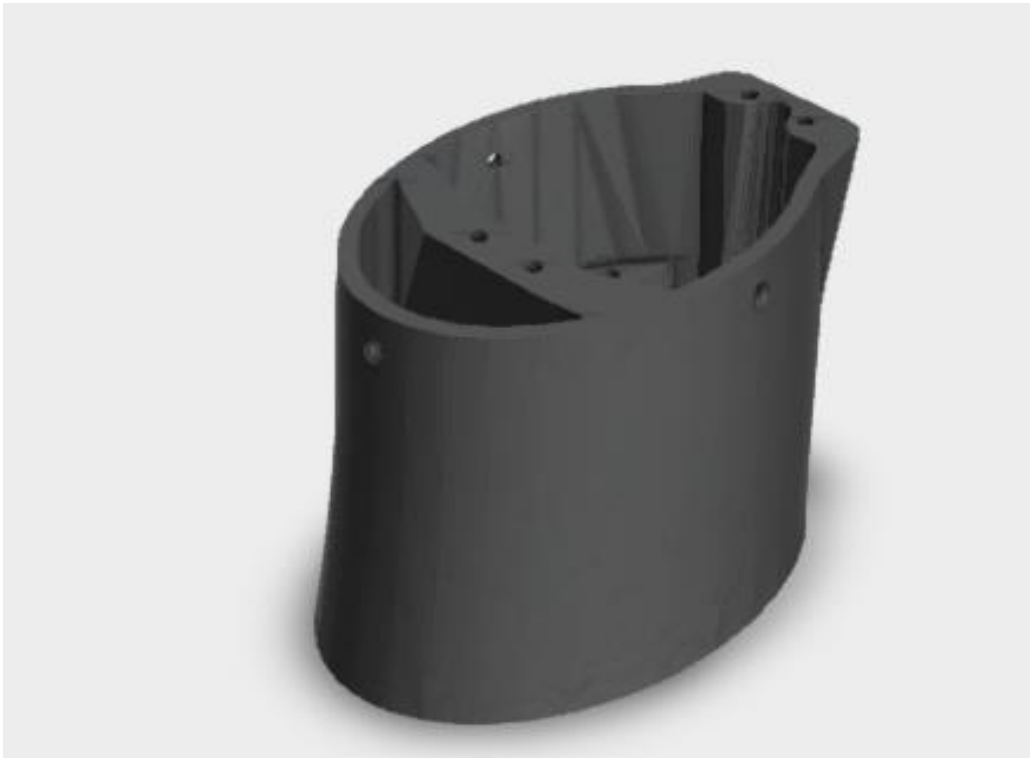
Fonte: LANGEVIN, 2024

Figura 12 - LeftRobServoBedV6



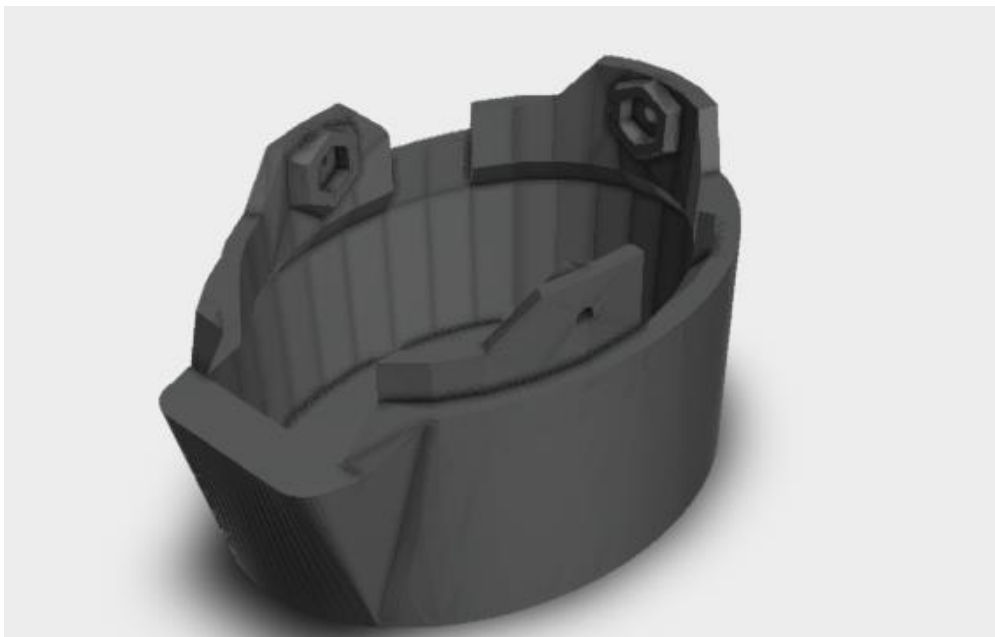
Fonte: LANGEVIN, 2024

Figura 13 - RotaWrist1V4



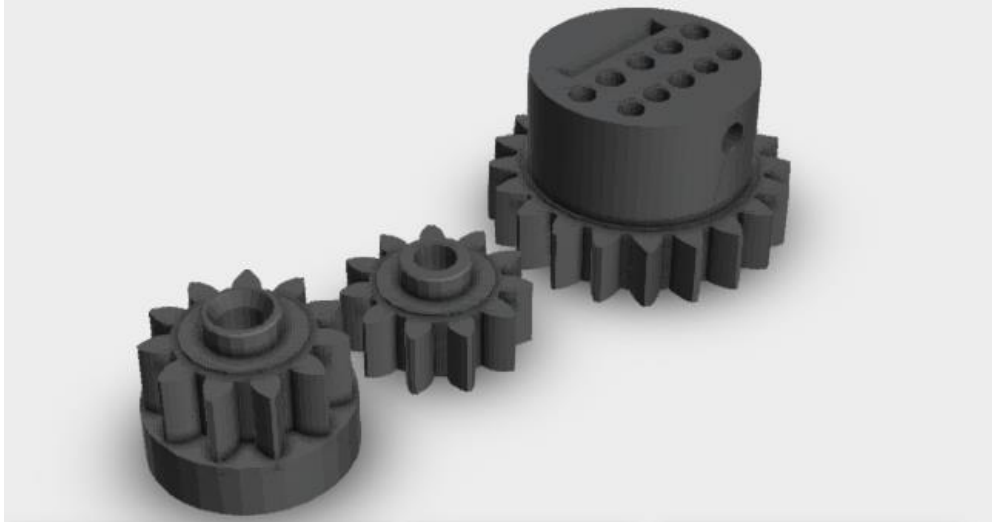
Fonte: LANGEVIN, 2024

Figura 14 - LeftRotaWrist2V3



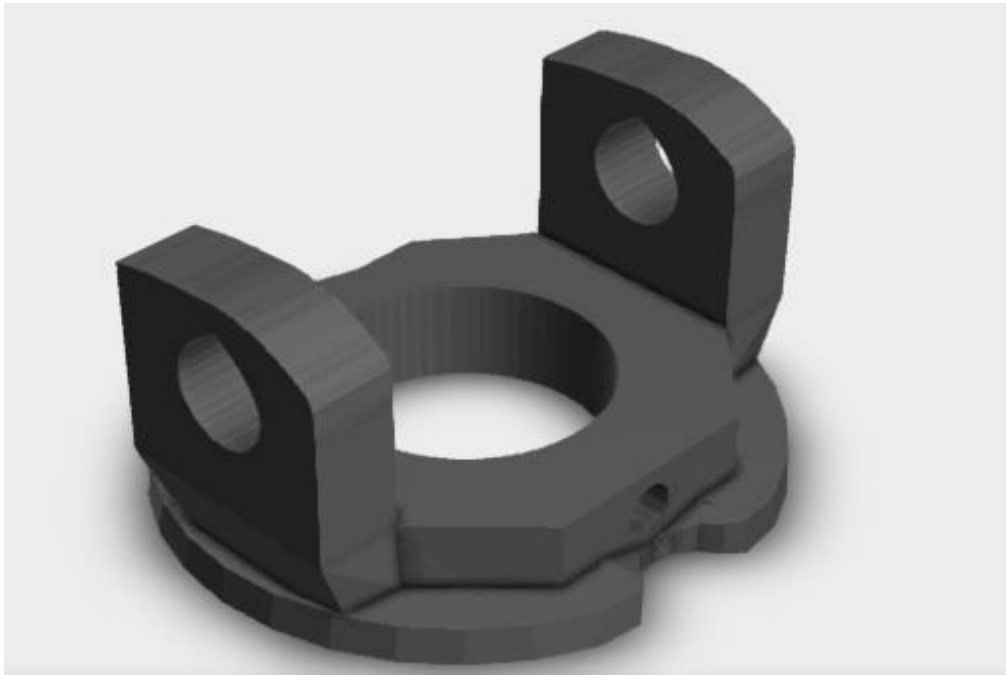
Fonte: LANGEVIN, 2024

Figura 15 - RotaWrist3V3



Fonte: (LANGEVIN,2024)

Figura 16 - WristGearsV5



Fonte: LANGEVIN, 2024

Figura 17 – Bolt\_entretoise7



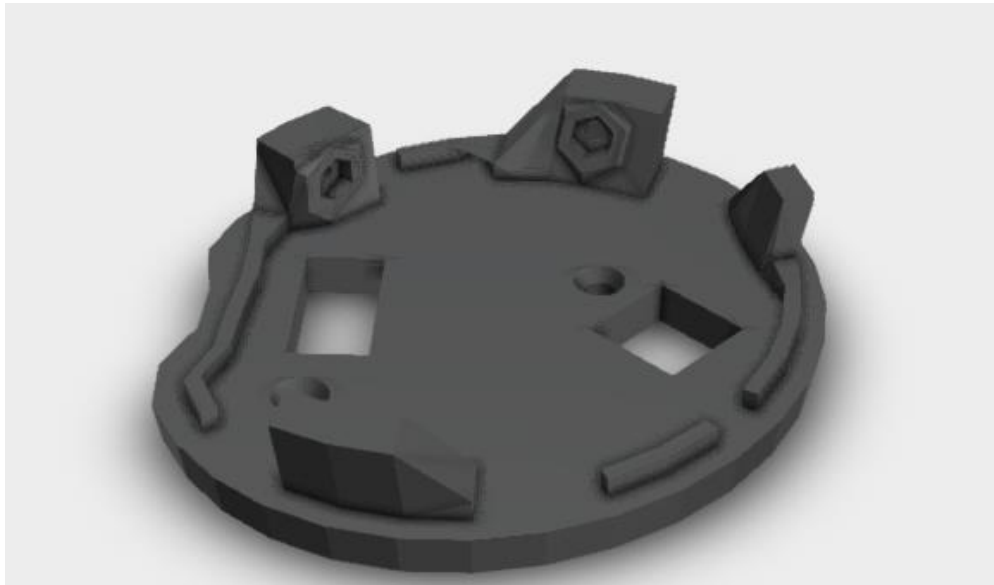
Fonte : LANGEVIN, 2024

Figura 18 - LeftRobCableBackV3



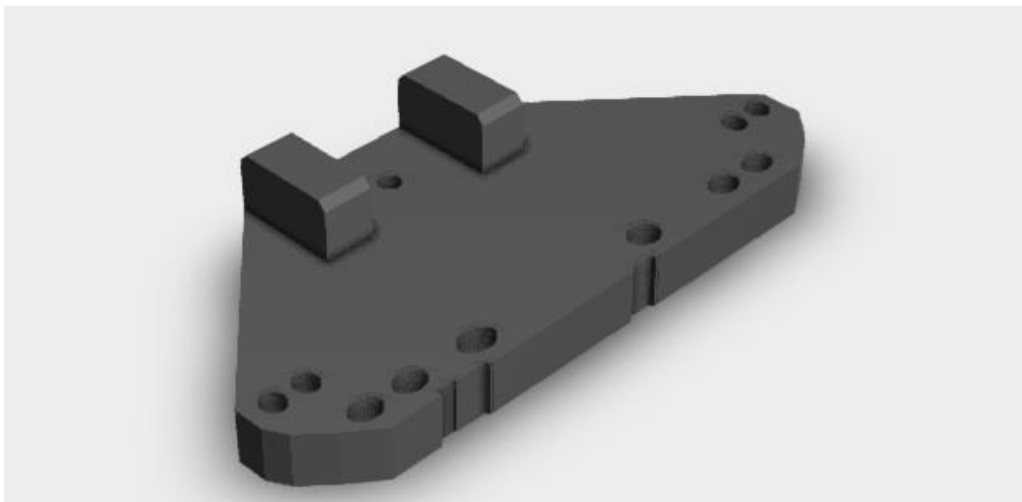
Fonte : LANGEVIN, 2024

Figura 19 - LeftRobCableFrontV3



Fonte : LANGEVIN, 2024

Figura 20 - RobCableFrontV3



Fonte: LANGEVIN, 2024

Figura 21 - Robpart2V4



Fonte LANGEVIN, 2024

Figura 22 - Robpart3V4



Fonte: LANGEVIN, 2024

Figura 23 - Robpart4V4

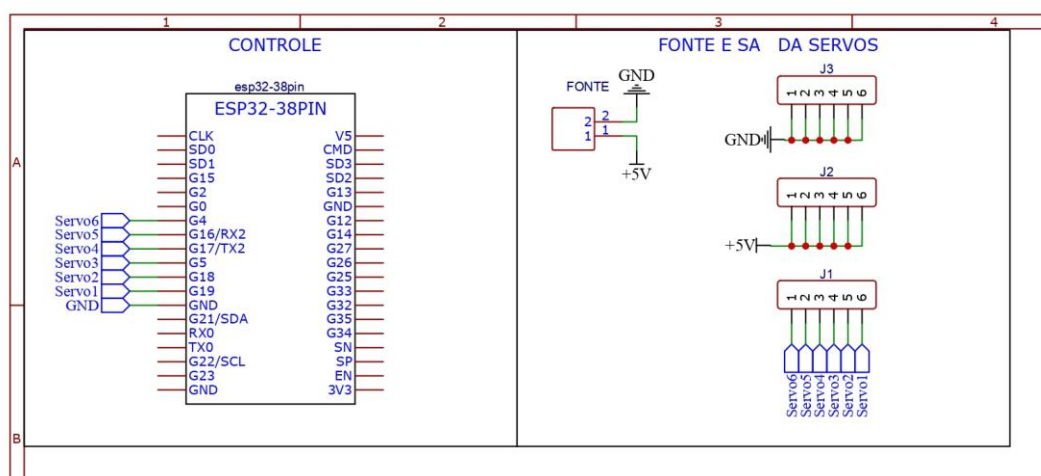


Fonte: LANGEVIN, 2024

## 2.5.2 DIAGRAMA ELETRÔNICO

Para garantir que a montagem física seja feita sem erros, será necessário o auxílio de imagens e alguns textos explicativos para a interpretação das ligações eletrônicas feitas, usando a placa microcontroladora ESP 32 de 38 pinos.

Figura 24 - Ligações Eletrônicas



Fonte: Autoria Própria

## 2.6 CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO

Para a construção do protótipo, o material escolhido foi o PETG, o principal para a estrutura do braço biônico devido à sua combinação de propriedades favoráveis, o que possibilitou após a impressão sua junção de partes, feita após os acabamentos em cada peça, lixando cada parte componente da estrutura.

Assim cada parte já impressa, foi devidamente colada e ajustada para a estrutura do dispositivo, serão feitos os encaixes para os mecanismo de manipulação das articulações dos dedos, e a colocação das molas de retorno dos seis servos motores e os mecanismo usados para manipulação dos dedos, como já dito, 5 fios de nylon (linhas de pesca) que serão usados.

## 2.6.1 Antebraço

Figura 25 - Remoção dos suportes e aparagem



Fonte: LANGEVIN, 2024

Remova os suportes e apare com uma lâmina, RobPart2, 3, 4 e 5

Figura 26 - Montagem dos Robparts juntos



Fonte: LANGEVIN, 2024

Monte Robpart2 e Robpart5 juntos

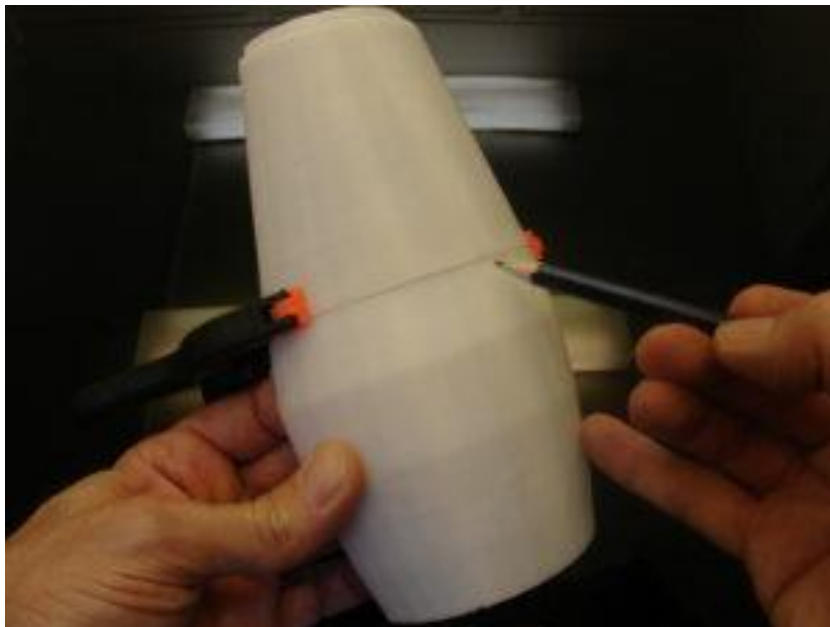
Figura 27 - Espere a cola hobby secar



Fonte: LANGEVIN, 2024

Use um alicate para segurar as peças juntas enquanto a cola araldite hobby seca

Figura 28 - Verificar se as peças estão limpas



Fonte: LANGEVIN, 2024

Evite usar cola do lado de fora, caso contrário, não ficará limpo. Verifique se suas peças estão alinhadas corretamente.

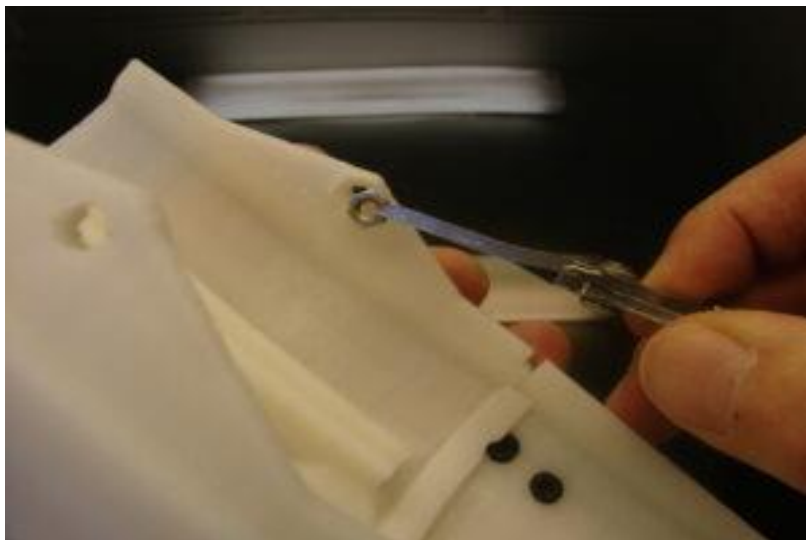
Figura 29 - Repita o processo com a part 3 e 4



Fonte: LANGEVIN, 2024

Faça o mesmo com Robpart3 e 4.

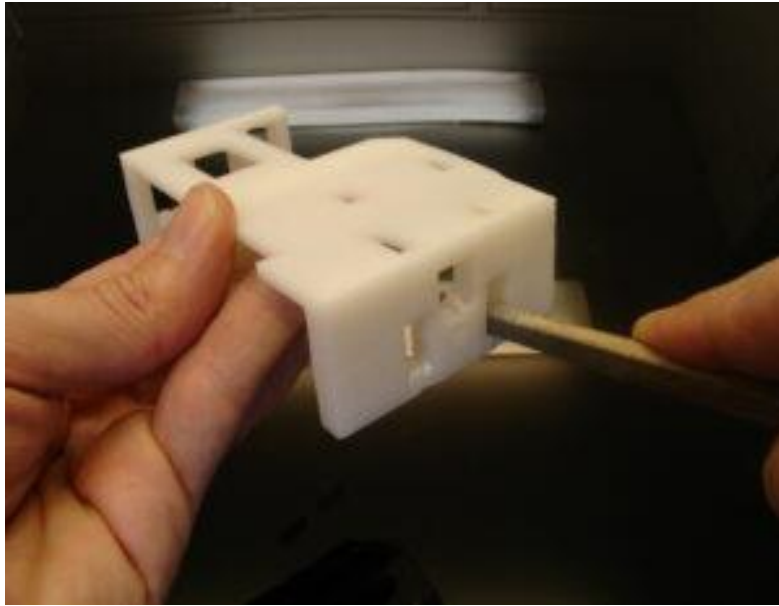
Figura 30 - Inserir as porcas para os parafusos



Fonte: LANGEVIN, 2024

No Robpart5, insira duas porcas para parafusos de 3 mm nas cavidades impressas. As minhas não estavam encaixando, devido à saliência, eu as aqueci levemente com um ferro de solda para fazê-las encaixar.

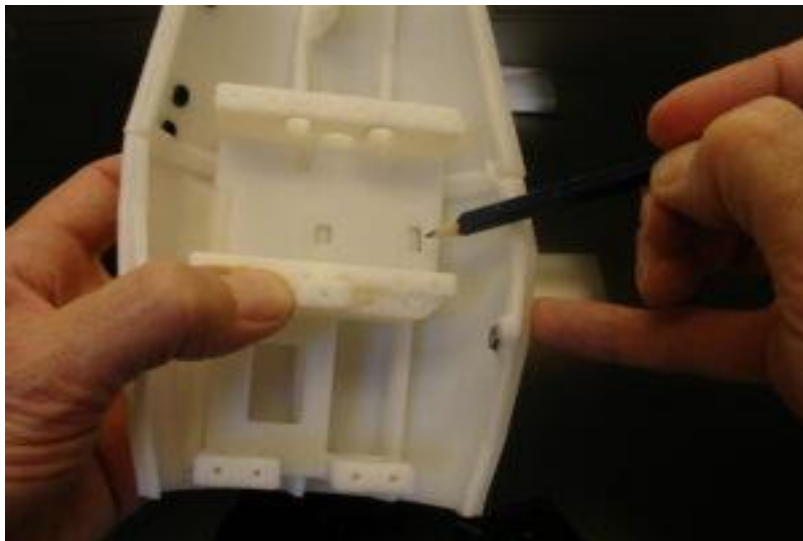
Figura 31 – Lixar



Fonte: LANGEVIN, 2024

Lixe a passagem de cabos do suporte dos servos motores.

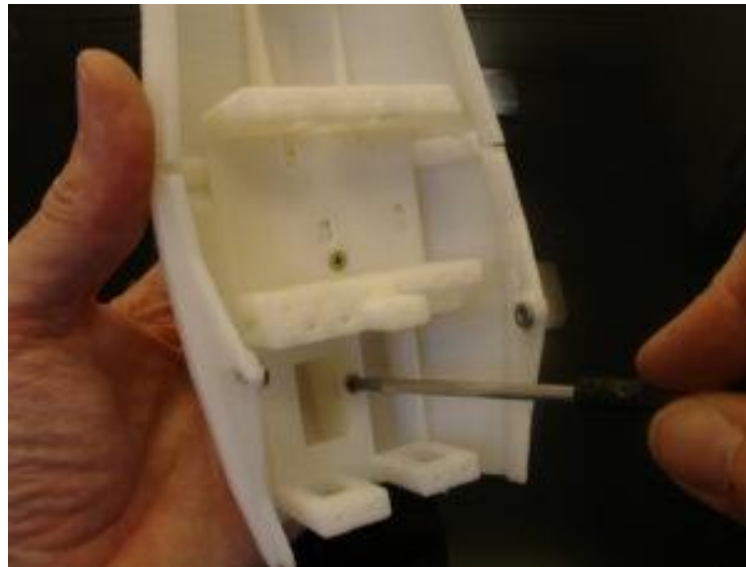
Figura 32 - Encaixe do Robpart5



Fonte: LANGEVIN, 2024

Coloque no Robpart5 a base do servo simples, certifique-se de que ela esteja assentada na parte inferior.

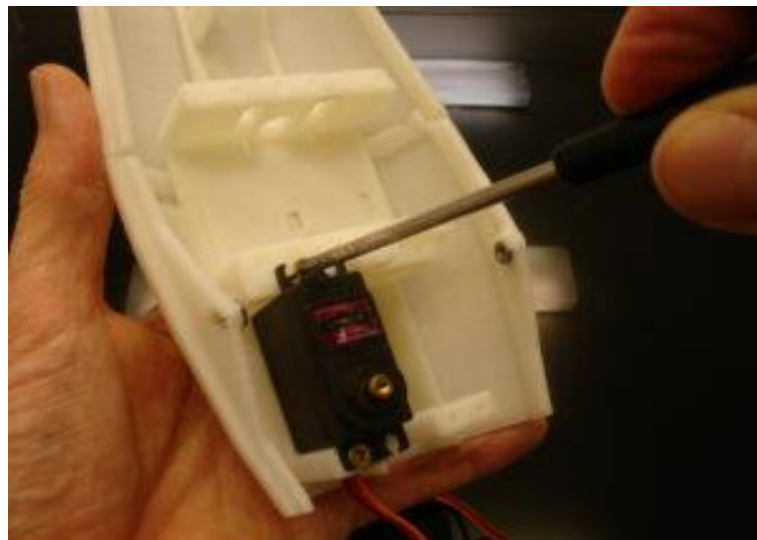
Figura 33 - Colar ou parafusar a base do servo.



Fonte: LANGEVIN, 2024

Cole ou parafuse a base do servo simples com 2 parafusos de madeira m3x6.

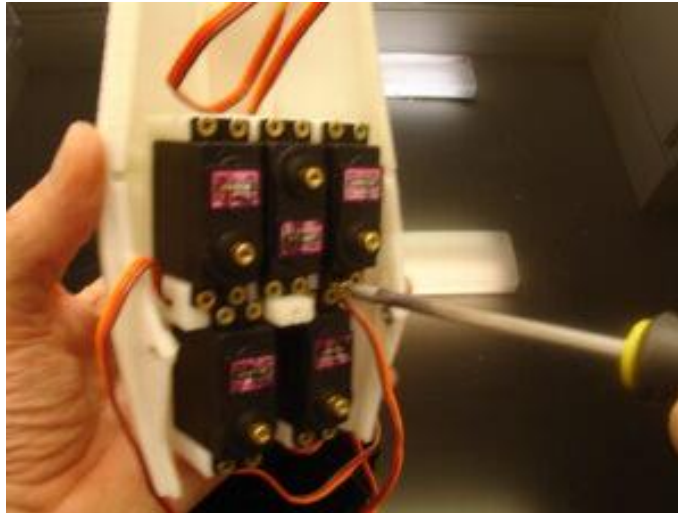
Figura 34 - Montagem dos servos à base



Fonte: LANGEVIN, 2024

Neste ponto podemos montar os servos em uma base de servo simples.

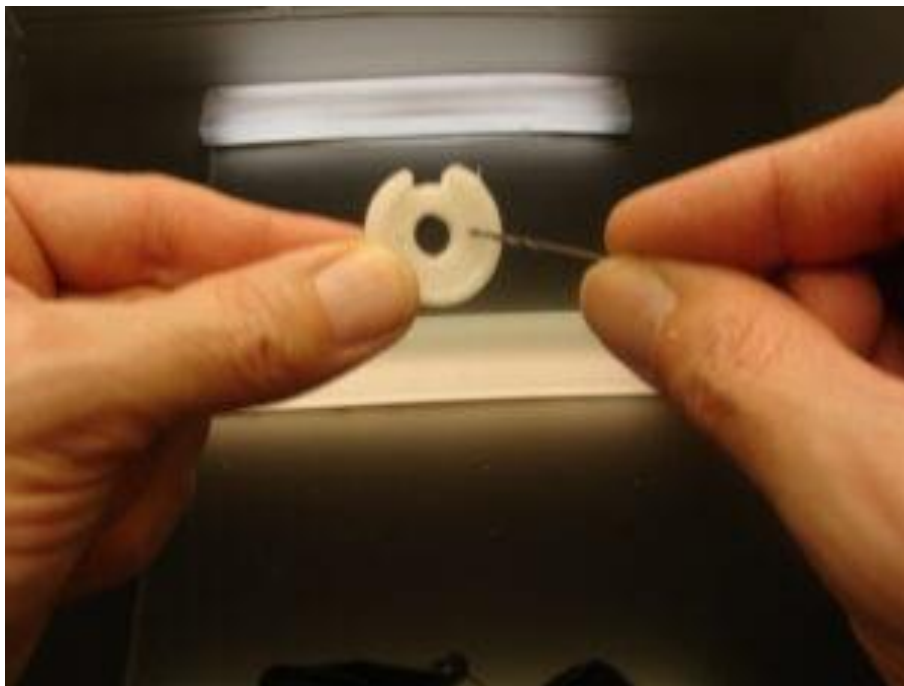
Figura 35 - Parafuse todos os motores



Fonte: LANGEVIN, 2024

Parafusando todos os motores.

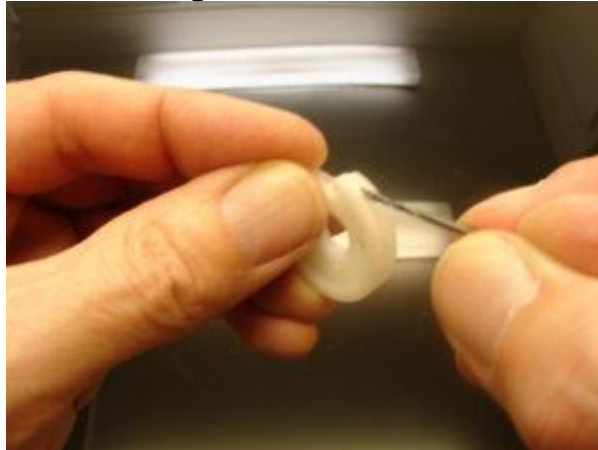
Figura 36 - Limpe os furos preenchidos



Fonte: LANGEVIN, 2024

Se ficar algum furo preenchido devido a impressão, limpe-o.

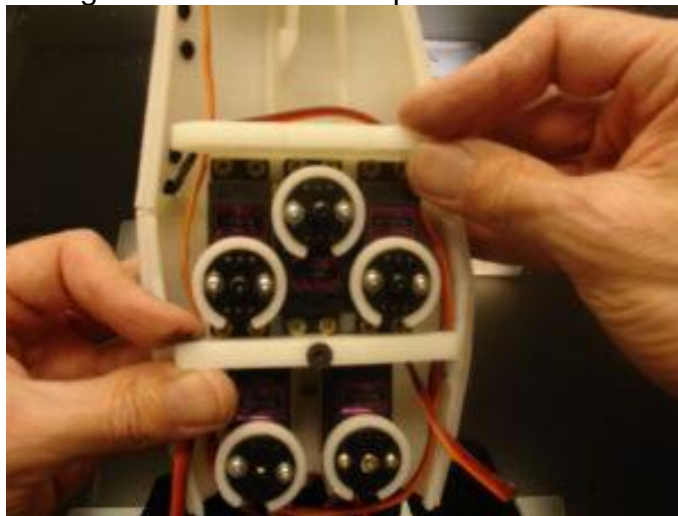
Figura 37 - Conferir.



Fonte: LANGEVIN, 2024

Aonde passara a linha de pesca, confira se o caminho está livre.

Figura 38 - Encaixar as polias nos servos



Fonte: LANGEVIN, 2024

Após deixar o servo em 0 graus encaixe as polias no servo, deixando todas eles tensionadas, mas não ao ponto de puxar algum dedo.

Figura 39 - Remover o suporte do RotaWrist1



Fonte: LANGEVIN, 2024

No RotaWrist1 remova o suporte.

Figura 40 - Fure novamente se necessário.



Fonte: LANGEVIN, 2024

Se necessário, fure novamente os furos para o revestimento.

Figura 41 - Certificar o encaixe nos RobParts



Fonte: LANGEVIN, 2024

Certifique-se de que ele se encaixa no Robparts.

Figura 42 - Sugestão para uma adaptação melhor



Fonte: LANGEVIN, 2024

Você pode usar um preenchimento para adaptá-lo perfeitamente.

Figura 43 - Montagem correta dos RobParts.



Fonte: LANGEVIN, 2024

Esta é a maneira correta de montá-lo, veja, Robpart2 e Robpart5 serão colados ao RotaWrist1. Eu vi muitas montagens onde o pulso foi montado de forma oposta. Observe a parte quadrada no RotaWrist1, ela deve estar alinhada com o furo único do Robpart2 (4 furos pretos no modelo anterior).

Figura 44 - Colagem do RotaWrist1 ao Robpart2



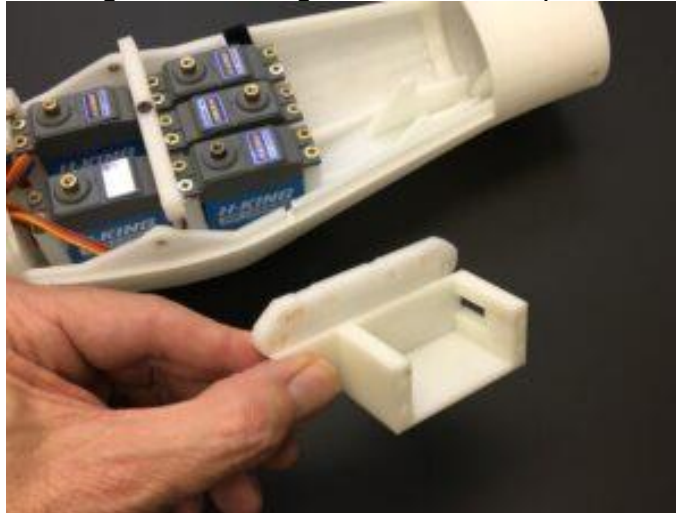
Fonte: LANGEVIN, 2024

Cole o RotaWrist1 no Robpart2. Ao fazer isso, é bom também colocar a capa do Robpart3/4 para garantir que o RotaWrist1 esteja corretamente posicionado.

Após isso, seguir ao passo a passo da montagem da mão na próxima página.

## 2.6.2 Mão

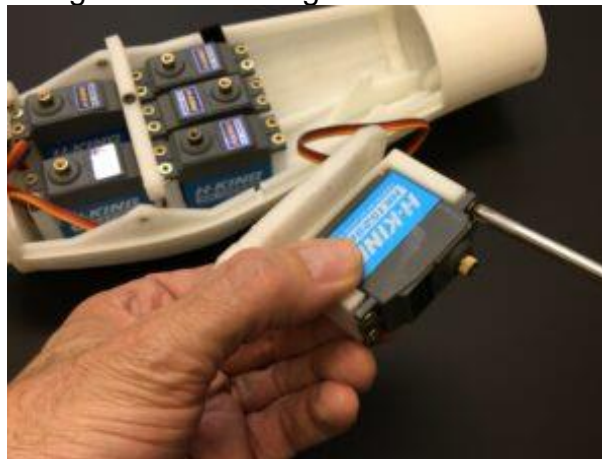
Figura 45- Colagem do servo de pulso



Fonte: LANGEVIN, 2024

Cole o suporte do servo de pulso no RobCableFront

Figura 46 – Montagem do servomotor



Fonte: LANGEVIN, 2024

Monte o servo motor com 4 parafusos

Figura 47 - Furar com a broca M3 se necessário.



Fonte: LANGEVIN, 2024

Se necessário, faça novos furos com uma broca M3.

Figura 48 - Refurar os furos



Fonte: LANGEVIN, 2024

Refurar os furos para permitir que os tubos M3 PTFE passem por eles

Figura 49 - Refurar com a broca m3



Fonte: LANGEVIN, 2024

Refurar o furo com uma broca M3

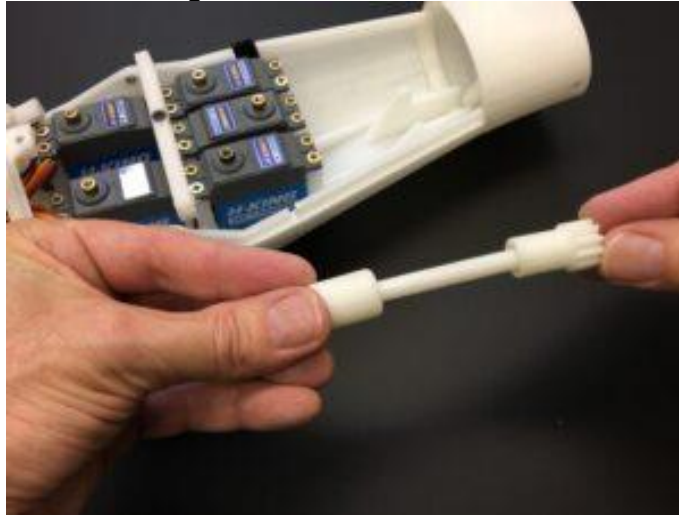
Figura 50 - Colar as partes do eixo



Fonte: LANGEVIN, 2024

Cole as duas partes impressas do eixo

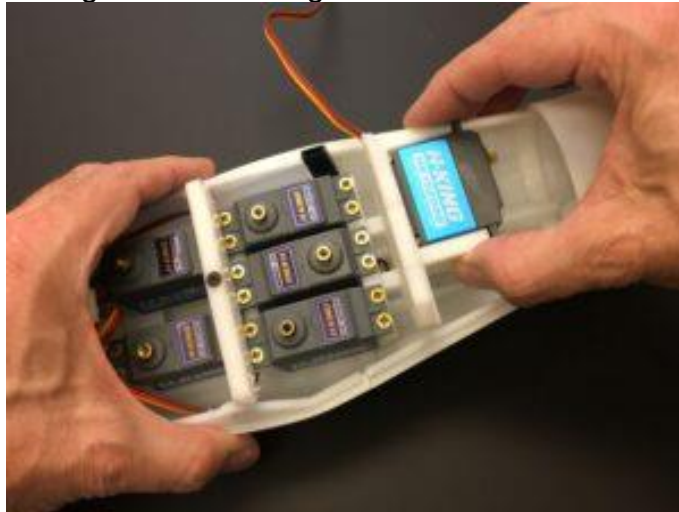
Figura 51 - Verificar o eixo



Fonte: LANGEVIN, 2024

Verifique se o eixo se encaixa corretamente nas duas engrenagens impressas.

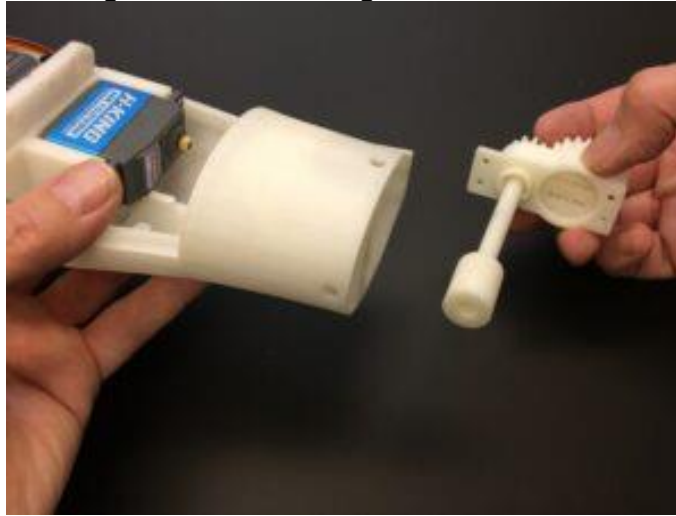
Figura 52 - Montagem do RobCableFront



Fonte: LANGEVIN, 2024

Monte o RobCableFront e o suporte do servo na base do servo.

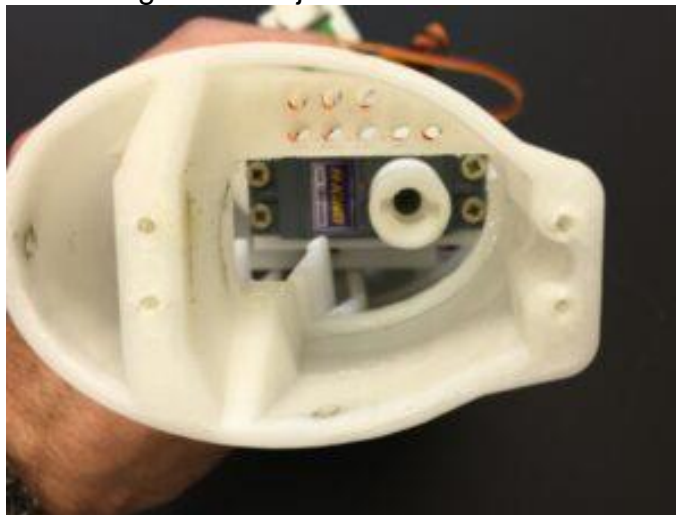
Figura 53 - Amostragem do WristGear



Fonte: LANGEVIN, 2024

Esta vista é para mostrar a montagem do WristGear e como essas peças se encaixam

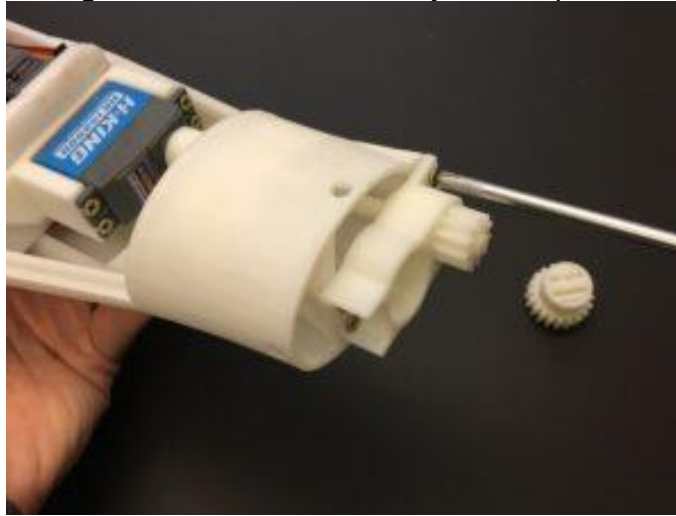
Figura 54 - Ajuste do Servomotor



Fonte: LANGEVIN, 2024

Ajuste seu servo aproximadamente a 90 graus ou 150 graus (JX-6225MG), meio do seu alcance total. Você pode usar este script para fazer isso. Monte com um parafuso de 3 mm a ponta final do conjunto no eixo do servo.

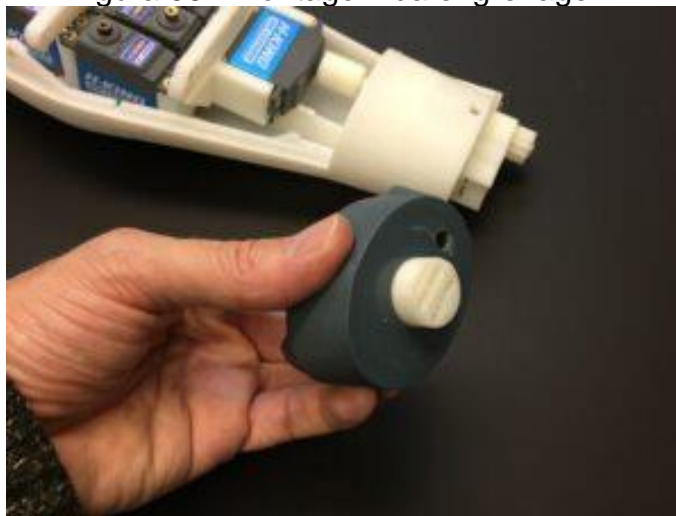
Figura 55 - Parafuse o conjunto ao pulso.



Fonte: LANGEVIN, 2024

Parafuse o conjunto no pulso com 4 parafusos

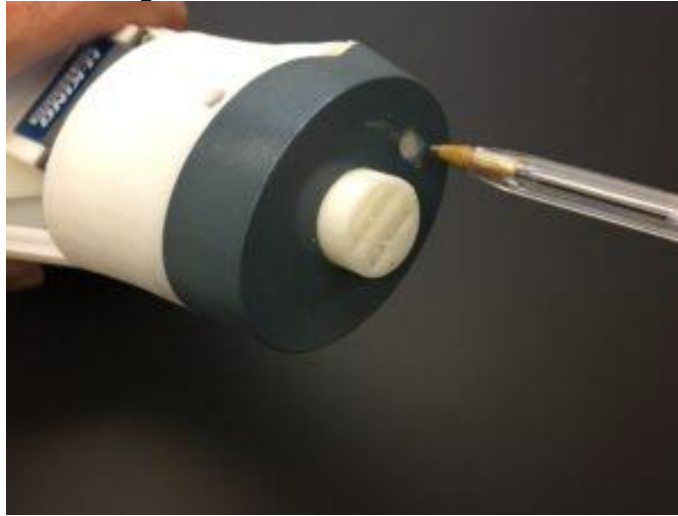
Figura 56 - Montagem da engrenagem.



Fonte: LANGEVIN, 2024

Monte a engrenagem principal conforme mostrado

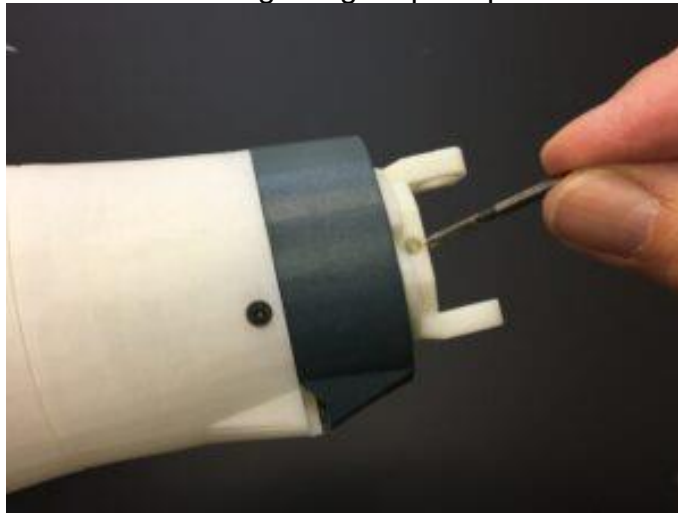
Figura 57 - Encaixe o RotaWrist2



Fonte: LANGEVIN, 2024

Observe que a cabeça da engrenagem pequena deve ser encaixada no orifício reservado do RotaWrist2.

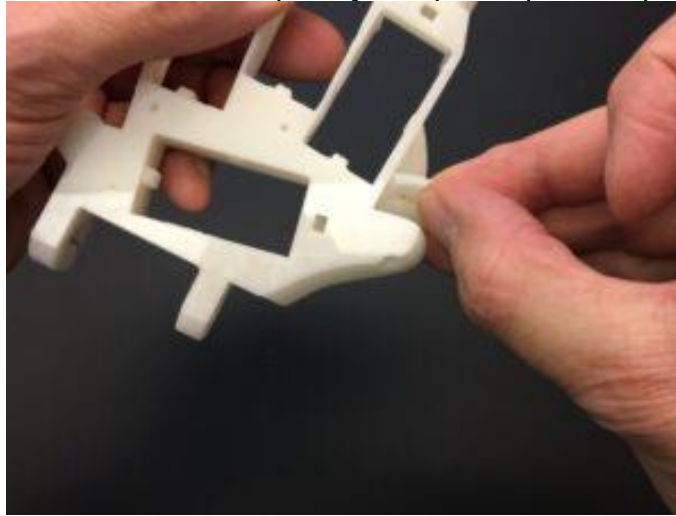
Figura 58 - Alinhe a engrenagem principal e o RotaWrist3.



Fonte: LANGEVIN, 2024

Com uma torneira M3, alinhe a engrenagem principal e o RotaWrist3 e adicione um parafuso M3 x 12 mm para fixá-los juntos

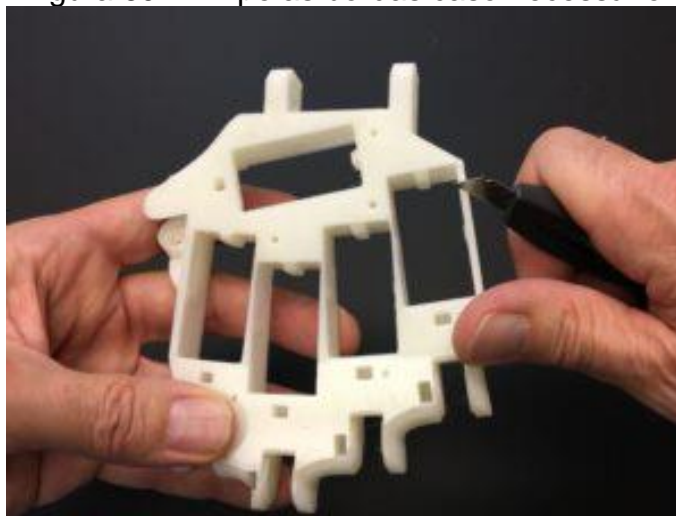
Figura 59 - Remover o pedaço de pré-suporte Impresso.



Fonte: LANGEVIN, 2024

Remova aquele pedaço de pré-suporte impresso, você não precisa mais dele.

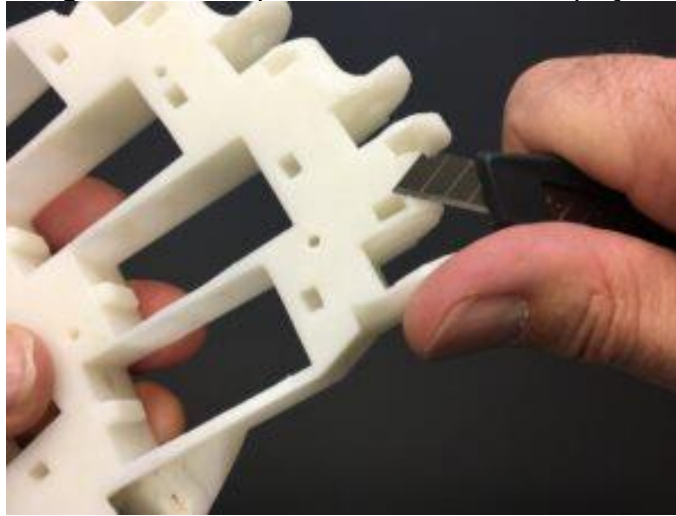
Figura 60 - Limpe as bordas caso necessário.



Fonte: LANGEVIN, 2024

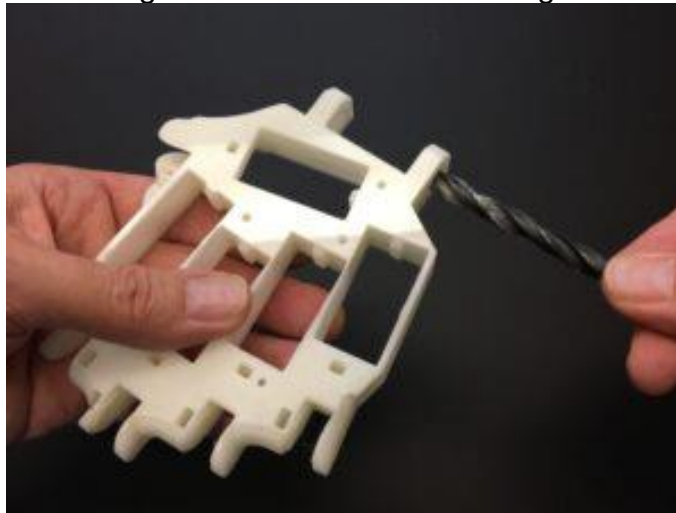
Com uma lâmina afiada, limpe as bordas se necessário.

Figura 61 – Limpar extremidades das peças



Fonte: LANGEVIN, 2024

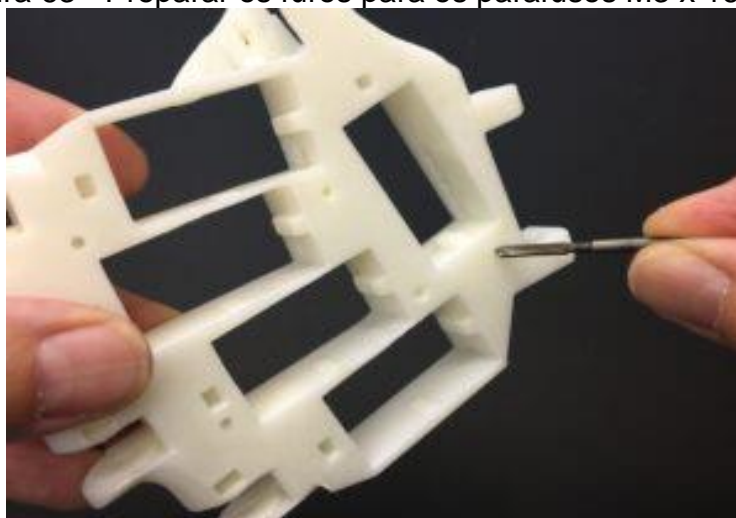
Figura 62 - Refurar o WristLarge.



Fonte: LANGEVIN, 2024

Refurar com uma broca M8 WristLarge.

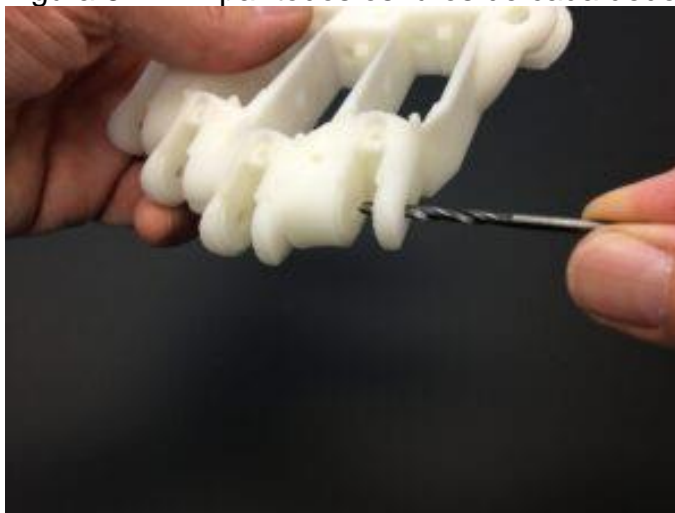
Figura 63 - Preparar os furos para os parafusos M3 x 16 mm.



Fonte: LANGEVIN, 2024

Com uma torneira M3, prepare os furos para alguns parafusos M3 x 16 mm onde as tampas de mão serão fixadas

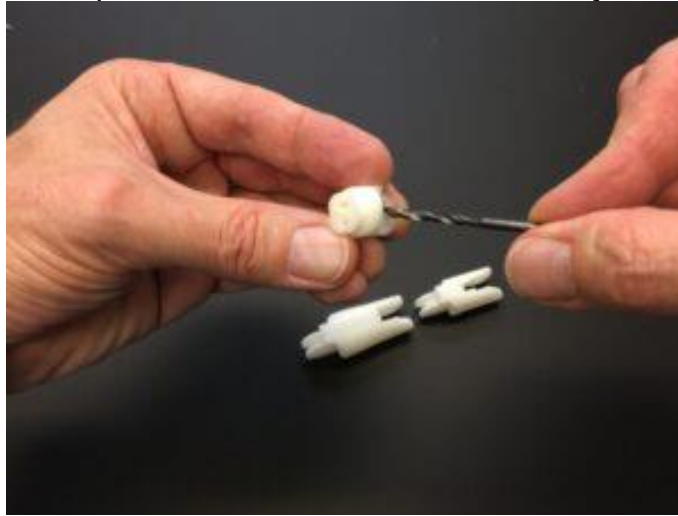
Figura 64 - Limpar todos os furos de cada dedo.



Fonte: LANGEVIN, 2024

Com uma broca M3, limpe todos os furos que irão prender cada dedo.

Figura 65 - Limpar os furos de cada uma das 3 seções dos dedos



Fonte: LANGEVIN, 2024

Com uma broca M3, limpe todos os furos de cada 3 seções de todos os dedos

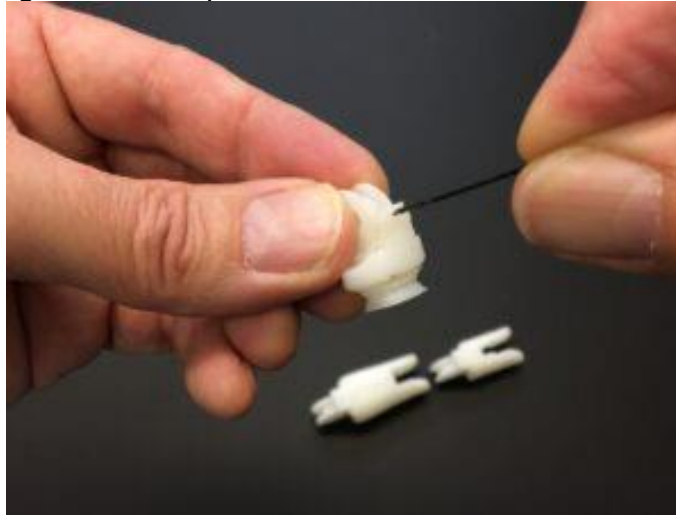
Figura 66 - Limpe a saída do sensor do corredor.



Fonte: LANGEVIN, 2024

Com uma lâmina afiada, limpe a saída do sensor do corredor.

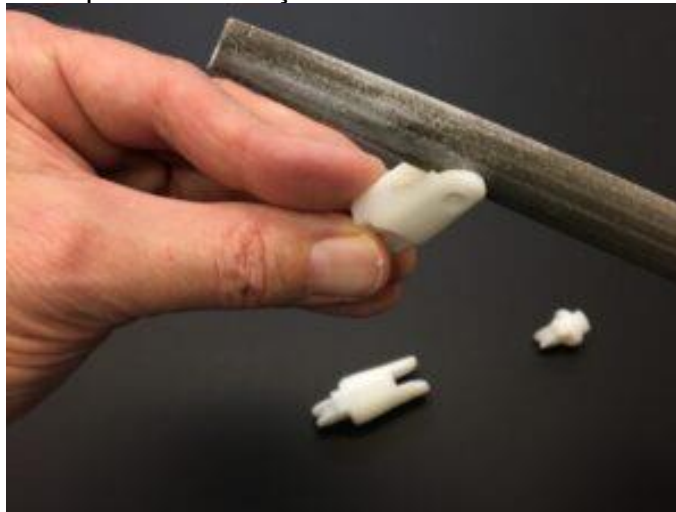
Figura 67 - Limpar o furo onde a mola será fixada.



Fonte: LANGEVIN, 2024

Com uma broca M1.5, limpe o furo onde a extremidade da mola será fixada

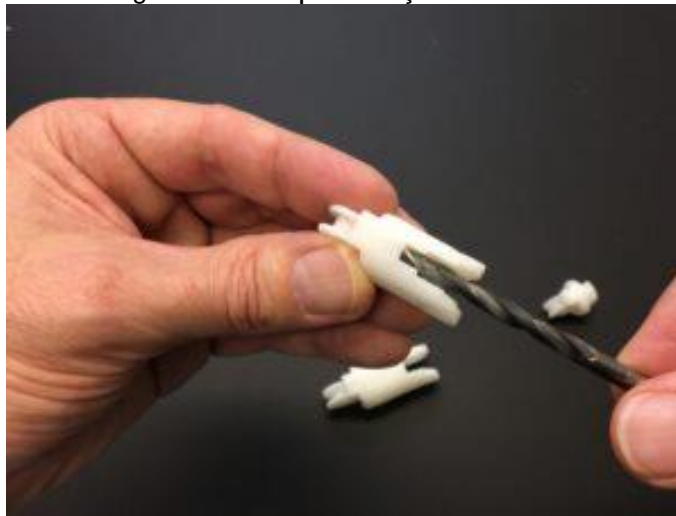
Figura 68 – Certificar que as três seções de cada dedo se encaixem e se movam.



Fonte: LANGEVIN, 2024

Com um preenchimento, certifique-se de que as três seções de cada dedo se encaixem e se movam de forma realmente suave. Isso é importante para ter bons dedos trabalhando.

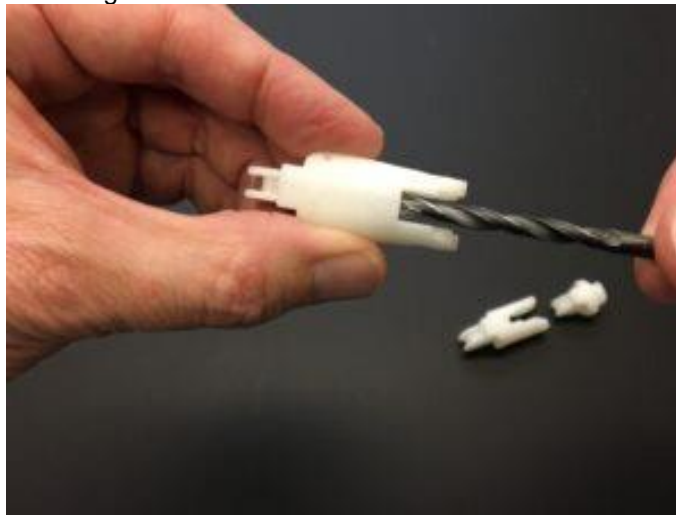
Figura 69 - Limpar a seção dos dedos.



Fonte: LANGEVIN, 2024

Com uma broca M5.5, limpe esta seção do dedo para permitir que a mola passe corretamente.

Figura 70 – Desobstruir o encaixe dos dedos



Fonte: LANGEVIN, 2024

Com uma broca M5.5, limpe esta seção do dedo para permitir que a mola passe corretamente.

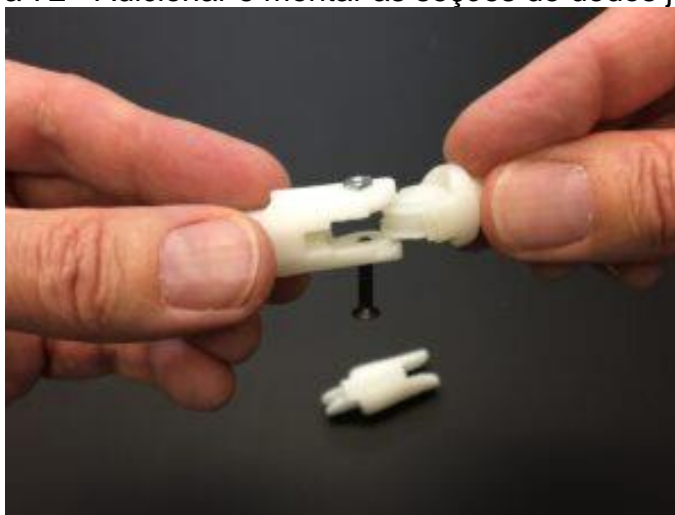
Figura 71 - Certificar que a agulha possa deslizar através da seção do dedo.



Fonte: LANGEVIN, 2024

Certifique-se de que uma agulha pode deslizar através de cada seção do dedo, conforme mostrado, caso contrário, limpe os orifícios

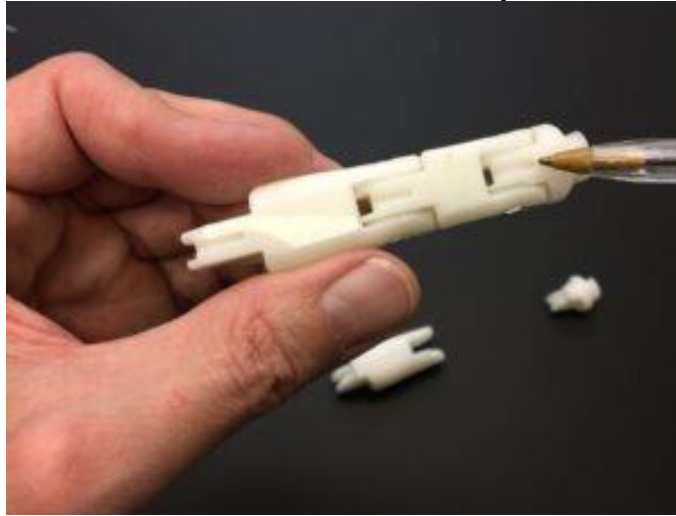
Figura 72 - Adicionar e montar as seções de dedos juntas.



Fonte: LANGEVIN, 2024

Adicione e monte seções de dedos juntas usando parafusos e porcas M3 x 16 mm.

Figura 73 - Certificar se as entradas estejam desobstruídas.



Fonte: LANGEVIN, 2024

Certifique-se de que as entradas para a linha de pesca trançada também estejam desobstruídas.

Figura 74 - Preparar a linha de pesca e as passar por cada dedo.

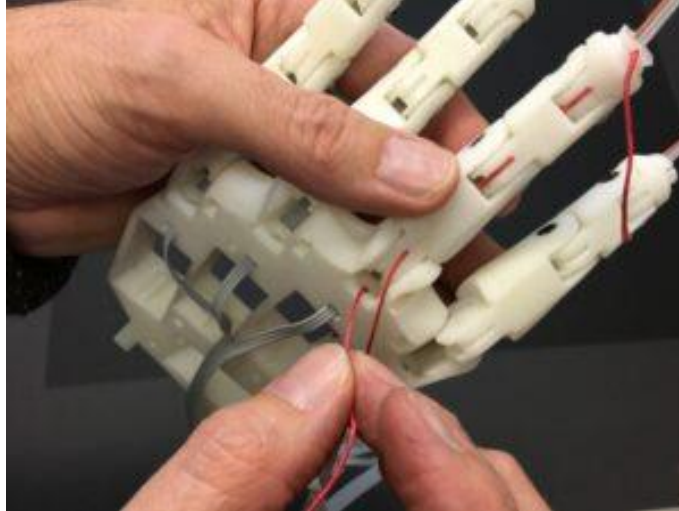


Fonte: LANGEVIN, 2024

Prepare 5 pedaços de 50 cm de linha de pesca e as passe trançando por cada dedo.

Puxando a linha de pesca conforme mostrado na ranhura em V da ponta do dedo, você pode se prender

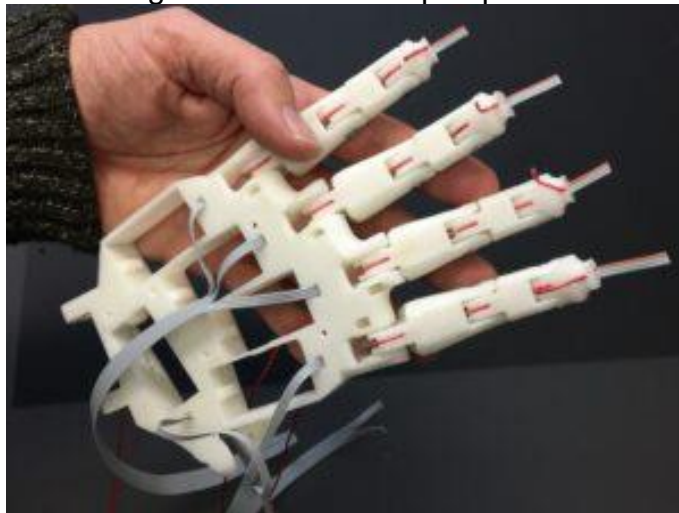
Figura 75 - Passar a linha de pesca pelo WristLarge.



Fonte: LANGEVIN, 2024

Agora passe a outra ponta da linha de pesca no orifício do WristLarge

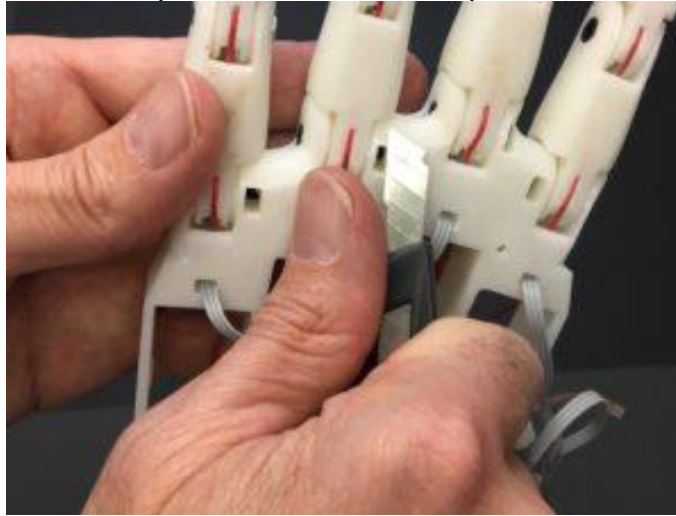
Figura 76 - Amostragem do resultado após passar a linha de pesca.



Fonte: LANGEVIN, 2024

Isto é para mostrar como deve ficar. Na minha foto, ainda não fiz o polegar, mas você pode fazer. Todos os cinco dedos podem ser feitos ao mesmo tempo.

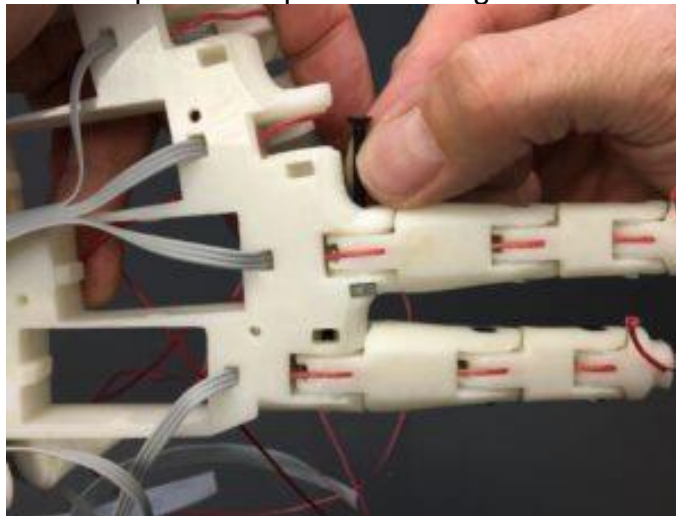
Figura 77 - Limpar os invólucros dos parafusos de 3 mm.



Fonte: LANGEVIN, 2024

Se você não fez isso, limpe os invólucros dos parafusos de 3 mm para a próxima etapa.

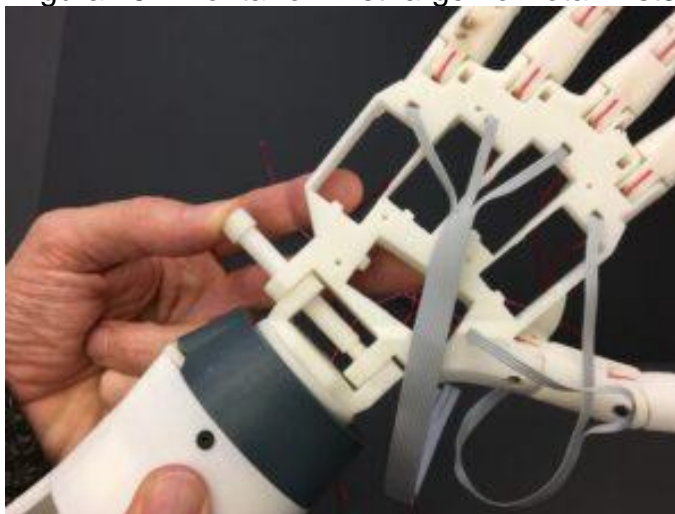
Figura 78 - Adicionar os parafusos para a montagem dos dedos ao WristLatge.



Fonte: LANGEVIN, 2024

Agora é hora de adicionar os parafusos M3 x 16 mm e seus respectivos parafusos para montar os dedos no WristLarge. Comece com o dedo maior, depois o indicador, o anelar, o mindinho e termine com o polegar.

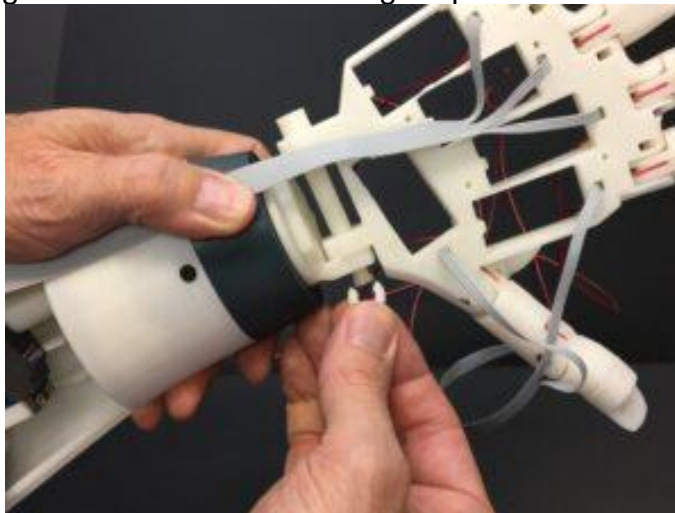
Figura 79 - Montar o WristLarge no RotaWrist3



Fonte: LANGEVIN, 2024

Monte o WristLarge no RotaWrist3 com o parafuso M8 impresso apropriado

Figura 80 - Colocar um mini grampo nas rachaduras



Fonte: LANGEVIN, 2024

Coloque o mini grampo na ranhura do parafuso impresso.

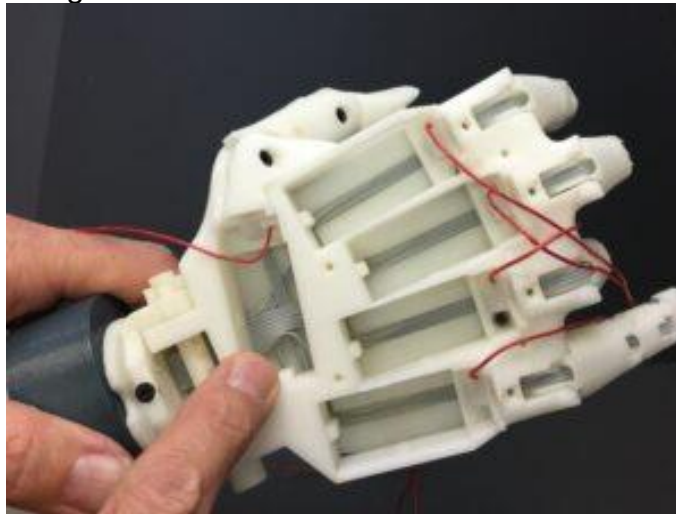
Figura 81 - Colocar e parafusar a tampa da palma da mão



Fonte: LANGEVIN, 2024

Coloque e aparafuse a tampa da palma com 3 parafusos de M3 x 16 mm.

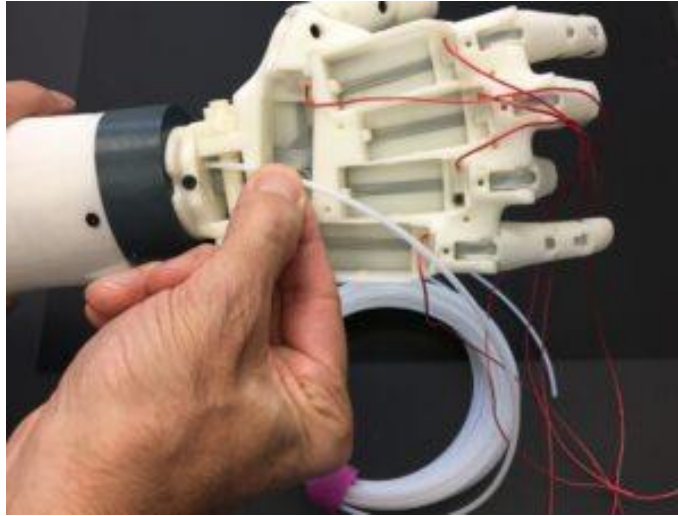
Figura 82 - Colocar as fitas nas rachaduras



Fonte: LANGEVIN, 2024

Ao parafusar a tampa da palma, certifique-se de colocar as fitas cuidadosamente nas ranhuras e evite realmente beliscá-las

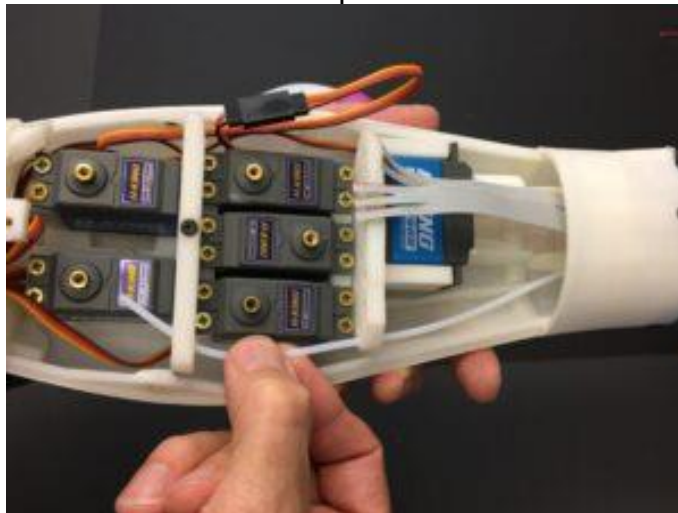
Figura 83 - Passar os tubos através dos tubos de teflon.



Fonte: LANGEVIN, 2024

Agora passe os tubos de PTFE M2.5 através dos tubos de Teflon da engrenagem principal ID1.5MM X OD2.5MM Os tubos de PTFE têm os seguintes comprimentos: Polegar 335mm Índice 300mm Meio 300mm Anel 300mm Mindinho 360mm.

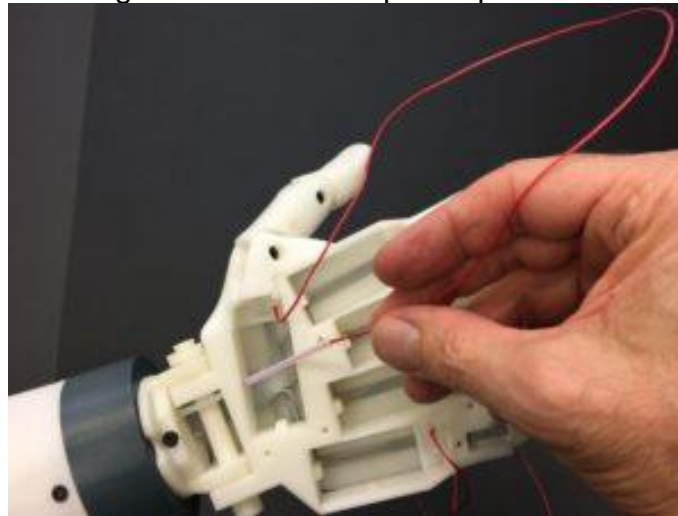
Figura 84- - Passar os tubos pelos furos da cama do servo.



Fonte: LANGEVIN, 2024

Passe o tubo pelos furos da cama do servo. Aproxime o tubo do eixo do servo a cerca de 1,5 cm

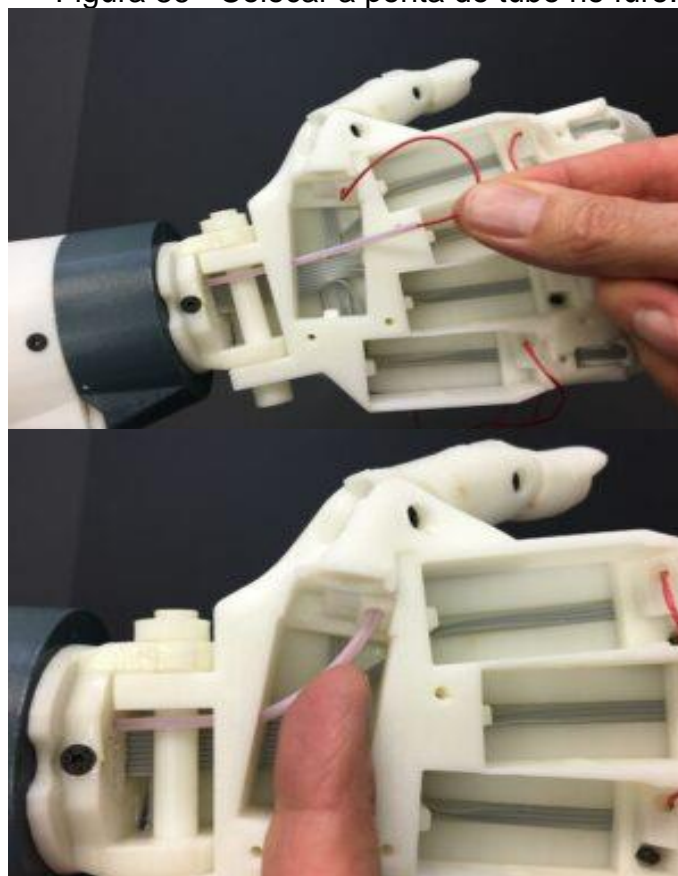
Figura 85 - Linha de pesca pelo tubo



Fonte: LANGEVIN, 2024

Passe a linha de pesca pelo tubo.

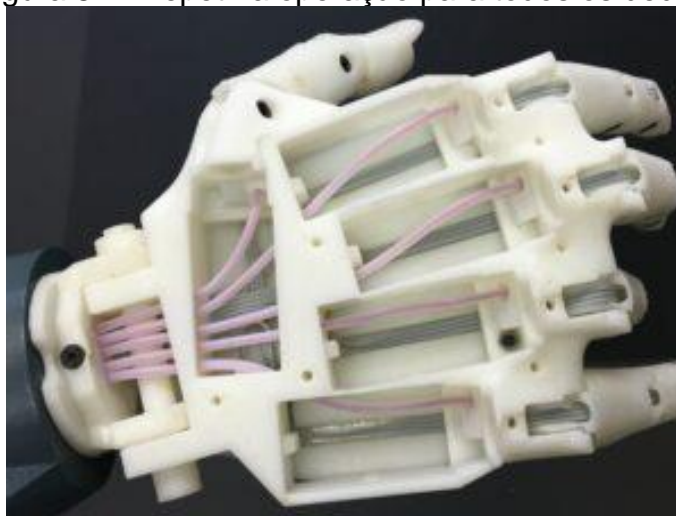
Figura 86 - Colocar a ponta do tubo no furo.



Fonte: LANGEVIN, 2024

E coloque a ponta do tubo no furo reservado até que não possa mais passar

Figura 87 - Repetir a operação para todos os dedos.



Fonte: LANGEVIN, 2024

Repita a operação para cada dedo.

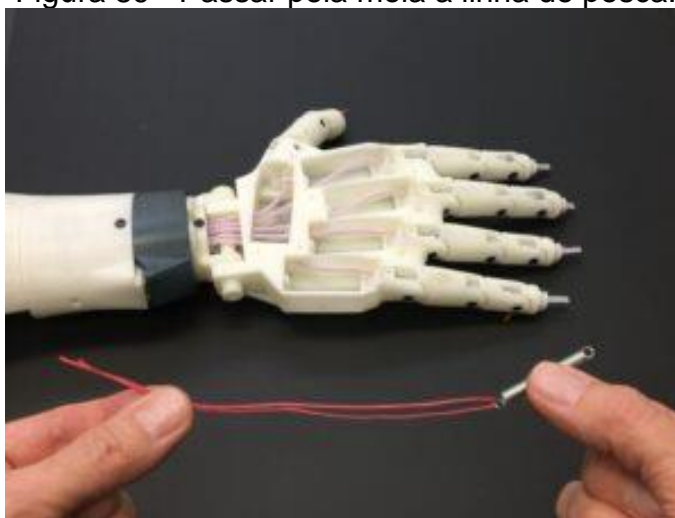
Figura 88 - Molas



Fonte: LANGEVIN, 2024

Agora pegue suas 5 molas Molas 3/16"x1-3/4.

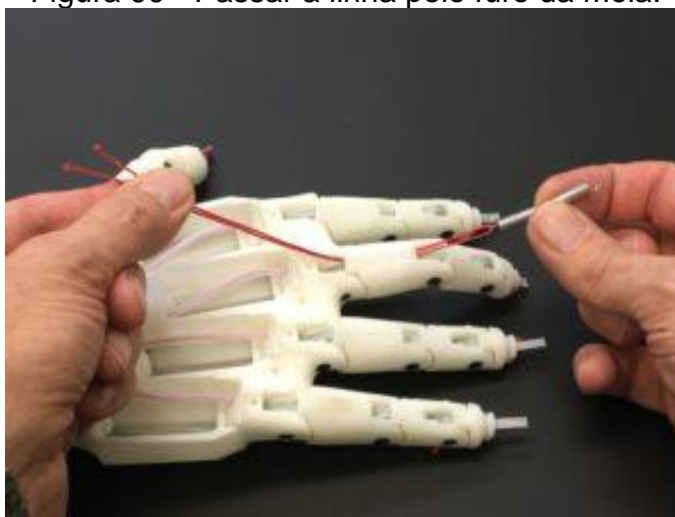
Figura 89 - Passar pela mola a linha de pesca.



Fonte: LANGEVIN, 2024

Passar por um lado da mola um pedaço de linha de pesca. O comprimento total da linha de pesca deve ser de cerca de 30 cm

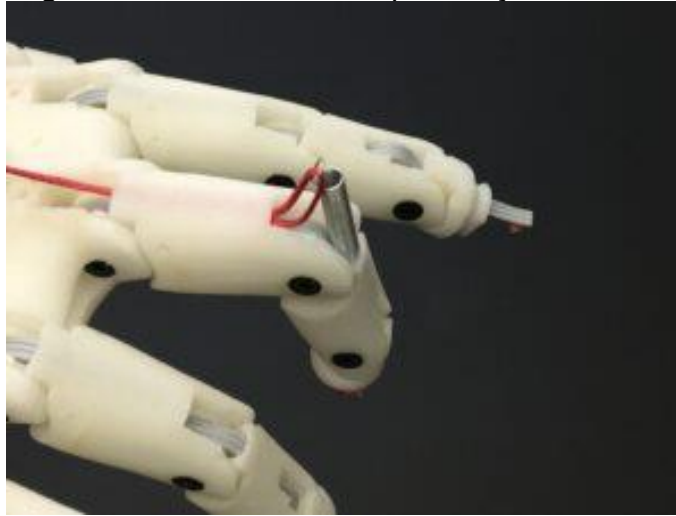
Figura 90 - Passar a linha pelo furo da mola.



Fonte: LANGEVIN, 2024

Passar a linha de pesca pelo furo de mola da seção do dedo principal.

Figura 91 - Passar a mola pela seção do dedo.



Fonte: LANGEVIN, 2024

Passe a mola pela segunda seção do dedo.

Figura 92 - Usar parafusos pequenos



Fonte: LANGEVIN, 2024

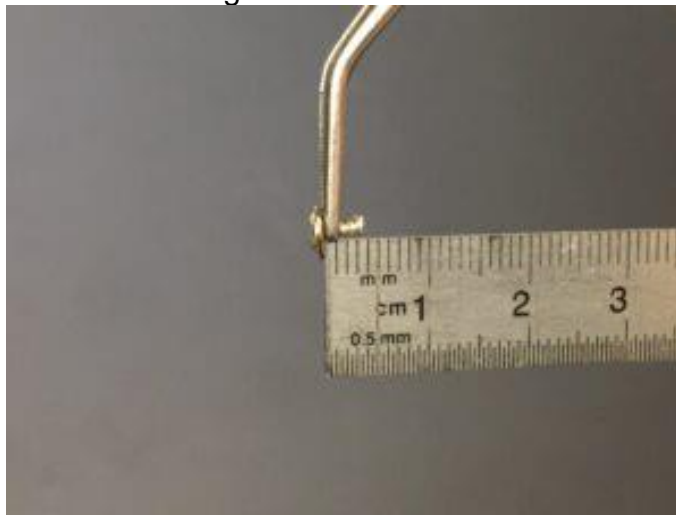
Pegue 5 parafusos pequenos, usei alguns dos servos que são montados no mecanismo do olho, o diâmetro desses parafusos é de cerca de 2 mm.

Figura 93 - Corte o parafuso.



Fonte: LANGEVIN, 2024

Figura 94 - Parafuso



Fonte: LANGEVIN, 2024

Corte com um alicate o parafuso para que fique com comprimento total máximo de 4mm

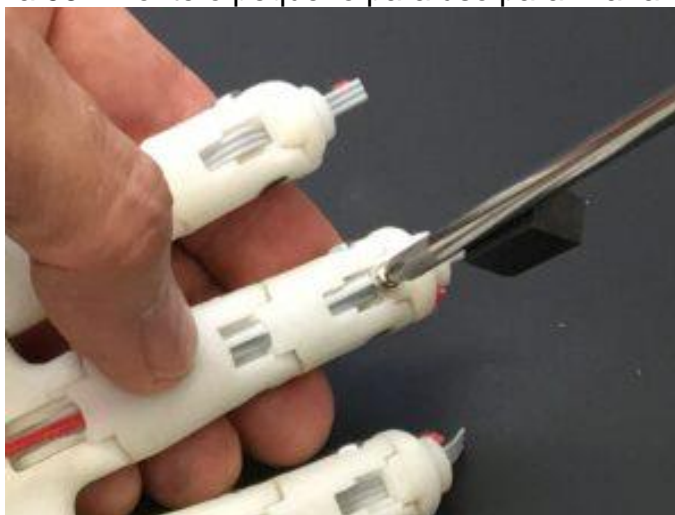
Figura 95 - Segure a mola.



Fonte: LANGEVIN, 2024

Segure a mola no lugar.

Figura 96 - Monte o pequeno parafuso para fixar a mola.



Fonte: LANGEVIN, 2024

Monte aquele pequeno parafuso para fixar a mola no lugar. Certifique-se de que o parafuso não esteja perfurando os três fios da fita.

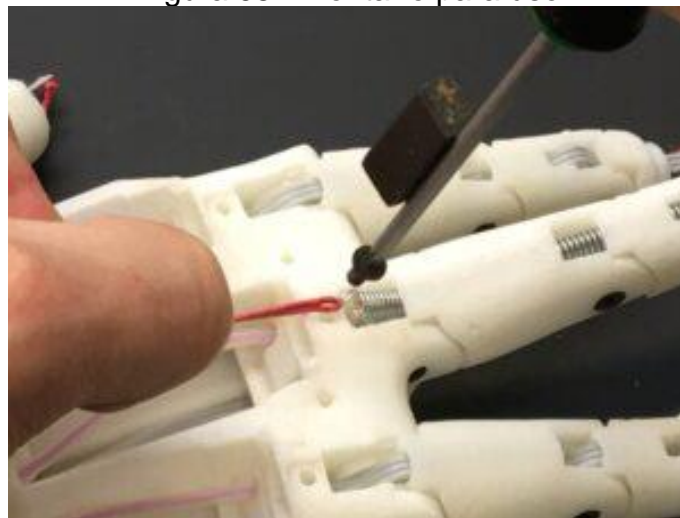
Figura 97 – Pequeno Parafuso.



Fonte: LANGEVIN, 2024

Pegue ou corte cinco parafusos de 3 mm com comprimento máximo de 4 mm

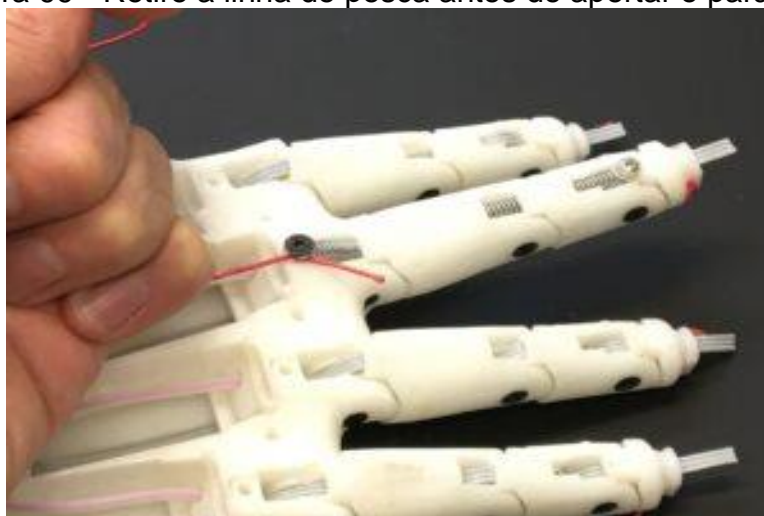
Figura 98 - Montar o parafuso



Fonte: LANGEVIN, 2024

Puxe a linha de pesca para colocar a ponta da mola no lugar e monte o parafuso. Observe que eu uso um ímã preto na minha chave de fenda para facilitar a ação de fixar o parafuso.

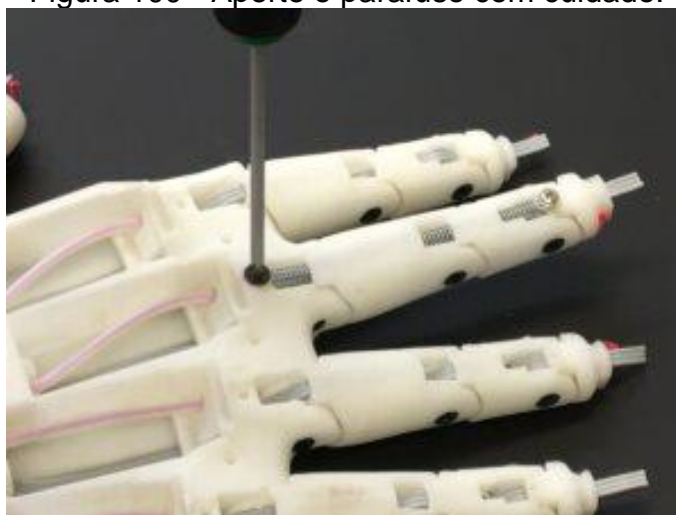
Figura 99 - Retire a linha de pesca antes de apertar o parafuso.



Fonte: LANGEVIN, 2024

Antes de apertar o parafuso, retire a linha de pesca

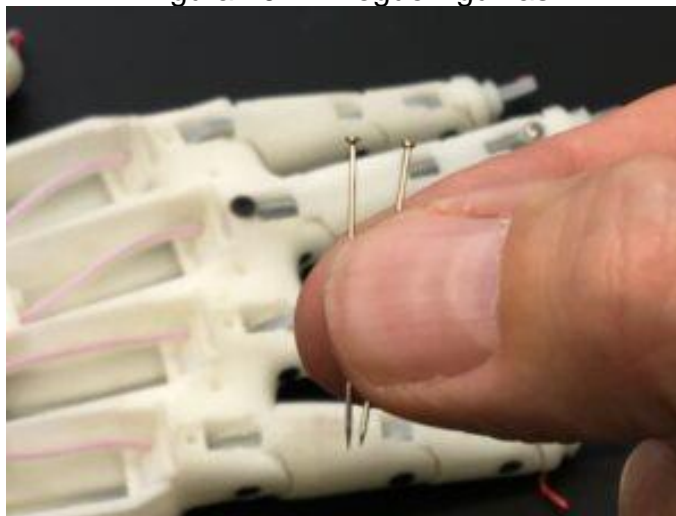
Figura 100 - Aperte o parafuso com cuidado.



Fonte: LANGEVIN, 2024

Termine de apertar. Certifique-se de não furar os três fios da fita.

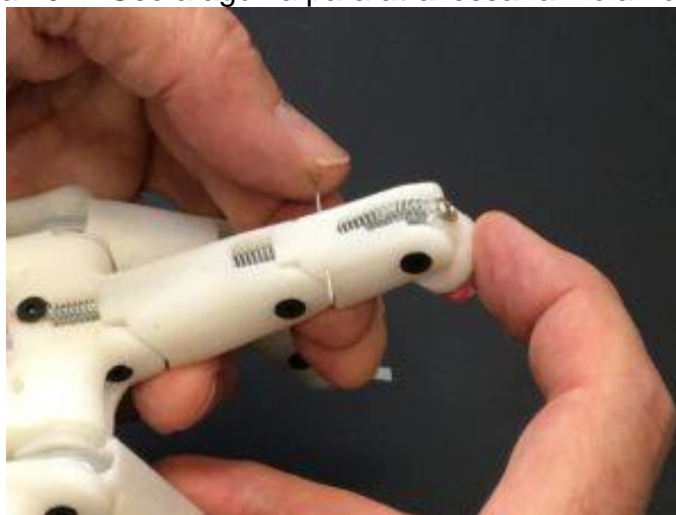
Figura 101 - Pegue Agulhas



Fonte: LANGEVIN, 2024

Pegue duas agulhas.

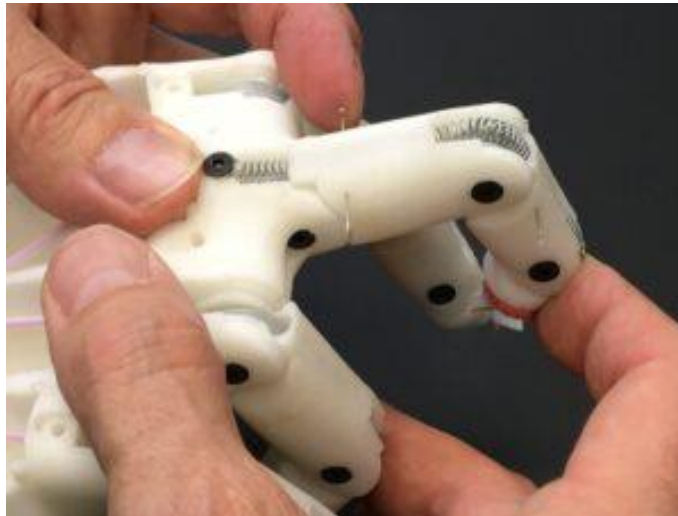
Figura 102 - Use a agulha para atravessar a mola no dedo.



Fonte: LANGEVIN, 2024

Dobre a última parte do dedo ao máximo e passe a primeira agulha pelo dedo e pela mola até que ela saia do outro lado.

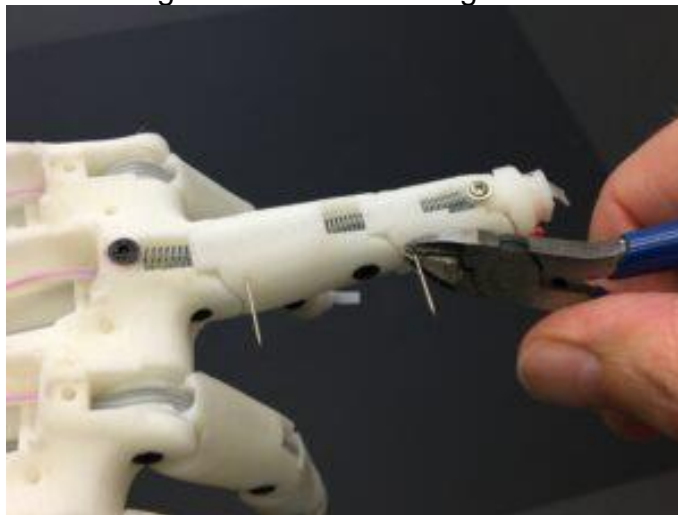
Figura 103 - Passe a segunda agulha pela segunda seção do dedo.



Fonte: LANGEVIN, 2024

Dobre a segunda seção do dedo e passe a segunda agulha pelo dedo e pela mola até que ela passe. Isso permite definir uma tensão adaptada em cada seção do dedo

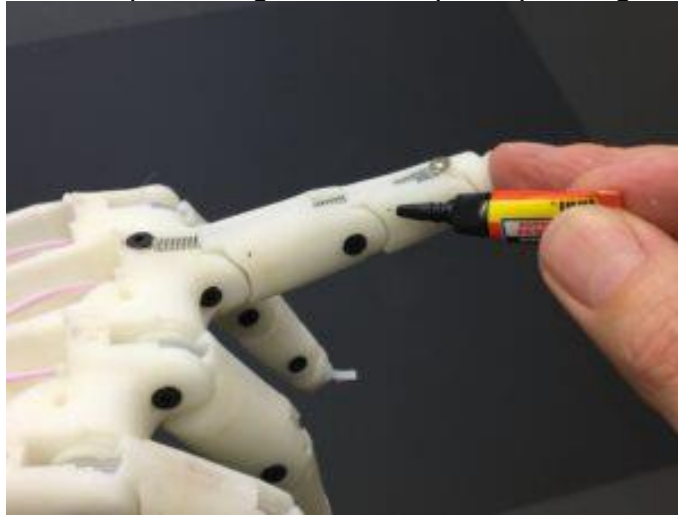
Figura 104 - Corte as agulhas.



Fonte: LANGEVIN, 2024

Corte as agulhas com um alicate pequeno.

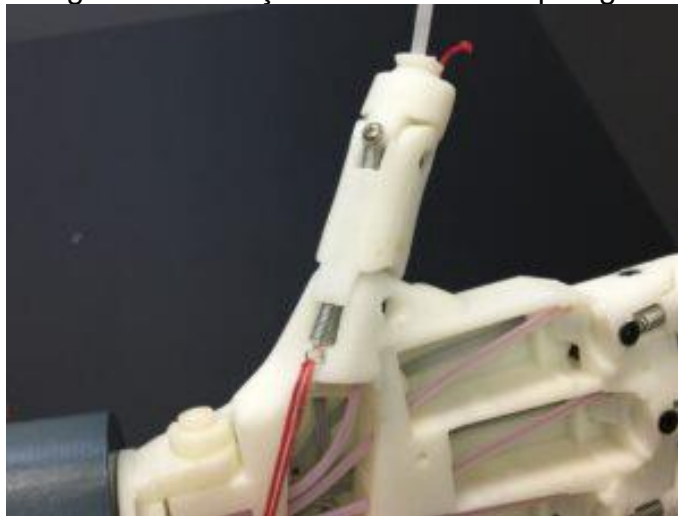
Figura 105 - Coloque uma gota de cola para que a agulha não saia.



Fonte: LANGEVIN, 2024

Coloque uma gota de supercola para garantir que a agulha não saia mais.

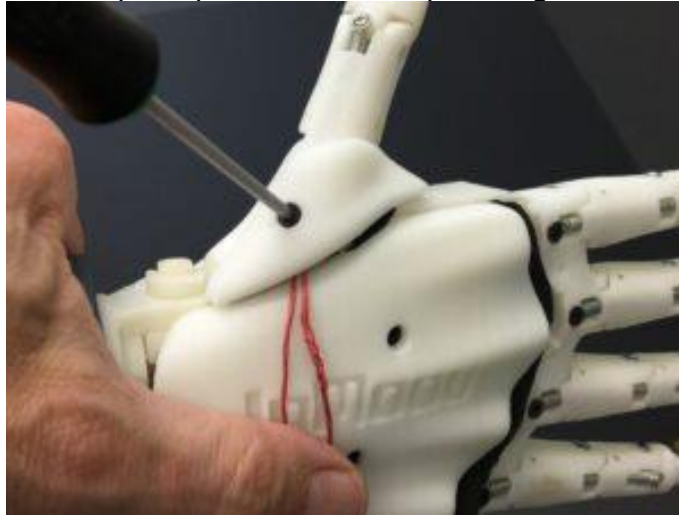
Figura 106 - Faça o mesmo com o polegar.



Fonte: LANGEVIN, 2024

É hora de fazer o mesmo com o polegar, há apenas duas seções de dedos, então a mola fica menos tensionada e não requer agulhas.

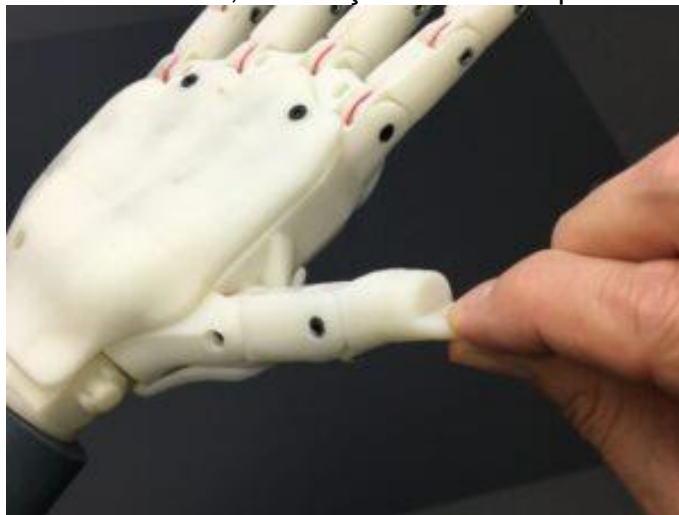
Figura 107 - Coloque o parafuso na tampa e segure a mola no lugar.



Fonte: LANGEVIN, 2024

A outra diferença com o polegar é que colocamos o parafuso na tampa que então segura a mola no lugar. Certifique-se de não furar os fios.

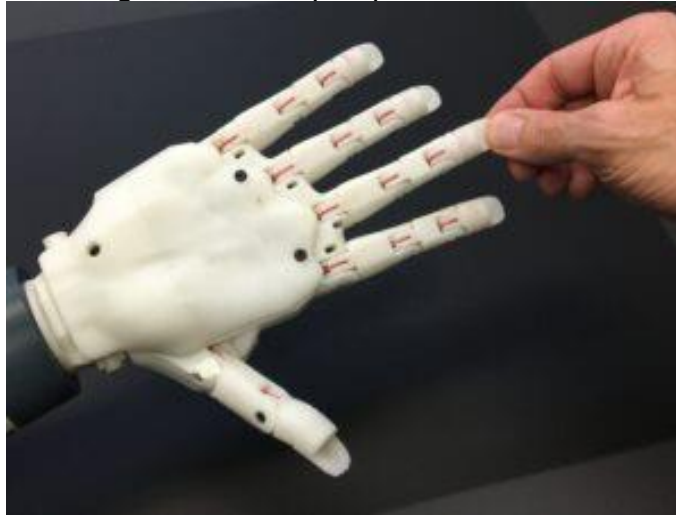
Figura 108 – Cuidado, não forçar a rosca na ponta do dedo.



Fonte: LANGEVIN, 2024

Note que a ponta do dedo é impressa com uma pequena rosca para permitir que ele seja parafusado no sentido horário até a ponta do dedo. Não force, caso contrário, a rosca será danificada.

Figura 109 - Repita para cada dedo.



Fonte: LANGEVIN, 2024

Conclua a operação para cada dedo.

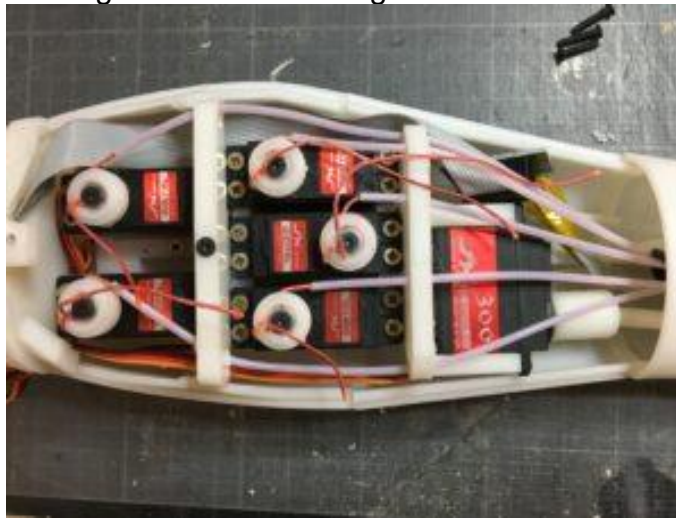
Figura 110 - Sugestão para montar a capa de dedo.



Fonte: LANGEVIN, 2024

Você pode montar a capa de dedo com alguns parafusos de 16x3mm. Embora minha imagem mostre a HandCover já fixada, mas não a fixe ainda, você ainda precisa acessar o interior.

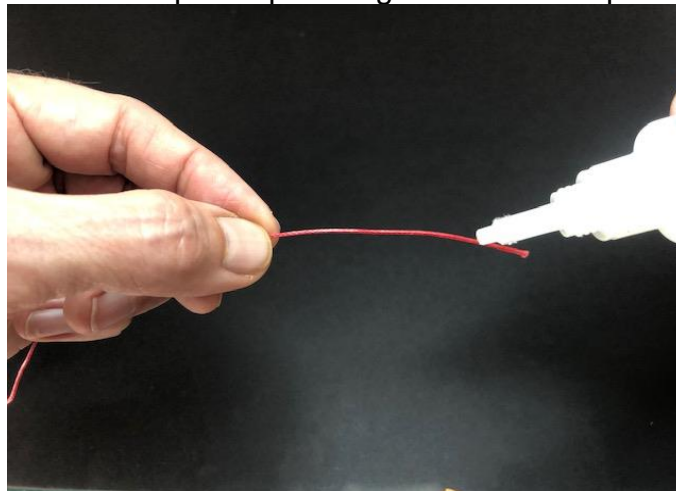
Figura 111 - Amostragem do resultado.



Fonte: LANGEVIN, 2024

Aqui você pode ver onde eu coloquei minha mini placa analógica. Você também pode ver nas polias, como os parafusos com uma pequena arruela estão segurando a linha de pesca no lugar com um único nó. Para fazer isso, você precisa adicionar um pouco de cola em suas linhas trançadas de pesca no ponto em que você quer cortá-las.

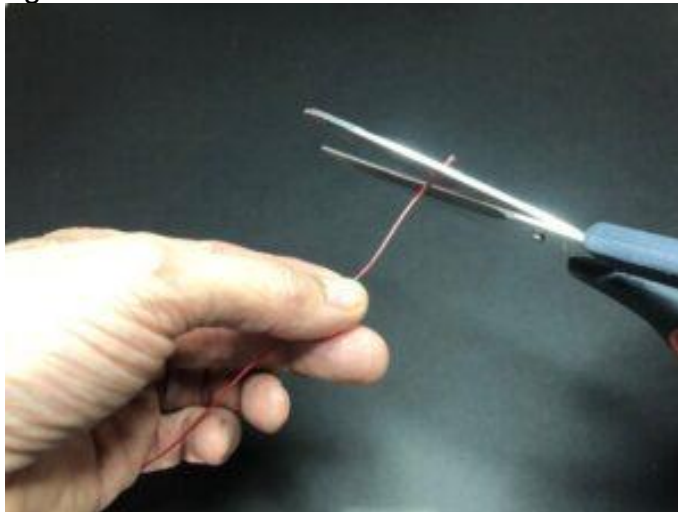
Figura 112 - Passo a passo para segurar a linha de pesca no lugar.



Fonte: LANGEVIN, 2024

Para fazer isso, você precisa adicionar um pouco de cola nas suas linhas trançadas de pesca no ponto em que você quer cortá-las, deixe a cola de contato curar. A cola torna mais fácil obter um corte limpo.

Figura 113 - Corte o a cola com a tesoura afiada.



Fonte: LANGEVIN, 2024

Depois, use uma tesoura afiada para cortar onde você colocou a cola.

Figura 114 - Forme um nó grande



Fonte: LANGEVIN, 2024

Passa a linha de pesca do jeito que eu fiz na foto, ela deve formar um nó grande.

Figura 7 - Aperte o nó e coloque o parafuso.



Fonte: LANGEVIN, 2024

Aperte o nó, coloque o parafuso e a arruela no nó e mantenha o nó puxado enquanto termina de apertar o parafuso.

## 2.7 PROTOCOLO DE TESTES

Para garantir que o protótipo atinja os objetivos propostos, após a montagem deve ser estabelecida uma estrutura objetiva e compacta de testes, criando uma etapa protocolar que assegure a funcionalidade do sistema.

Teste de detecção e mapeamento de mãos: A primeira fase envolve o teste relacionado à funcionalidade do *script* responsável pela detecção e mapeamento das mãos, através da webcam. Deve-se garantir que o sistema detecte somente uma mão por vez, como especificado. Aspectos como a distância máxima de detecção e tempo de resposta (intervalo de reação pós-movimento executado) devem ser avaliados.

Teste de movimento dos motores: Na segunda fase, devem ser realizados testes relacionados aos motores, medindo o tempo de resposta entre envio e recebimento de dados da placa microcontroladora. Será avaliada a uniformidade do tempo de resposta de todos os motores para garantir que o movimento seja consistente dentro do esperado.

Teste de capacidade de agarrar objetos: O teste final avalia a capacidade da mão robótica de segurar diferentes objetos. Nesta etapa, serão verificadas variáveis como o peso dos objetos e o tipo de superfície, que podem influenciar a eficácia do

sistema de agarrar da mão. Esses testes permitirão validar a funcionalidade da mão sob diferentes condições de uso.

### **2.7.1 EXECUÇÃO DOS TESTES**

Após o estabelecimento do protocolo, os testes foram realizados em três fases respectivas. Primeiramente, o teste do *script* para a detecção das mãos foi executado em ambiente escolar, com acompanhamento do professor orientador. O computador contendo os algoritmos e códigos necessários foi usado, juntamente com a webcam, para realizar este teste.

O segundo teste foi realizado pelo grupo somente, em um laboratório escolar fechado. Durante esse teste, foi utilizado um cronômetro comum para medir o tempo de resposta dos movimentos captados pelo protótipo. Foram registradas as respostas dos motores, de forma individual e em conjunto, para constatar a uniformidade entre o movimento executado pelo operador e a reação do protótipo.

O último teste foi conduzido com a participação dos integrantes do grupo e colegas de classe, experimentando diferentes tipos de objetos, como algumas ferramentas, objetos do cotidiano e até outras mãos humanas. Esses testes avaliaram a capacidade do protótipo de agarrar e manipular objetos de diferentes tamanhos, formas e texturas.

### **2.7.2 COLETA DE DADOS DOS TESTES**

Ao longo da primeira fase de testes, os dados obtidos atenderam às expectativas do grupo e às especificações prescritas no *script*. A detecção de uma única mão por vez funcionou adequadamente, garantindo que não houvesse falhas durante o uso do protótipo. Além disso, foram observadas e constatadas a distância mínima e máxima para seu uso, respectivamente 20 cm e 2,10 m aproximadamente.

Na segunda etapa, algumas dificuldades surgiram, mas com algumas mudanças feitas nos algoritmos de detecção, os resultados obtidos foram satisfatórios. O tempo mínimo de reação registrado foi de 46 milissegundos, tanto para funcionamento individualmente quanto em conjunto dos motores, assim como a detecção e comunicação serial do *script*.

Por fim, os dados coletados na execução da última fase de testes foram valiosos para possíveis considerações futuras de melhorias no protótipo. Foi

constatado que a capacidade de agarrar e/ou segurar objetos é ainda limitada, o projeto consegue apenas segurar alguns objetos de tamanhos proporcionais à mão.

### **2.7.3 ANÁLISE DOS DADOS DOS TESTES**

Durante a análise do primeiro teste, foram identificadas a necessidade de ajustes no algoritmo de detecção de mãos.

A principal correção envolveu a melhoria na precisão da detecção, pensando nisso, foram consideradas as possibilidades de outros ajustes futuros, tanto programa quanto na substituição da webcam por uma de maior alcance para garantir uma melhor captura das imagens e maior distância na detecção da mão.

No segundo teste, foi considerada pelo grupo a possibilidade de mudança dos motores por outros de maior potência e capacidade de rotação. Essa alteração teria impacto direto nos resultados do último teste, melhorando a capacidade do dispositivo de manipular objetos. Tais mudanças poderiam ampliar o potencial de uso do protótipo em aplicações industriais e outras situações práticas.

## **2.8 MELHORIAS**

Para possíveis melhorias no protótipo da mão biônica, foram analisadas as demandas necessárias para o seu uso industrial otimizado e como tecnologia assistiva real.

Uma das principais necessidades inclui o desenvolvimento da estrutura de um braço semelhante à anatomia humana, de forma fiel, com a implementação de um sistema de monitoramento discreto dos sinais elétricos do membro amputado, por meio de sensores sensíveis e precisos, o que permitiria seu uso como prótese.

Pensando na aplicação do projeto no âmbito industrial, outra melhoria a ser considerada é a substituição dos motores usados, além de uma otimização nas articulações da mão. Essas mudanças garantiriam ao protótipo a capacidade de agarrar e manipular objetos de diferentes superfícies, além da viabilidade da inclusão de sensores tácteis nas mãos, com um feedback para o usuário de texturas e pressões feitas sobre cada objeto.

Outra alteração a ser considerada que traria a melhora do projeto seria a troca do material da estrutura do antebraço e da mão por um material mais leve e resistente, o PLA com fibras de carbono, sem a perda da sustentabilidade, um fator crucial observado.

## **2.9 ASPECTOS POSITIVOS**

Os aspectos positivos do protótipo desenvolvido são variados e abrangem desde a sua versatilidade em diferentes aplicações, até o baixo custo e sustentabilidade.

Sua versatilidade de uso é notável pelas possíveis aplicações na indústria, medicina, pesquisas e áreas educacionais, com uma grande relevância.

Igualmente importante, a personalização do protótipo é um fator essencial que garante ao mesmo a satisfação e adaptação de necessidades específicas de cada usuário, sem deixar de lado as demandas gerais. Essa flexibilidade permite ao projeto atender as mais variadas necessidades, principalmente no seu uso futuro como tecnologia assistiva.

Outra vantagem significativa do projeto que o destaca dos demais, é o seu baixo custo, oferecendo um dispositivo inovador e financeiramente viável, permitindo o acesso de tecnologias e inovação de forma mais igualitária, sem renunciar a recursos avançados como a inteligência artificial e o sistema de visão computacional. Tais inovações garantem eficiência e precisão ao protótipo.

Por último, um dos aspectos mais valorizados no projeto é a sua sustentabilidade. O uso de PETG, material reciclável e de baixo impacto ambiental, expressa o compromisso do projeto com práticas sustentáveis e ecológicas que contribuem para um futuro mais equilibrado e saudável ao planeta por meio da redução de resíduos e preservação de recursos naturais.

## **2.10 RISCOS**

Apesar dos avanços tecnológicos envolvendo a tecnologia robótica, para o projeto foram consideradas a possibilidade de ocorrerem riscos, para o seu uso, tais como:

Manuseio incorreto do dispositivo, que pode causar desgastes, como o uso frequente e excessivo sem observar os limites estruturais, pode gerar desgastes na estrutura, como o rompimento das ligações, impedindo a movimentação dos dedos.

Choques e correntes de fuga, que sem um isolamento adequado para a prevenção de pequenas descargas elétricas, podem levar a irritações na pele, o que, mesmo não sendo altamente prejudicial ao usuário, poderia levar a desconfortos,

como queimaduras ou lesões (RUNDE, 2022). O que poderia comprometer a integridade física do usuário dos dispositivos e da mão biônica.

Erro de detecção, o uso do *OpenCV* para o controle do dispositivo depende diretamente da detecção da mão de um operador. Neste caso, pode haver erros na identificação dos gestos, conforme o modo que o usuário realiza a operação, tendo um modo específico para seu controle, a posição correta da mão.

Apesar de todos os itens citados serem fatores de risco para o projeto, o grupo toma as precauções para que nenhum desses fatores possam ser um limitante do protótipo seguindo segundo as necessidades de segurança padrão para um protótipo de mão robótica, para proteger não só o usuário, mas também a terceiros que estejam próximos.

## **2.11 DIFERENCIAIS**

O projeto desenvolvido conta com muitos aspectos que o tornam único e altamente competitivo em comparação a outros dispositivos no mercado. Ele se destaca por seu baixo custo, o qual é obtido sem comprometer a qualidade ou inclusão de tecnologias de ponta. Isso é possível pelo uso de técnicas de fabricação econômicas, como impressão 3D e uma arquitetura otimizada, resultando em uma alternativa acessível e inovadora.

Um aspecto importante e um diferencial é a utilização do PETG, que é reciclável e permite ao projeto ter um caráter sustentável. Este material, combinado à impressão 3D, viabiliza a customização e modularidade do projeto, tornando-o ajustável e capaz de atender às demandas de design.

Além disso, o protótipo se diferencia por integrar a visão computacional com inteligência artificial, uma tecnologia precisa que facilita o controle da mão biônica. Por meio de seus algoritmos de reconhecimento, a mão é capaz de compreender e interagir com o ambiente, assim o protótipo pode replicar os movimentos capturados em tempo real com eficiência e eficácia.

### **3 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O projeto demonstrou a viabilidade de criar uma mão biônica capaz de replicar os movimentos da mão humana utilizando técnicas de visão computacional. Ele apresenta aspectos de inovação tecnológica por integrar inteligência artificial e impressão 3D, contribuindo para a evolução das próteses e braços robóticos, com foco em personalização e soluções econômicas.

Além disso, o projeto busca promover inclusão social, com a perspectiva futura de oferecer alternativas acessíveis para pessoas com deficiências, melhorando sua qualidade de vida e autonomia. Alinhado às tendências da automação e da Indústria 4.0, destaca-se como uma aplicação prática e relevante nesse contexto.

Apesar dos resultados alcançados, o grupo se compromete a continuar analisando possíveis melhorias, como a adoção de novos tipos de sensores para aumentar a precisão e a responsividade da mão biônica. Também serão realizados testes e iterações constantes para refinar o projeto, aprimorando seu desempenho e suas funcionalidades.

Em suma, o desenvolvimento e a conclusão do projeto trouxeram valiosos aprendizados, evidenciando a importância da interdisciplinaridade e do trabalho em equipe. A organização e a integração de diferentes áreas do conhecimento, como robótica, programação e eletrônica, foram cruciais para o sucesso da iniciativa, consolidando-a como uma experiência enriquecedora.

#### **3.1 TRABALHOS FUTUROS**

Para trabalhos futuros, tendo em vista a mão biônica, propõe-se a adição de sensores tácteis no atual projeto, o que permitiria ao usuário sentir texturas e pressões exercidos sobre objetos manipulados. Isso auxiliaria em tarefas que envolvem sutileza e delicadeza, tornando o projeto mais funcional e agregando inclusão, aceitação psicológica por parte do usuário.

Além disso, explora-se a possibilidade da implementação neste protótipo futuramente, uma integração com sistemas de Interface Mente Máquina (IMM), que

permitiria a conexão da mão biônica aos sinais cerebrais. Esse avanço facilitaria uma interface mais direta e intuitiva, tornando sua operação mais natural e precisa.

Outro aprimoramento possível seria a criação de uma base de dados com instruções pré-definidas e programadas para adaptar a mão biônica para as diversas funções, como as de um braço robótico convencional, desenvolvendo também a estrutura robótica por inteiro, do braço à mão.

Por fim, considera-se a substituição do material atual por fibra de carbono misturada a outros tipos de materiais, chamada compósitos com fibras de carbono, isso trará significativas vantagens, como a alta resistência mecânica, leveza e rigidez (RÖCHLING, s.d.) qualidades que concederiam a estrutura integridade ideal em ambientes industriais exigentes ou locais desafiadores.

Embora este não seja um material biodegradável, a possibilidade de serem reciclados alguns de seus componentes, aliada à sua durabilidade, faz dos compósitos com fibras de carbono uma alternativa sustentável e eficiente para o projeto.

## REFERÊNCIAS

OPENCV. **OpenCV**: Introduction to *OpenCV*. Disponível em: <[https://docs.OpenCV.org/4.x/df/d65/tutorial\\_table\\_of\\_content\\_introduction.html](https://docs.OpenCV.org/4.x/df/d65/tutorial_table_of_content_introduction.html)>. Acesso em: 12 set. 2024.

EUROSTAT. **Accidents at work statistics**. Disponível em: <[https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Accidents\\_at\\_work\\_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Accidents_at_work_statistics)>. Acesso em: 15 jul. 2024.

RUNDE, D. P. **Lesões provocadas pela eletricidade**. Disponível em: <<https://www.msmanuals.com/pt/casa/les%C3%B5es-e-envenenamentos/les%C3%B5es-provocadas-por-eletricidade-e-raios/les%C3%B5es-provocadas-pela-eletricidade?ruleredirectid=762>>. Acesso em: 27 set. 2024.

RIOTRON. **Impressão 3D**: vantagens e desvantagens. Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://riotron.com.br/impresao-3d-vantagens-e-desvantagens/>>. Acesso em: 21 out. 2024.

MUNDO DO PLÁSTICO. **Raio X dos materiais: PETG**. Disponível em: <<https://mundodoplastico.plasticobrasil.com.br/oportunidades/raio-x-dos-materiais-petg>>. Acesso em: 21 out. 2024.

DZEDZICKIS, Andrius *et al.* Advanced Applications of Industrial Robotics: new trends and possibilities. **Applied Sciences**, Basileia, v. 12, n. 1, p. 135, 23 dez. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/app12010135>. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/search?journal=&q=Advanced+Applications+of+Industrial+Robotics%3A+New+Trends+and+Possibilities>>. Acesso em: 27 out. 2024.

IBM. **O que é um digital twin**. Disponível em: <<https://www.ibm.com/br-pt/topics/what-is-a-digital-twin>>. Acesso em: 30 out. 2024.

BOTÍN-SANABRIA, Diego M. *et al.* Digital Twin Technology Challenges and Applications: a comprehensive review. **Remote Sensing**, Basel, v. 14, n. 6, p. 1335, 9 mar. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/rs14061335>. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2072-4292/14/6/1335>>. Acesso em: 30 out. 2024.

ARDUINO. **Servo**: Arduino documentation. Disponível em: <<https://docs.arduino.cc/libraries/servo/>>. Acesso em: 27 out. 2024.

CHAVES, Laís E. **Robótica**: o que é, histórico, tipos e aplicações. O que é, histórico, tipos e aplicações. Disponível em:

<<https://www.engenhariahibrida.com.br/post/robotica-o-que-e-historico-tipos-aplicacoes>>. Acesso em: 1 nov. 2024.

ENGINEERING BRASIL. **Visão computacional impulsionada por IA: como fazer.** São Paulo. Disponível em: <<https://blog.engdb.com.br/visao-computacional-ia/>>. Acesso em: 1 nov. 2024.

DIXON, Jay; HONG, Bryan; WU, Lynn. **The Robot Revolution: managerial and employment consequences for firms.** *Management Science*, Maryland, v. 67, n. 9, p. 5586-5605, set. 2021. Institute for Operations Research and the Management Sciences (INFORMS). <http://dx.doi.org/10.1287/mnsc.2020.3812>. Disponível em: <<https://pubsonline.informs.org/doi/10.1287/mnsc.2020.3812>>. Acesso em: 31 out. 2024.

GAËL LANGEVIN. **Hand and Forarm.** Disponível em: <<https://inmoov.fr/hand-and-forarm/>> Acesso em: 31 out. 2024.

RÖCHLING. **CFRP/Compósitos reforçados com fibra de carbono.** Disponível em: <<https://www.roechling.com/br/industrial/produtos/compositos/gfrp-cfrp/perfis-compositos/perfis-reforçados-com-fibra-de-carbono>>. Acesso em: 1 nov. 2024.

IMPERPLAST. **Plástico PETG: como é fabricado e para o que é indicado?** Disponível em: <<https://www.imperplast.com.br/plastico-petg-como-e-fabricado-e-para-o-que-e-indicado/>>. Acesso em: 30 out. 2024.

WORLD BANK. **Employment in industry: (% of total employment) (modeled ilo estimate).** (% of total employment) (modeled ILO estimate). 2024. Disponível em: <<https://data.worldbank.org/indicator/SL.IND.EMPL.ZS>>. Acesso em: 22 ago. 2024.