



# Desenvolvimento de Gripper Low Cost para manipulador robótico baseado em impressão 3D

**João Victor Gomes Santos**

Dissertação apresentada à Escola Superior de Tecnologia e de Gestão de Bragança para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Industrial.

Trabalho orientado por:

Prof. Pós Dr. José Luís Sousa de Magalhães Lima

Prof. M.a. Cláudia Gomes De Oliveira Santos

Bragança - Portugal

2019



# Desenvolvimento de Gripper Low Cost para manipulador robótico baseado em impressão 3D

**João Victor Gomes Santos**

Dissertação apresentada à Escola Superior de Tecnologia e de Gestão de Bragança para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Industrial.

Trabalho orientado por:

Prof. Pós Dr. José Luís Sousa de Magalhães Lima

Prof. M.a. Cláudia Gomes De Oliveira Santos

Bragança - Portugal

2019

# Dedicatória

Dedico esse trabalho a minha Família, meus Pais, Irmãos, Avós e principalmente minha namorada que já faz parte de minha família, e que esteve comigo durante o processo de produção desse projeto, me ajudando, apoiando e me incentivando durante esse caminho. Mas também dedico a todos os meus Padrinhos e Madrinha, Tios e Tias, Primos e Primas, à aqueles que confiaram no meu potencial, que não desistiram nos momentos ruins, que me ajudaram a solucionar os problemas encontrados durante esse caminho. E à todas as pessoas que me ajudaram sejam de perto ou de longe.

# Agradecimentos

Agradeço primeiramente aos meus pais que me incentivaram a buscar essa nova oportunidade onde pude desfrutar imensamente de conhecimentos e experiências únicas. Agradeço a minha mãe por todos os momentos difíceis durante esses anos que mesmo não estando tudo tão bem estava ali para me levantar e caminhar comigo. Ao meu pai que mesmo sem tempo aos finais de semana sempre guardava um tempo para conversarmos e poder distrair do stress do dia a dia.

Gostaria de agradecer meus irmãos por terem suportado todo o trabalho que para eles ficou assim que sai para essa experiência de vida. Ao meu irmão que demonstro que mesmo longe estamos sempre juntos e unidos, que logo após aos tempos nublados e de tempestade sempre vira tempos bons e tranquilos. A minha irmã que saudade não falta ao conversarmos, mas que também demonstrou que essa distância de certa forma nos uniu mais.

Agradeço imensamente a minha família por terem me apoiado, me dado força para lutar a cada dia. Essa experiência que me deu a oportunidade de conhecer várias pessoas e vários amigos onde alguns deles já eram da minha faculdade mas que essa experiência só aumentou o vínculo de amizade, dentre essas pessoas uma em especial, que hoje já faz parte da minha família, minha namorada Sharlane que agradeço imensamente a Deus por ter colocado ela na minha vida, que me ajudou nos momentos difíceis, momentos de stress, e sempre esteve comigo seja momento bom ou ruim, e que mesmo nervoso ou cansado de problemas, sempre me aturou, ajudou e cuidou de mim.

Quero agradecer a faculdade UniEvangélica onde me proporcionou esse intercâmbio, e também ao Instituto Politécnico de Bragança (IPB) onde me aceitou durante esses

2 anos e meio. Venho agradecer aos meus orientadores: José Luís Sousa de Magalhães Lima e Cláudia Gomes De Oliveira Santos, que me orientaram da melhor forma, tornando possível que fosse completo essa etapa significativa da minha vida.

Agradeço a todos a cima listados pois também fazem parte dessa vitória.

# Resumo

O objetivo desta dissertação de mestrado é o desenvolvimento de uma *Gripper* robótica *Low Cost* para manipular objetos, a partir da impressão 3D.

Para otimizar tempo e material de pesquisa, foi utilizado um projeto já existente de uma *Gripper* de 3 dedos. Este projeto foi re-desenhado no SolidWorks fazendo as adaptações necessárias para diminuir custos de fabricação e ao mesmo tempo garantir a qualidade exigida para desempenhar as funções designadas para o mesmo.

A primeira alteração identificada foi a redução no número de dedos para 2, uma vez que para agarrar pequenos a médios objetos não há necessidade de um dedo a mais. Depois disso as demais peças foram redimensionadas e foram realizadas simulações em Computer Aided Design (CAD) afim de prever possíveis falhas no projeto.

Depois das simulações e ajustes necessários, foi realizado um estudo para definição do filamento a ser utilizado para as impressões em 3D, uma vez que se buscava redução de custos e mantendo a qualidade simultaneamente.

Depois de impressas, o conjunto de peças foi montado e um sistema elétrico foi desenvolvido através de uma placa de Arduino e sensores para permitir a movimentação da *Gripper* e a realização das tarefas a ela designadas.

**Palavras-chave:** *Gripper*, Impressão 3D, Arduino, *Low Cost*.

# Abstract

The aim of this master dissertation is the development of a Low Cost robotic Gripper for manipulated objects, from 3D printing.

To optimize time and research material, an existing 3 finger claw design was used. This project has been redesigned in SolidWorks making adaptations necessary to reduce manufacturing costs while ensuring the quality required for changes as functions assigned to it.

The first change identified was the reduction in the number of fingers to 2, since to grasp small medium objects there is no need for a finger anymore. After that, the other items were resized and CAD simulations were performed after checking for possible design failures.

After the necessary simulations and adjustments, a study was performed to define the filament to be used for 3D printing as it sought to reduce costs and maintain quality simultaneously.

After selecting, the set of parts was assembled and an electrical system was developed through an Arduino board and sensors to allow the Claw to move and perform the tasks assigned to it.

**Keywords:** Gripper, 3D Printing, Arduino, Low Cost.

# Conteúdo

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>2</b>
1.1	Motivação . . . . .	3
1.2	Objetivos . . . . .	4
1.3	Estrutura do Documento . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Fundamentação Teórica</b>	<b>6</b>
2.1	Automação . . . . .	6
2.2	Robótica . . . . .	9
2.2.1	Robô . . . . .	9
2.2.2	Órgãos terminais (Robot end-effector) . . . . .	10
2.3	Garras . . . . .	12
2.3.1	Classificação das garras . . . . .	12
2.3.2	Características das garras . . . . .	13
<b>3</b>	<b>Materiais e Ferramentas</b>	<b>17</b>
3.1	Embasamento do projeto . . . . .	17
3.2	SolidWorks . . . . .	19
3.3	Impressora 3D . . . . .	19
3.3.1	FDM . . . . .	21
3.4	Filamentos . . . . .	21
3.4.1	PLA . . . . .	22
3.4.2	ABS . . . . .	23



3.4.3	PET(PETG,PETT)	24
3.4.4	Nylon	25
3.4.5	TPE, TPU, TPC (Flexíveis)	26
3.4.6	PC	27
3.5	Seleção de materiais	28
3.6	Arduino	29
<b>4</b>	<b>Projeto</b>	<b>31</b>
4.1	Desenhos SolidWorks	31
4.2	Impressão das peças	34
4.3	Servo motor	46
4.4	Montagem das peças	47
4.5	Funcionamento e eletrônica	49
4.6	Custos do projeto	55
<b>5</b>	<b>Conclusões e Trabalhos Futuros</b>	<b>57</b>
	<b>Bibliografia</b>	<b>59</b>
<b>A</b>	<b>Código utilizado no Arduino</b>	<b>A1</b>

# Lista de Tabelas

3.1	Tabela de comparação de filamentos Ultimaker [35]. . . . .	28
4.1	Tabela de características dos servos. . . . .	47
4.2	Tabela de pinos. . . . .	48
4.3	Tabela de custos da <i>Gripper</i> . . . . .	56

# Lista de Figuras

2.1	Automação industrial na área de automóveis [4]. . . . .	7
2.2	Gráfico da relação de produção e variedade [5]. . . . .	8
2.3	Robô Eric [8]. . . . .	10
2.4	Órgãos terminais do robô [14]. . . . .	11
2.5	Garra de dedos flexíveis [18]. . . . .	15
2.6	Versaball <i>Gripper</i> [19]. . . . .	15
3.1	<i>Gripper</i> do modelo projeto base [1]. . . . .	18
3.2	Filamentos de PLA [34]. . . . .	23
3.3	Objetos de decoração feitos de filamentos Nylon [34]. . . . .	25
3.4	Placa de Arduino UNO [35]. . . . .	30
4.1	Base principal do projeto utilizado como base [1]. . . . .	32
4.2	Base principal atualizada. . . . .	32
4.3	Plataforma do projeto base [1]. . . . .	33
4.4	Plataforma do projeto atualizado. . . . .	34
4.5	Suporte usado no projeto base [1]. . . . .	35
4.6	Barra, porcas e anilhas usadas no lugar do suporte. . . . .	35
4.7	Impressora LeapFrog. . . . .	36
4.8	Primeira peça impressa (base). . . . .	37
4.9	Segunda peça (engrenagem). . . . .	38
4.10	Terceira peça (ligação dos dedos). . . . .	39
4.11	Quarta peça (Primeira Falange). . . . .	40

4.12	Impressora Fusion 3. . . . .	41
4.13	Primeiro conjunto de peças. . . . .	41
4.14	Segundo conjunto de peças. . . . .	42
4.15	Impressora Ultimaker 3 Extended. . . . .	43
4.16	Peça incompleta (Eixo principal). . . . .	44
4.17	Peça completa (Eixo principal). . . . .	45
4.18	A mesma peça feita em impressoras diferentes (Eixo principal). . . . .	46
4.19	Pinos impressos em 3D para a <i>Gripper</i> . . . . .	48
4.20	Suporte para o servo TowerPro SG-5010. . . . .	49
4.21	<i>Gripper</i> atualizada montada. . . . .	50
4.22	Fluxograma do sistema. . . . .	51
4.23	Valores de onda encontrados sem e com o filtro passa baixo. . . . .	52
4.24	Gráfico esboçado na tela do software do Arduino. . . . .	52
4.25	Picos aproximados do gráfico. . . . .	53
4.26	Esquema elétrico do projeto. . . . .	54
4.27	Movimentação da <i>Gripper</i> . . . . .	54

# Siglas

**ABS** Acrilonitrila Butadieno Estireno. 21–24, 28, 34, 37–39, 57

**CAD** Computer Aided Design. vi, 4, 19, 20

**CNC** Comando numérico computadorizado. 8

**Fab Lab** Fabrication Laboratory. 42

**FDM** Fused Deposition Modeling. 21

**HME** Hot Melt Extrusion. 21

**IDE** Integrated development environment. 29

**IPB** Instituto Politécnico de Bragança. iv, 19, 36, 42

**LCAR** Laboratório de Controlo, Automação e Robótica. 36, 39, 40, 48

**PC** Policarbonato. 27, 28, 57

**PEEK** Polyether Ether Ketone. 21

**PET** Politereftalato de Etileno. 24

**PETG** Politereftalato de Etileno Glicol. 24

**PETT** Polyethylene co-Trimethylene Terephthalate. 24

**PLA** Ácido Poliláctico. 22, 24, 28, 29, 40, 42, 48, 57

**PWM** Pulse Width Modulation. 50

**SLA** Stereo Lithography Apparatus. 21

**SLDASM** SolidWorks Assembly. 19

**SLDPRT** SolidWorks Part. 19

**SLS** Selective Laser Sintering. 21

**STL** Stereolithography. 19, 40

**TPC** Thermoplastic Copolyester. 26, 27

**TPE** Thermoplastic Elastomers. 26, 27

**TPU** Thermoplastic Polyurethane. 26, 27

# Capítulo 1

## Introdução

Desde eras antigas, nossa sociedade sempre buscou ferramentas e utensílios que pudessem facilitar a realização de tarefas cotidianas e principalmente, as mais complexas e que exigem esforço.

Faz parte da busca pela evolução o surgimento das indústrias e com isso, a necessidade do desenvolvimento de métodos de produção mais eficientes e modernos, inserindo neste contexto a ideia de substituir um homem por uma máquina. Com o crescente avanço tecnológico das últimas décadas cada vez tem se tornado mais comum a utilização de robôs e a automatização de processos, sejam eles simples ou complexos.

Atualmente, os robôs são componentes essenciais de uma fábrica, são dispositivos programáveis que oferecem uma grande oportunidade para que as melhorias e a redução de custos nos processos de produção sejam realmente eficazes. A parte responsável em um robô por carregar e pegar objetos é chamada *Gripper*, ou garra.

As *Grippers*, assim como os robôs, já são usadas na indústria à muito tempo, mas apesar disso, não há muito investimento no desenvolvimento e evolução das mesmas para que consigam acompanhar os avanços tecnológicos.

É muito importante valorizar o desenvolvimento e pesquisas no ramo das *Grippers*, pois é evidente que a tecnologia atual se encaminha cada vez mais para um mundo onde em breve, robôs desempenharão as atividades mais cotidianas que poderemos imaginar, estando muito presentes na vida humana e não apenas em ambientes industriais onde por

vezes a necessidade do melhoramento das *Grippers* fica despercebido.

Ainda no contexto de evolução e tecnologia, a impressão 3D vem se tornando cada vez mais popular devido a ser um método de fabricação rápido, barato e versátil. A fabricação de objetos em uma impressora 3D consiste na deposição de materiais em camadas, com base em um modelo digital da peça a ser fabricada.

Através desta tecnologia é possível criar uma infinidade de produtos, desde peças simples a produtos finais altamente técnicos, como peças de avião, construções sustentáveis, implantes médicos que salvam vidas e até mesmo órgãos artificiais com o uso de camadas de células humanas.

## 1.1 Motivação

O crescente número de tarefas de manipulação por robôs tem impulsionado a forma como estes podem efetuar o *pick* dos objetos. Cada vez mais se torna necessário desenvolver ferramentas que se adaptem aos objetos de forma a que a tarefa de *pick* seja bem sucedida. Para além disso, uma ferramenta que consiga adaptar-se a vários tipos de objetos é uma mais-valia atualmente pois elimina o tempo de troca de ferramenta/*Gripper*.

Apesar do avanço tecnológico atual, o desenvolvimento de um robô por vezes agrega um investimento muito elevado, devido a vários fatores, como por exemplo o superdimensionamento, utilização de alta tecnologia e a escolha de materiais. Por isso faz-se necessário o estudo de métodos mais acessíveis para desempenhar a fabricação dos componentes de um robô, como a impressão 3D, e além disso, escolher materiais que apresentam a qualidade necessária para a função que o produto irá desempenhar, de forma a diminuir desperdícios gerados quando faz-se uma escolha errada de material mais caros sem necessidade.

Como objetivo principal deste trabalho é projetar um *Gripper* capaz de se adaptar ao objeto em causa. Para esse efeito a sensoreação é de elevada importância otimizando o manuseamento do mesmo.



## 1.2 Objetivos

Este trabalho de mestrado tem como objetivo principal a construção de uma *Gripper* Robótica *Low Cost* utilizando método de impressão 3D. Para aproveitamento de tempo e material de pesquisa será utilizado um projeto base de uma *Gripper* [1], de 3 dedos já existente fazendo assim melhorias e atualizações necessárias para reduzi-la a 2 dedos e manter sua funcionalidade de apertar e agarrar objetos, facilitando seus códigos e sistemas operacionais.

Com tudo terá que ser calculado as atualizações das novas peças da garra, dimensionar e aproveitar cálculos de engrenagens e montagens das peças, fazer simulações no sistema CAD para prever seus movimentos e ações, já utilizando servos em simulação prevendo assim problemas existentes e os resolvendo. Feito todas as atualizações e simulações sera analisado impressoras 3D para a fabricação da nova *Gripper*, melhores características de cada filamentos para impressão das peças e métodos de impressão, visando sempre um projeto *low cost*.

Depois de impressa as peças e montadas a *Gripper* sera o momento de programar o sistema elétrico da *Gripper* com Arduino e sensores para efetuarem sua movimentação e ação de agarrar objetos.

## 1.3 Estrutura do Documento

Este trabalho está organizado da seguinte forma:

- Capítulo 1 - são apresentadas as motivações os objetivos proposto para este trabalho e a estrutura do documento.
- Capítulo 2 - é descrita a fundamentação teórica relacionada a esse trabalho. Como teoria da Automação e Robótica, e uma breve definição de Robôs e *Grippers*.
- Capítulo 3 - são apresentado os materiais, instrumentação, métodos e softwares utilizados.

- Capítulo 4 - são descritos os desenhos e atualizações do projeto, processos de impressão das peças, montagens e resultados da *Gripper*.
- Capítulo 5 - são apresentado as conclusões gerais e trabalhos futuros.

# Capítulo 2

## Fundamentação Teórica

Neste capítulo será apresentada a fundamentação teórica necessária para o desenvolvimento do presente trabalho.

### 2.1 Automação

Automação está diretamente ligada ao controle automático, que são ações que não dependem da intervenção humana. Um conceito discutível, pois a “mão do homem” será sempre necessária para a construção e implementação dos processos automáticos. A automação industrial tem como sua principal aplicação o melhoramento de produtividade e qualidade nos processos considerados repetitivos [2].

A automação industrial é uma tecnologia integradora de três áreas: a eletrônica responsável pelo hardware, a mecânica na forma de dispositivos mecânicos (atuadores) e a informática responsável pelo software que irá controlar todo o sistema [3]. Na figura 2.1 pode ser visto um exemplo de Automação Industrial em produção e montagem em serie de carros [4].

Os sistemas automatizados podem ser aplicados em simples máquina ou até mesmo em toda indústria, a diferença está no número de elementos monitorados e controlados [3].

Pode-se identificar três formas distintas de automação industrial:



Figura 2.1: Automação industrial na área de automóveis [4].

### **Automação fixa**

É uma produção em larga escala já que as máquinas são específicas para o produto a ser produzido. Pode-se exigir algumas pequenas variações entre os produtos. O custo do produto é mais baixo, mas em contra partida o volume de produção é alto, e o custo de maquinário inicial é relativamente elevado, pois é projetada apenas para um produto específico [5].

Este estilo de maquinário são encontrados em linha *transfer* de motores, fabricação de papel e garrafas, produção de lâmpadas. Para este tipo de automação, deve-se ter cuidado com o preço final do produto, por ter um investimento inicial em máquinas muito alto, o retorno do investimento inicial só acontece com vendas elevadas. E também existe a hipótese do produto sair do mercado por obsolescência que fará perder o investimento [5].

### **Automação flexível**

É um processo que contém características de automação fixa e também programável, já que a máquina é programável para um número grande de produtos, ainda que semelhantes, e o seu volume de produção é médio. Porém neste caso ela é mais flexível que a automação

fixa, e é encontrada na área de montagem automotiva [5].

### **Automação programável**

É uma produção altamente adaptável por meio de programação, tendo uma vasta variedade de produtos diferentes, porém seu volume de produção é relativamente baixo, temos como exemplos dessa automação as máquinas de Comando numérico computadorizado (CNC) e robôs industriais [5].

Embora robôs industriais sejam produzidos em diversas configurações, tais que até certo ponto se assemelham às características humanas (antropomórficas), com isso podem substituir o trabalho humano, entretanto o volume de produção de um robô industrial é baixo. Entre todos os processos de automação, a robótica é a que mais se enquadra na automação programável. Onde temos como exemplos braços robóticos que são encarregados de soldadura, pintura, usinagem, descarregamento, dentre outras operações repetitivas e com vários detalhes [5].

Na Figura 2.2 apresenta o volume de produção em relação a sua variedade de produtos.

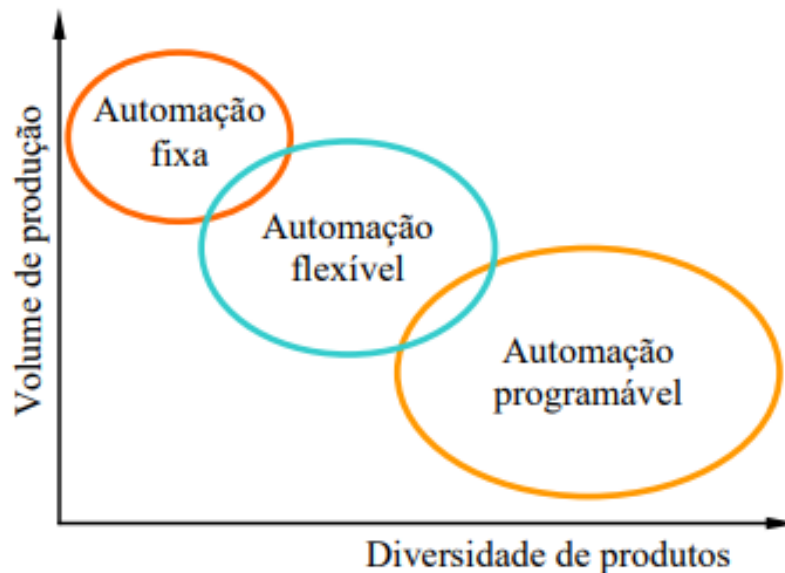


Figura 2.2: Gráfico da relação de produção e variedade [5].

## 2.2 Robótica

Robótica é um ramo da tecnologia que engloba mecânica, eletrônica e computação, que atualmente trata de sistemas compostos por máquinas e partes mecânicas automáticas e controladas por circuitos integrados, tornando sistemas mecânicos motorizados, controlados manualmente ou automaticamente por circuitos elétricos. As máquinas, pode-se dizer que são vivas, mas ao mesmo tempo são uma imitação da vida, não passam de fios unidos e mecanismos, isso tudo junto concebe um robô. Os robôs são apenas máquinas: não sonham nem sentem e muito menos ficam cansados [2].

Construir um robô começou a tornar realidade no início do século XX com a necessidade de aumentar a produtividade e melhorar a qualidade dos produtos. O robô industrial teve suas primeiras aplicações nesta época com George Devol, conhecido como o pai da robótica industrial. A robótica forneceu um aumento de produção significativo às empresas e uma redução de custos com operários. O país que mais tem investido na robotização das atividades industriais é o Japão, um exemplo disso observa-se na Toyota [2].

### 2.2.1 Robô

A muito tempo os homens sonhavam em construir máquinas que ajudassem em seu trabalho ou como fonte de entretenimento. Um dos primeiros robôs foi a Clepsidra ou relógio de água, com figuras moveis, projetado no ano 250 a.c. por Ctesibius de Alexandria, um físico e inventor grego [6].

Robô tem origem da expressão checa *robot* que significa trabalho escravo ou trabalho forçado, que teve seu primeiro uso na peça teatral do checo Karel Capek em RUR, Rossum's Universal Robots, apresentada em 1921. Na peça, os robôs eram estruturas mecânicas articuladas com aparência humana, que chegaram a se rebelar contra seus criadores. Depois desta peça acabou por se adotar uma visão malévola aos robôs, que futuramente foi modificada pelo escritor russo Isaac Asimov, que com suas escrituras revolucionárias, ajudou a cimentar uma nova visão dos robôs, onde eram controlados pelos humanos e apresentados como benévolos [6]. Na figura 2.3 apresenta um dos primeiros

robôs "Robô Eric", criado em 1928 no Reino Unido [7].



Figura 2.3: Robô Eric [8].

Em sua obra em 1942 Runaround Asimov enunciou Três Leis da Robótica que seus robôs as seguiam:

Lei 1 – Um robô não deve fazer mal a um ser humano, ou por omissão, permitir que um ser humano sofra algum dano.

Lei 2 – Um robô deve obedecer às ordens dadas pelos humanos, exceto se essas ordens puserem em causa a primeira lei.

Lei 3 – Um robô deve proteger a sua existência desde que essa proteção não comprometa a satisfação das duas primeiras leis [2].

### 2.2.2 Órgãos terminais (Robot end-effector)

Por definição, o ato de prender ou deter objetos é realizado por meio de um conjunto de peças que entram em contacto com a superfície do objeto, de forma que o mesmo fique imobilizado e que limite os movimentos que o objeto pode realizar com a influência de

outros fatores externos [9]. Um dos mecanismos de manipulação mais inteligentes e eficazes é a preensão humana [10]. Este tipo de manipulação vem instigando os pesquisadores a desenvolverem novos manipuladores de forma a se aproximar a efetividade da mão humana [11]. Entretanto, sabe-se que a mão humana, apesar de ter destreza superior a todos os outros métodos desenvolvidos até então, quando inserida em um ambiente industrial, manipulações que exigem elevada força, repetitividade e exposição a atividades perigosas, não se encontram preparadas para lidar com estas tarefas [12] [13].

O órgão terminal é aquele que vai realmente efetuar as tarefas do robô. O braço limita-se a deslocá-lo entre pontos, pelo que este tem que ter uma capacidade de deslocamento acrescida, uma autonomia específica, e um sistema de controle similar ao restante. Esta autonomia que é usada em termos de vários trabalhos a efetuar. A figura 2.4 apresenta os movimentos do órgão terminal do robô [14].

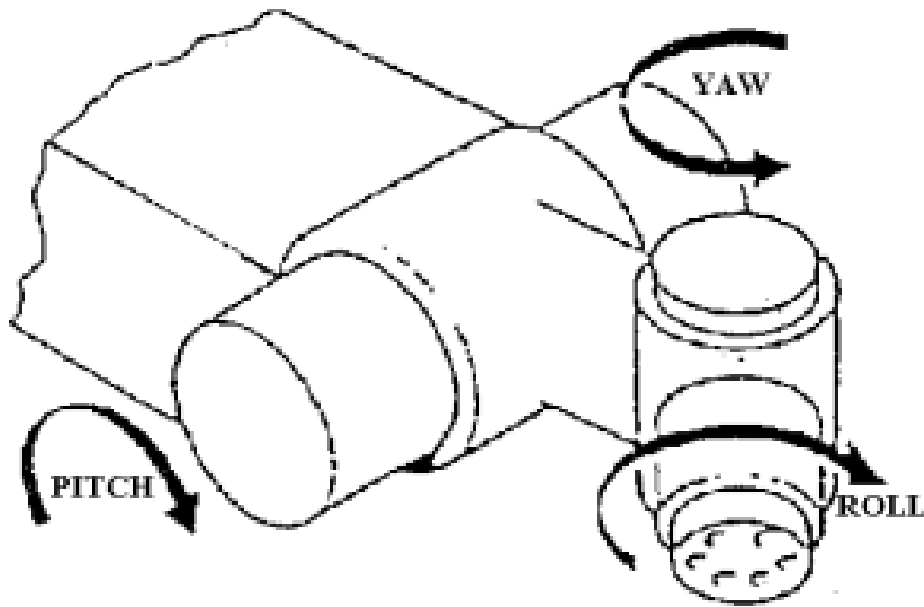


Figura 2.4: Órgãos terminais do robô [14].

Podemos considerar dois tipos básicos de efetadores: os que adquirem as partes a trabalhar, geralmente *Grippers* (pinça ou preensor) que são utilizados para agarrar objetos para transporte ou para operar os objetos em ferramentas, como por exemplo fresar. O segundo tipo básico são as ferramentas ou utensílios, comumente conhecidas



por “*Tools*”, são ferramentas que operam diretamente sobre os objetos, ou partes destes a serem trabalhados (objetos de trabalho) [14].

## 2.3 Garras

Quando um objeto é segurado por uma garra robótica um subsistema de mecanismos para promover o contacto temporário é acionado de forma a garantir guiar o objeto na posição e direção certa, isto ocorre devido aos mecanismos de força ou de elementos previamente ajustados para aquela função. O termo “garra” também é utilizado para definir situações onde não efetivamente o objeto é agarrado, mas sim, apenas segurado, como por exemplos em casos de sucção ou até mesmo de forças de retenção eletromagnéticas [12] [13].

Particularmente, o número de garras em um robô pode ter um impacto substancial em sua capacidade. Uma *Gripper* é um componente de um robô que mantém as peças a serem processadas enquanto o robô realiza operações de manuseio, como transporte de uma peça ou carregamento de uma máquina com uma peça. O número de garras que um robô possui determina o número de peças que podem ser manipuladas pelo robô ao mesmo tempo [15].

### 2.3.1 Classificação das garras

As garras podem ser classificadas em quatro tipos, de acordo com o seu princípio de funcionamento, ou método de prensa:

- Impacto: As garras deste tipo necessitam do movimento dos dedos da garra de forma a produzir a força necessária. Aqui é possível distinguir forças de prensão de forças de retenção. A força de prensão é aplicada no início do processo de agarrar o objeto enquanto a força de retenção é mantida, até libertação dele, e é geralmente inferior em magnitude à força de prensão.
- Ingressivo: Resultam na deformação ou penetração da superfície do objeto até uma

dada profundidade. É feita à custa de ganchos e agulhas. A prensão de continuidade implica um contacto direto entre o sistema garra-objeto, utilizando adesão térmica ou química.

- Continuidade: Geralmente são usadas para prensão de micro-componentes, utilizando técnicas de tensão superficial ou processos térmicos para objetos flexíveis têxteis, carbono e fibra de vidro.
- Astritivo: Pode ser utilizada para materiais ferrosos, com recurso à adesão magnética, em micro-componentes e materiais leves com recurso à adesão elétrica e em materiais rígidos não porosos com o uso da sucção a vácuo.

Portanto, considerando todas as características do objeto a segurar, como por exemplo, a finalidade, massa, volume ou coeficiente de fricção método de prensão, a garra deve ser dimensionada, de forma a satisfazer todas as funções exigidas. Geralmente, os métodos de prensão do tipo impacto são mais utilizados para objetos rígidos com superfícies de contorno regular. Já a prensão ingressiva é utilizada em objetos flexíveis como a indumentária.

### 2.3.2 Características das garras

Quando analisamos um meio industrial qualquer percebemos a presença de diferentes tipos de *Grippers*, algumas que possuem dois dedos, outras três e ainda em alguns casos, cinco dedos, semelhantes a mão humana. Este último caso, cinco dedos, dedos devido às limitações de controlo não são amplamente utilizados à nível industrial, sendo exploradas e desenvolvidas nas áreas médicas e académicas. A mão humana se torna tão diferente dos mecanismos desenvolvidos por uma única principal razão: a presença de um mecanismo de rotação interno do polegar. O polegar humano proporciona um movimento único, ele consegue se opor aos demais dedos, e isto promove uma força de aperto muito desejável para as situações mais cotidianas [16] [13].

Quando se utilizam vários dedos sob uma palma na construção da garra é comum

que os dedos estejam localizados de forma a opor-se uns aos outros para rentabilizar a eficiência no aperto. No início do projeto, uma das escolhas mais difíceis, porém mais fundamentais, é a definição do número de dedos do manipulador a ser desenvolvido. Garras com quatro dedos podem manipular 99% dos objetos manipuláveis por garras com cinco dedos; garras com três dedos 90% de todos os objetos e finalmente, garras com dois dedos apenas 40% dos objetos. Desta forma, algumas considerações devem ser tomadas, para que o dimensionamento escolhido satisfaça as condições da finalidade do projeto [17] [13].

- Garra de dois dedos: Estas são as garras mais simples de um robô, adequadas para muitos produtos industriais e fáceis de fabricar. Dentro deste grupo existem diferentes alternativas: com controle de abertura, com controle de pressão, com controle de distância no fechamento e na abertura, além disso, podem possuir desempenho pneumático ou elétrico.
- Garra de três dedos: Esse tipo de garra não é utilizado em grande escala, já que a maioria dos casos de automação pode ser resolvida com a garra de 2 dedos. No entanto, quando é necessário agarrar objetos delicados com força e precisão, as garras de três dedos são adequadas. Além disso, quando têm dedos articulados, adaptam-se melhor a superfícies não planas.

Este tipo de garra, é essencial quando se tem que pegar uma grande variedade de peças, porque precisamos de uma garra versátil e capaz de se adaptar a qualquer superfície. Obviamente, sua maior complexidade faz com que o valor comercial de uma garra como esta seja mais elevado do que o tipo de apenas dois dedos. Um exemplo do uso dessas garras pode ser o manuseio de tubos longos, já que seu alinhamento e eficiência podem ser melhorados em curvas rápidas.

Também existem garras com dedos minúsculos e sem articulação, muito mais baratas, adequadas para capturar pequenos objetos cilíndricos.

- Garras de dedos flexíveis: As garras flexíveis são as mais adequadas para uma variedade de objetos. Em geral possuem limitações em volume e peso do objeto a

ser carregado, são ideais para objetos mais delicados, como uma maçã, como poder ser visto na figura 2.5.

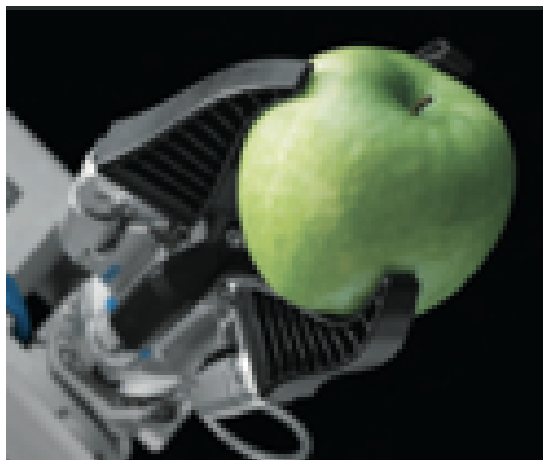


Figura 2.5: Garra de dedos flexíveis [18].

- Bola flexível cheia de grão : É um balão de látex preenchido com grãos que é deixado sobre o objeto a ser agarrado, moldado ao objeto, para sugar o ar do balão e transformá-lo em uma forma rígida que envolve o objeto sem danificá-lo. Surpreendido e muito depois do seu lançamento devido à sua simplicidade, conceito e versatilidade. Na figura 2.6 temos um exemplo:

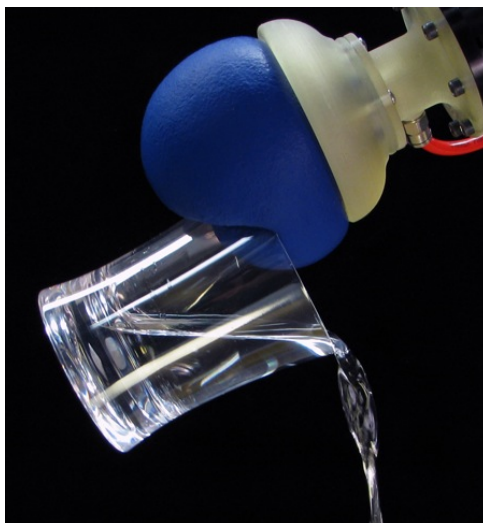


Figura 2.6: Versaball *Gripper* [19].

- Grandes garras para peletização: Aqui os avanços estão na padronização, podendo-se encomendar vários tipos pré-definidos, além do aumento de capacidade e variedade. São muito úteis no manuseio de cargas pesadas por serem mais fortes [18].

# Capítulo 3

## Materiais e Ferramentas

### 3.1 Embasamento do projeto

Atualmente, tem-se disponível em bibliotecas digitais uma infinidade de trabalhos desenvolvidos. Na área da engenharia, muitas vezes, convém fazer uso de um trabalho já existente para que se possa aprimorá-lo. Desta forma, poupa-se tempo de desenvolvimento, produção e também custos, além de claro, fazer as adaptações necessárias, pois a tecnologia está sempre em evolução. A partir do projeto escolhido é possível desenvolver um novo trabalho, tomando como base as boas ideias e acertos fornecidas pelo autor, e depois se detectam os erros ou melhorias possíveis afim de torná-lo melhor e mais completo, otimizar custos, e por vezes, adapta-se para um nova função. Neste projeto de Mestrado, foi escolhido um projeto base que corresponde a um projeto *open source* de uma garra de três dedos concêntrica, ou radial, figura 3.1 do tipo impacto, capaz de efetuar apertos centrais simétricos [1].

A partir do modelo de 3 dedos, pensou-se em fazer uma adaptação principal, diminuindo o número de dedos, de 3 para 2, uma vez que para a função principal que o mecanismo irá desempenhar - agarrar pequenos e médios objetos, não são necessários 3 dedos, desta forma, é possível simplificar o sistema e códigos sem perdas em termos de desempenho.

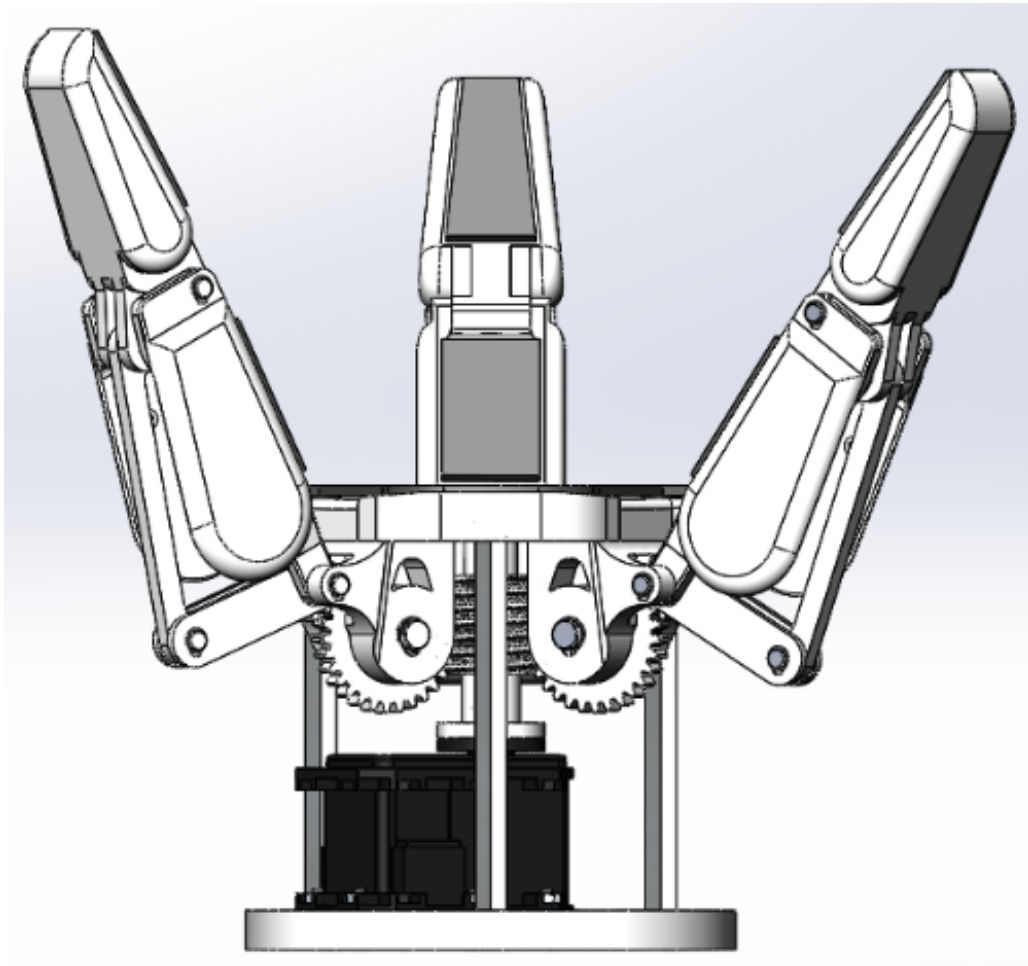


Figura 3.1: *Gripper* do modelo projeto base [1].

## 3.2 SolidWorks

Todos as peças para a *Gripper* foram modeladas no software SolidWorks, por ser um programa de fácil acesso, grande facilidade de manuseio, e pelo IPB disponibilizar as licenças necessárias em seus computadores para estudantes.

O trabalho tomado como base também foi criado a partir do SolidWorks, desta forma a realização de alterações foi facilitada. Por se tratar de um trabalho *open source* tanto os ficheiros em Stereolithography (STL) quanto os ficheiros em SolidWorks Part (SLDPRT) e SolidWorks Assembly (SLDASM) ambos ficheiros em sistema CAD do SolidWorks, foram disponibilizados.

Para assegurar que o desempenho da *Gripper* seja tão efetivo como o trabalho anterior, buscou-se manter boa parte do seu projeto.

A base principal da *Gripper* original foi alterada, como já citado, fazendo-se uso do programa CAD SolidWorks, o qual possibilitou ver a diferença de ambas, tanto do projeto base quanto o do melhorado, assim, já foi possível pré-visualizar os resultados finais esperados e realizar as adaptações necessárias, isto pode ser feito através da ferramenta “*assembly*” do SolidWorks.

## 3.3 Impressora 3D

A impressão 3D é uma tecnologia emergente que muitos acreditam que revolucionará a fabricação, as cadeias de suprimentos e o consumo global de produtos [20]. A impressão 3D, ou fabricação aditiva, pode ser definido como um processo de criação de objetos sólidos tridimensionais tendo como base um arquivo projetado digitalmente, de forma que as camadas de material, ao serem “impressas”, vão se sobrepondo e então formando o objeto desejado. Esse novo tipo de processo de fabricação, quando comparado os meios tradicionais, apresenta muitas vantagens, como por exemplo o custo benefício, que mesmo objetos com elevada complexidade não se tornam mais caros, além disso, é um processo muito versátil onde pode-se personalizar projetos e imprimir formas impossíveis de fabricar



por meio de técnicas de fabricação convencionais [21].

Um efeito da adaptação do uso da impressora 3D que possivelmente será gerado, é que ela revolucionará por completo os modelos de negócios e as cadeias de suprimentos globais atuais. Hoje em dia é muito comum que os produtos sejam fabricados em grande escala, em um local específico, e claro, posteriormente pode ser distribuído por transportadoras para qualquer lugar do mundo. Agora, o que a impressora 3D fornece é a possibilidade de os consumidores imprimirem diretamente um objeto sob demanda, as cadeias tradicionais de manufatura e de fornecimento mudarão drasticamente [22].

Além disso, as impressoras 3D são consideradas muito mais sustentáveis do que outras técnicas de fabricação, elas usam menos matérias-primas, geram menos desperdícios e o processo consome menos energia [23], [24].

O processo, como já citado, conta com muitas vantagens quanto aos sistemas de fabricação convencionais usados atualmente, entretanto, o seu modo de funcionamento é muito similar as impressoras comuns. As diferenças entre elas são o tipo de material ejetado e claro, na quantidade de dimensões controlados.

Para se produzir um objeto em três dimensões, assim como no método de duas dimensões (convencional), é necessário ter um modelo digital. Através dos softwares de CAD, o objeto é projetado para ser impresso e então enviado a impressora que está ligada ao computador. A impressora utiliza um dispositivo mecânico para ejetar e unir partículas de materiais em finas camadas. Essas camadas são sobrepostas uma a uma formando assim o objeto desejado, na forma e material exigido.

Há duas técnicas que podem ser usadas para criar um molde a ser impresso. A primeira, exige conhecimento mais aprofundados em programação e modelagem digital, ela consiste em criar o objeto 3D em um software, ideal para projetos que contam com muitos detalhes. A segunda técnica é muito simples, e por isso é o mais utilizado na fabricação doméstica, o molde é obtido através do escaneamento do objeto que se deseja, podendo ser realizado até mesmo por um smartphone [25], [26].

O princípio de funcionamento destas impressoras conta com 3 eixos. Um que a move para ambos os lados, outro que realiza o controle para frente e para trás e o terceiro, que

controla os movimentos no sentido de profundidade, este último como pode se imaginar, é o que torna diferente os mecanismos entre impressoras convencionais e 3D.

Os mais usuais tipos de impressoras 3D são as que trabalham por fusão e deposição Fused Deposition Modeling (FDM), que consistem em ejetar plástico Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS) através de um pequeno orifício, de forma a ir agrupando o material em camadas. As de Stereo Lithography Apparatus (SLA), elas são mais sofisticadas que as anteriores e utilizam laser para endurecer a resina líquida e por último, as que funcionam com sinterização seletiva a laser Selective Laser Sintering (SLS), que também utilizam laser, mas os materiais para compor o objeto podem ser plásticos, metal, ou cerâmica em pó. Todas elas são máquinas aditivas, ou seja, constroem os objetos camada por camada, começando pela parte de baixo do objeto [27], [26].

### 3.3.1 FDM

A modelagem por deposição fundida FDM é a técnica de impressão 3D mais aplicada atualmente. É necessário o desenvolvimento de um filamento termoplástico por extrusão a quente Hot Melt Extrusion (HME), e o processo de impressão é baseado na deposição sequencial de camadas de polímero fundido, de acordo com padrões digitais pré-determinados [28].

Embora inicialmente fosse usado apenas para prototipagem, atualmente está mudando para um processo de fabricação de componentes mecânicos, que também se deve ao desenvolvimento de filamentos de materiais de alta resistência, como o Polyether Ether Ketone (PEEK) e filamentos reforçados com fibra [29], [30], [31], [32]. Devido ao processo de deposição de filamentos em FDM, cada camada de material é composta de fibras (principalmente paralelas) conectadas umas às outras por ligação adesiva [33].

## 3.4 Filamentos

O filamento de uma impressora 3D é a matéria-prima que permite a impressão, e com o avanço da tecnologia envolvida, os tipos de filamentos estão se desenvolvendo e avançando,

dessa forma se diversificam entre suas características específicas, e possibilita assim um grande impacto no produto final.

Dessa forma, a escolha do tipo de filamento, saber identificar cada material e as suas configurações específicas, torna-se o fator principal para o sucesso de qualquer projeto, seja ele na área da saúde, na engenharia, no design ou em pesquisas científicas [34].

Cada aplicação exige um tipo de material ou termoplástico diferente, uma vez que cada um possui características de resistência e durabilidade diferentes para cada tipo de utilização, e suas características de resistência a temperatura de impressão, dentre outras características específicas como temperatura da mesa, varia de fabricante para fabricante. Dentre os principais filamentos será aqui falado de seis:

### 3.4.1 PLA

No mundo da impressão 3D, o Ácido Poliláctico (PLA) é o mais utilizado, é fabricado a partir de fontes renováveis e não é prejudicial para a saúde ou o ambiente quando as peças são descartadas. Material de fácil impressão, necessita de uma temperatura de impressão menor que o ABS, não deforma facilmente e não requer uma mesa de impressão aquecida.

Por sua baixa contração é indicado para peças grandes e peças técnicas que não necessitam de acabamentos após a impressão, suas cores são brilhantes conforme figura 3.2 e possibilitam a impressão de peças bem vibrantes.

Ele não é indicado para impressão de itens que precisam ser dobrados, torcidos ou derrubados com frequência ou itens que exijam resistências a altas temperaturas, pois se deforma quando exposto a temperaturas superiores a 60°C [34].

Principais propriedades do PLA:

- Resistência: alta | Flexibilidade: baixa | Durabilidade: média
- Dificuldade de uso: pequena
- Temperatura de impressão: 180°C à 230°C
- Temperatura da mesa de impressão: 20°C à 60°C (mas não necessária)



Figura 3.2: Filamentos de PLA [34].

- Contração/Deformação: mínima
- Solúvel: Não
- Inspeção sanitária: consulte as instruções do fabricante

### 3.4.2 ABS

O segundo filamento mais utilizado é o ABS, possuem alta resistência e durabilidade, sendo um dos mais populares para impressão que requerem rigidez. Geralmente são usados para a produção de peças que tendem a sofrer altas cargas mecânicas e altas temperaturas.

Possui uma cor opaca e tem um visual agradável para peças que necessitam de menos brilho. Por ser um material de dureza superficial baixa, é ideal quando e necessita de acabamentos após a impressão 3D [34].

Principais propriedades do ABS:

- Resistência: alta | Flexibilidade: média | Durabilidade: alta
- Dificuldade de uso: média
- Temperatura de impressão: 210°C à 250°C

- Temperatura da mesa de impressão: 80°C à 110°C
- Contração/Deformação: considerável
- Solúvel: em ésteres, cetonas e acetona
- Inspeção sanitária: não seguro para alimentos

### 3.4.3 PET(PETG,PETT)

O Politereftalato de Etileno (PET) é o plástico mais utilizado no mundo, exemplo nas garrafas de água e em recipientes para alimentos. O Politereftalato de Etileno Glicol (PETG) é modificado com glicol do PET, considerado como o material mais nobre para impressão 3D, por ser um material muito resistente mecanicamente, quimicamente e a altas temperaturas. Pode ser utilizado em impressoras abertas ou fechadas, com mesa aquecida ou não, e não apresenta odor durante o seu processamento.

Dessa forma o filamento PETG apresenta a facilidade de impressão do PLA aliado as propriedades do ABS, o que é ótimo para impressão 3D. Como tem alta resistência química, possibilita utilizá-lo em peças que vão sofrer interferência com algum reagente, não apresenta deformações, possibilitando a impressão de peças grandes.

Porém como os outros também tem seus pontos negativos, ele absorve a umidade do ar, logo o filamento tem que ser armazenado em um lugar arejado e seco. O PETG é grudento durante a impressão, e risca-se mais facilmente que o ABS.

O Polyethylene co-Trimethylene Terephthalate (PETT) é outra variante do PET, levemente mais rígido que o PETG, esse filamento é conhecido por ser transparente [34].

Principais propriedades do PET:

- Resistência: alta | Flexibilidade: média | Durabilidade: alta
- Dificuldade de uso: pequena
- Temperatura de impressão: 220°C à 250°C

- Temperatura da mesa de impressão: 50°C à 75°C
- Contração/Deformação: mínima
- Solúvel: não
- Inspeção sanitária: consulte as instruções do fabricante

### 3.4.4 Nylon

O Nylon é da família de polímeros sintéticos usados em muitas aplicações industriais, com uma alta relação entre peso e força, propriedades anti-corrosivas e baixas taxas de atrito, é ideal para aplicações como ferramentaria e peças de uso final. Tem muitas gradações de nylon, mas entre os mais utilizados como filamento para impressora 3D estão o 618 e o 645.

Este material oferece grande flexibilidade, boa adesão entre camadas, baixo custo, material muito forte e resistente e ainda pode ser tingido antes ou depois da impressão, dando um toque personalizado aos objetos utilizados para decoração, conforme figura 3.3.



Figura 3.3: Objetos de decoração feitos de filamentos Nylon [34].

Tem seu lado negativo é que absorve umidade, logo deve ser guardado em ambientes ventilado e seco, para garantir impressões com qualidade [34].

Principais propriedades do Nylon:

- Resistência: alta | Flexibilidade: alta | Durabilidade: alta
- Dificuldade de uso: média
- Temperatura de impressão: 240°C à 260°C
- Temperatura da mesa de impressão: 70°C à 100°C
- Contração/Deformação: considerável
- Solúvel: não
- Inspeção sanitária: consulte as instruções do fabricante

### 3.4.5 TPE, TPU, TPC (Flexíveis)

São filamentos mais elástico do mercado, tem como intuito oferecer maleabilidade e flexibilidade para as peças que necessitam de alguma movimentação na sua utilização.

O elastômeros termoplásticos Thermoplastic Elastomers (TPE), com base de poliuretano, são leves e elásticos com qualidades similares à borracha, apresenta um alto coeficiente de fricção e uma grande macieza. Porém a impressão nem sempre é fácil, uma vez que ele será difícil de ser extrudado.

O Thermoplastic Polyurethane (TPU) é uma variedade particular do TPE, apresenta-se um pouco mais rígido, assim mais fácil de imprimir, mantém a forma, não quebra, não atrai poeira e facilmente arranha o que o torna mais durável do que o TPE.

O TPE também possui outra variação o co-poliéster termoplástico Thermoplastic Copolyester (TPC), possui maior resistência à exposição química, raios ultravioleta e ao calor do que o TPE.

Estes filamentos podem ser usados em objetos que precisem resistir a muito desgastes e que necessitem de dobrar-se, esticar-se ou comprimir-se [34].

Principais propriedades do TPE, TPU, TPC:

- Resistência: média | Flexibilidade: alta | Durabilidade: alta
- Dificuldade de uso: média (TPE e TPC); pequena (TPU)
- Temperatura de impressão: 210°C à 230°C
- Temperatura da mesa de impressão: 30°C à 60°C (mas não necessária)
- Contração/Deformação: mínima
- Solúvel: não
- Inspeção sanitária: não seguro para alimentos

### 3.4.6 PC

O filamento de Policarbonato (PC) é extremamente forte, duradoura e resistente ao impacto, com boa resistência ao fogo, que suporta consideravelmente o contato com azeites, gorduras e dissolventes com baixa deformação. Apesar de ser forte, o PC é moderadamente flexível, não tanto como o nylon, mas permite dobrar até eventualmente ser deformado, necessita de uma mesa aquecida.

O PC é ideal para peças que precisam manter a resistência e o formato em ambientes de alta temperatura, tais como componentes elétricos, mecânicos ou automotivos. Ainda apresenta uma boa transparência, considera-se um bom isolante elétrico e suporta bem a exposição ao ar livre e aos raios solares [34].

Principais propriedades do PC:

- Resistência: alta | Flexibilidade: média | Durabilidade: muito alta
- Dificuldade de uso: média
- Temperatura de impressão: 270°C à 310°C
- Temperatura da mesa de impressão: 90°C à 110°C



- Contração/Deformação: considerável
- Solúvel: não
- Inspeção sanitária: não seguro para alimentos

### 3.5 Seleção de materiais

A escolha do material é de grande importância tanto para o custo do projeto quanto para sua performance. Uma escolha perfeita *low cost* é obtida quando se escolhe um material de custo menor sem perder resistência e outras propriedades necessárias para o bom funcionamento do projeto. Efetivamente, o material com maior resistência encontrada foi o PC, entretanto não satisfaz a condição *low cost*, pois seu custo é muito elevado comparado aos outros materiais. Outras opções encontradas foram o ABS e o PLA. Ambos apresentam custos similares. O ABS apresenta resistência ao impacto superior, no entanto, exige uma impressora com mesa aquecida e menor variação de temperatura durante a impressão da peça, ou seja, requer alguns cuidados para que se obtenha uma impressão de qualidade. Já o PLA apresenta como principal vantagem a simplicidade no processo de impressão, entretanto, apresenta resistência a tração ligeiramente inferior. Na Tabela 3.1 é possível comparar todos os critérios analisados para a seleção do material.

Filamentos	PLA	ABS	PC
Resistência ao impacto ( $kJ/m^2$ )	5,1	10,5	14,9
Temperatura da extrusora ( $^{\circ}C$ )	180 à 230	210 à 250	270 à 310
Temperatura da mesa ( $^{\circ}C$ )	Não necessita	80 à 110	90 à 110
Durabilidade	Media	Alta	Muito alta
Dificuldade de uso	Baixa	Alta	Alta
Preço	42,62 €	48,77 €	70,39 €

Tabela 3.1: Tabela de comparação de filamentos Ultimaker [35].

Depois de analisar as vantagens e desvantagens dos dois materiais e compará-las com as propriedades requeridas para o projeto, definiu-se que as peças fossem impressas em ABS, pois por se tratar de uma garra, a escolha de um material mais resistente é fundamental.

Ao realizar as primeiras impressões, foram identificados vários problemas e a qualidade final obtida não era a desejava devido a limitações da impressora disponibilizada. Diante deste problema, procurou-se uma forma alternativa para realizar as impressões, a melhor forma encontrada foi a troca de filamento, e com isso, utilização de outra impressora. Portanto, decidiu-se fazer o uso de filamentos de PLA para a fabricação das peças devido a disponibilidade de uma impressora com qualidade superior, e assim, assegurando que as peças tivessem bom acabamento e boas propriedades.

## 3.6 Arduino

O Arduino é um hardware fácil de usar, de código aberto e amplamente conhecido por estudantes, programadores e profissionais [36], cujas principais aplicações estão no ramo da construção e programação de eletrônicos. Um Arduino pode receber e enviar informações para a maioria dos dispositivos existentes, ele pode até mesmo ser comandado através da Internet [37]. O Arduino constitui uma tendência de fusão que se tornou uma ferramenta poderosa para desenvolver diferentes aplicações nos campos de aquisição de dados, automação e engenharia em geral [38]. Seu funcionamento se dá principalmente por meio de um hardware chamado Placa de desenvolvimento [37] e um programa de software Integrated development environment (IDE) com linguagem C e C ++ simplificado [39] para programar a placa [40]. Pode ser vista na figura 3.4 um exemplo de placa de Arduino:

Atualmente, o Arduino é amplamente empregado em microcontroladores [41], pois ele consegue fornecer uma introdução aos microcontroladores sem considerar muito o aspecto de programação, o que o torna acessível mesmo para não programadores profissionais [42] [40]. Ao mesmo tempo, esse microcontrolador barato pode criar curiosidade suficiente sobre o que essa “coisa” é capaz. Além disso, a adição de periféricos não é difícil, pois há muitos módulos disponíveis que podem simplesmente ser conectados à placa Arduino, como encaixar dois blocos Lego. Com uma enorme quantidade de tutoriais on-line e uma grande base de usuários para fazer perguntas, pode se tornar um ótimo começo para a

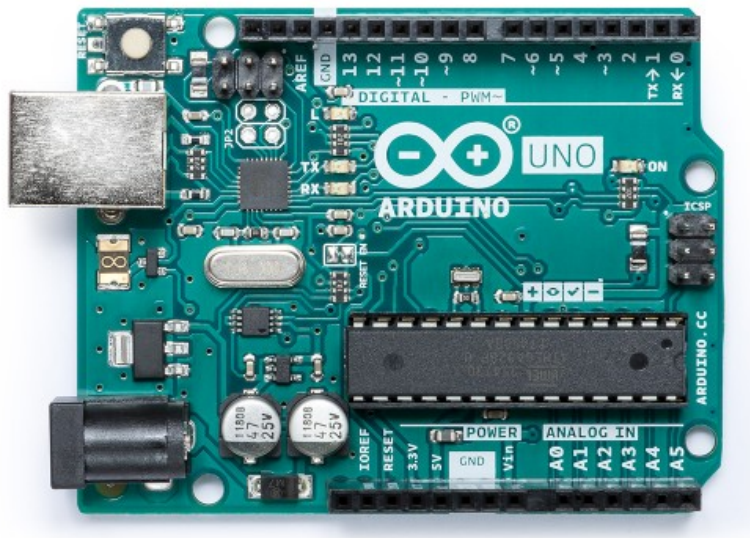


Figura 3.4: Placa de Arduíno UNO [35].

criação de objetos ou ambientes interativos [43].

Além disso, um Arduino também tem a função de ler informações de dispositivos de entrada, como por exemplo, sensores, antenas, aparadores (potenciômetro), podendo enviar informações para dispositivos de saída, como LED , alto-falantes, tela LCD , motor DC dentre outros [44], [40].

# Capítulo 4

## Projeto

### 4.1 Desenhos SolidWorks

O primeiro passo para a fabricação dos componentes da *Gripper* foi a simulações no Software SolidWorks usando sua ferramenta “*Assembly*”. Um modo fácil e comumente utilizado quando pretende-se simular a montagem de peças e prever possíveis falhas e movimentos antes delas serem produzidas. Assim, torna-se possível diminuir desperdícios gerados ao fabricar peças e apenas depois verificar a presença de erros que poderiam ter sido identificados previamente.

A primeira peça a ser alterada do projeto utilizado como base, foi sua base principal figura 4.1, que por sua vez tinha 3 suportes junto a base para o acoplamento dos dedos e engrenagens nos mesmos. Dessa forma foi reformulada a base deixando-a quadrada para obter melhorias no momento do aperto dos dedos. Tentou-se manter o suporte utilizado no projeto base sem muitas alterações já que estava muito bem dimensionado e calculado para os dedos que também se mantiveram semelhantes.

Antes, a *Gripper* era do tipo 3 dedos, com angulação de  $120^\circ$  entre os mesmos. Como o número de dedos foi reduzido a 2, fez-se necessária a alteração desse ângulo de espaçamento, o qual aumentou para  $180^\circ$ . Foram inseridos os suportes exigidos para cada um dos dedos, e depois unidos a base de forma a se tornarem uma só peça, com o objetivo

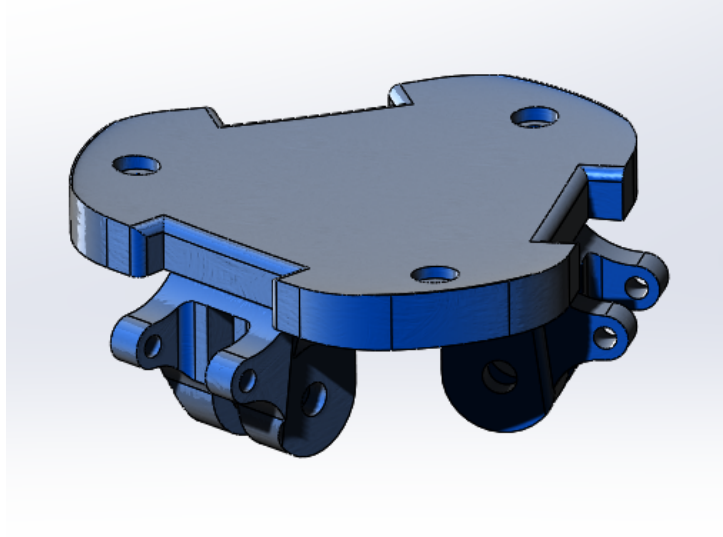


Figura 4.1: Base principal do projeto utilizado como base [1].

de ter melhor desempenho, facilidade de impressão e resistir aos esforços presentes na movimentação dos dedos. Também pensando neste último quesito, movimentação dos dedos, um pequeno espaço extra foi inserido entre o suporte e a base para que o dedo tenha maior grau de liberdade, tornando-se mais adequada para prensão dos objetos. A peça aprimorada pode ser vista na figura 4.2.

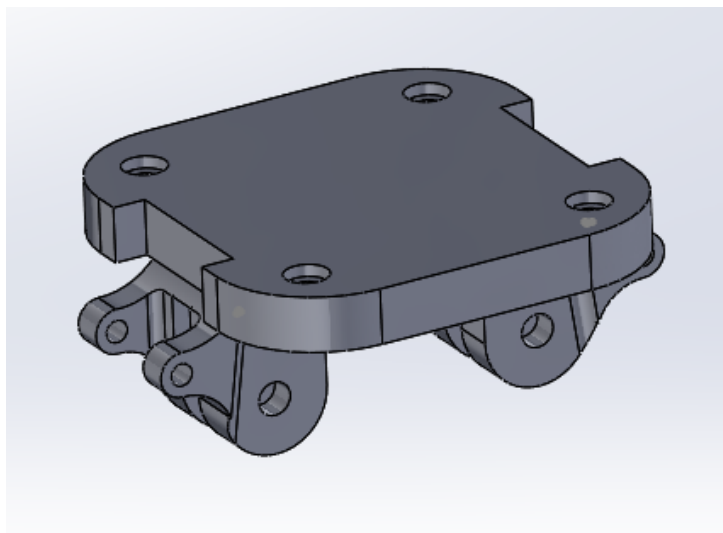


Figura 4.2: Base principal atualizada.

Buscando manter as boas qualidades que o projeto base apresentava, o servo foi centralizado igualmente a base atualizada para que pudesse ser utilizado apenas um motor para a movimentação dos dois dedos. Feito esse processo, minimizaram-se as mudanças em outras peças do projeto base.

A base já foi levemente aumentada para que fosse possível colocar os furos para que o suporte da *Gripper* pudesse ser mantido assim como no projeto base, acrescentando apenas mais um suporte, tendo 3 no projeto base e 4 para o projeto atualizado. O objetivo de tal mudança é de melhorar a afixação e rigidez, mantendo-a mais firme.

Junto as modificações da peça base, também foram feitas as mudanças necessárias na plataforma inferior da *Gripper* onde anteriormente apresentava apenas 3 furos. Com as atualizações realizadas nas peças anteriores, foi necessário revisar o melhor lugar para colocar o suporte para que não atrapalhasse o movimento. Ambas as plataformas do projeto base e a plataforma atualizada podem ser vistas nas figuras 4.3 e 4.4.

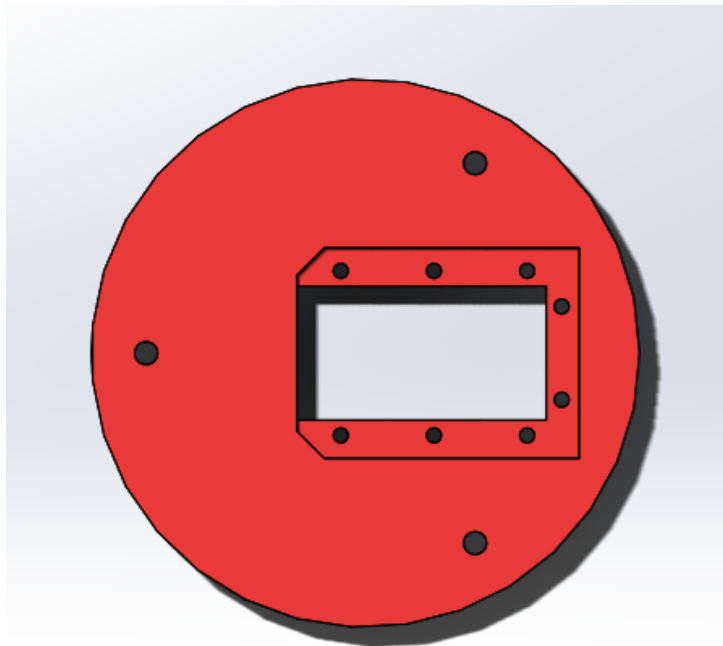


Figura 4.3: Plataforma do projeto base [1].

Inicialmente, pensou-se em utilizar os mesmos suportes do projeto anterior. Depois de alguns testes realizados, identificou-se a necessidade de alteração dos mesmos, visto

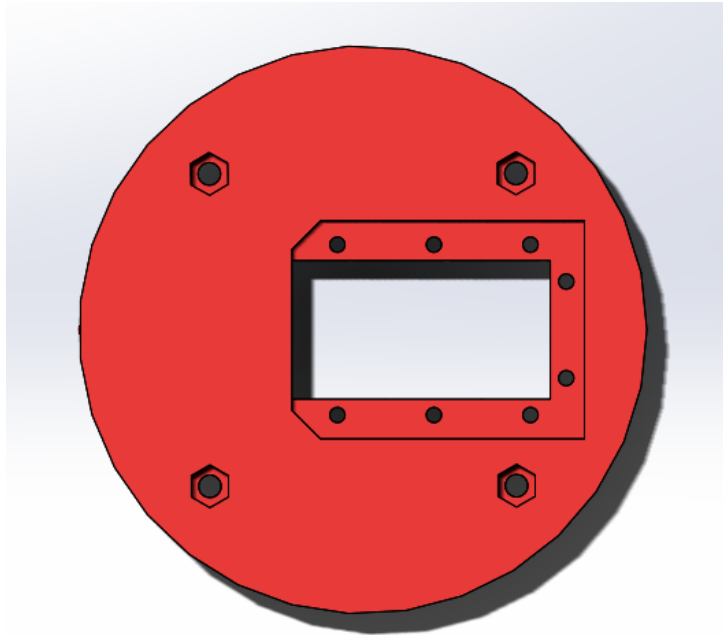


Figura 4.4: Plataforma do projeto atualizado.

que não teriam uma boa resistência para fixar a *Gripper*, pois quando montado percebeu-se que a *Gripper* não estava presa o suficiente, uma vez que se necessita que ela esteja extremamente fixa e apertada para que ela possa ter um bom desempenho na ação de pegar objetos sem causar falhas por motivos de vibrações ou algo similar. A melhor alternativa encontrada foi colocar uma barra com tamanho M3.5 (que já era o tamanho do furo feito inicialmente na base e plataforma) e que fosse apertada com porcas e anilhas para que pudesse ficar bem presa. Pode se ver as peças de suportes impressas na figura 4.5 e na figura 4.6 a barra que supriu os suportes.

## 4.2 Impressão das peças

Para a impressão das peças inicialmente foi definido o ABS como filamento de impressão, por apresentar a maior resistência com o menor custo, e também pela possibilidade de realizar um estudo e avaliação das dificuldades que este material apresenta em relação a impressão.

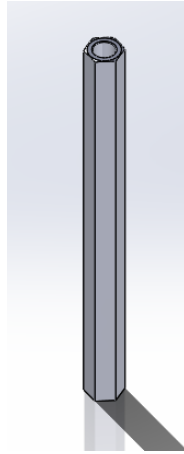


Figura 4.5: Suporte usado no projeto base [1].

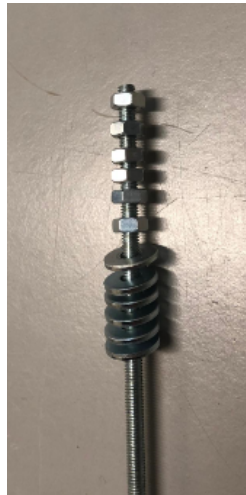


Figura 4.6: Barra, porcas e anilhas usadas no lugar do suporte.



A impressora disponível para realização deste projeto foi a *Leap Frog*, figura 4.7, no laboratório Laboratório de Controlo, Automação e Robótica (LCAR) nas dependências do IPB, quando iniciaram-se as primeiras impressões evidenciou-se que as peças não estavam a apresentar a qualidade desejada inicialmente devido a algumas limitações da impressora, então alguns problemas foram identificados, como a dificuldade para manter a temperatura da mesa, possivelmente justificado pela falta de um vidro para isolar a troca de calor com o meio externo.

Logo percebeu-se que se a fabricação das peças fosse realizada nesta impressora a qualidade final obtida não satisfaria os requisitos do projeto e limitaria a execução das funções da *Gripper*. Entretanto, decidiu-se continuar a fabricação de algumas peças testes, afim de recolher dados, identificar os problemas gerados e a partir deles desenvolver possíveis soluções para trabalhos futuros nesta impressora.



Figura 4.7: Impressora LeapFrog.

A primeira peça a ser fabricada foi a base atualizada. Após a impressão, foram constatados na peça problemas como mal acabamento, desprendimento entre camadas de filamento, e além disso, a impressora não foi capaz de finalizar a impressão da peça, como pode-se observar na figura 4.8.

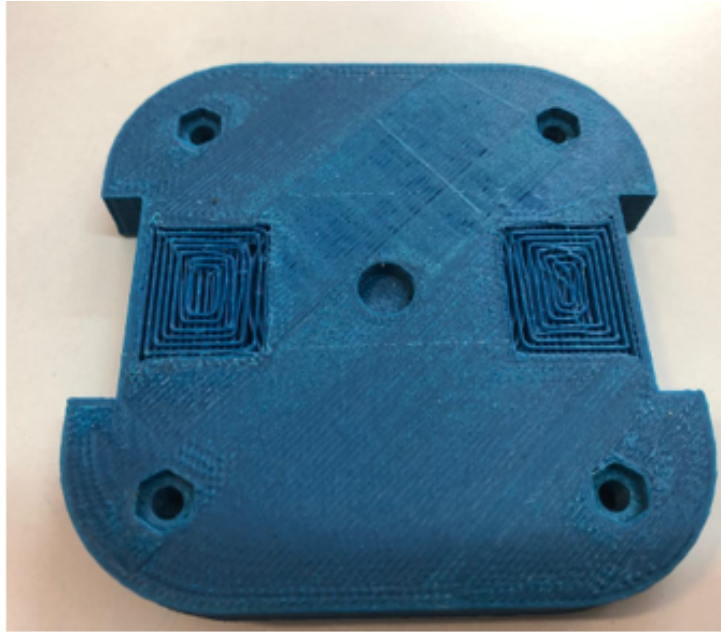


Figura 4.8: Primeira peça impressa (base).

Esta é uma peça que apresenta área relativamente grande, por isso, como a impressora apresenta problemas quanto a conservação da temperatura no seu interior, os problemas podem ser justificados por meio de que a parte inferior da peça pode ter esfriado antes de se começar a fabricar a parte superior. A variação de temperatura - na qual o ABS é muito sensível, provoca a má união das camadas entre o final da parte inferior e o início da superior, fazendo assim que se separassem tornando duas peças e impedindo a impressão completa.

Assim, como a impressão total da peça base foi interrompida pelo descolamento dos filamentos, a próxima peça a ser fabricada foi a parte superior desta mesma base, afim de unir as duas partes posteriormente através de outro mecanismo. A peça conseguiu ser finalizada, no entanto, com inúmeros erros. Os principais problemas observados são o péssimo acabamento, alta deformação e novamente, má união entre as camadas de

filamentos. Durante a impressão, observou-se que a peça foi finalizada em um tempo muito curto, o que pode justificar todos estes defeitos.

A segunda peça escolhida como teste foi uma engrenagem, figura 4.9. Como a peça fabricada anteriormente tinha uma ampla área que dificultou a uniformidade de temperatura em sua extensão, decidiu-se por imprimir uma peça menor, mais simples com menos detalhes e com velocidade de execução menor afim de verificar se os erros realmente podem ser associados a variações de temperatura durante a impressão.

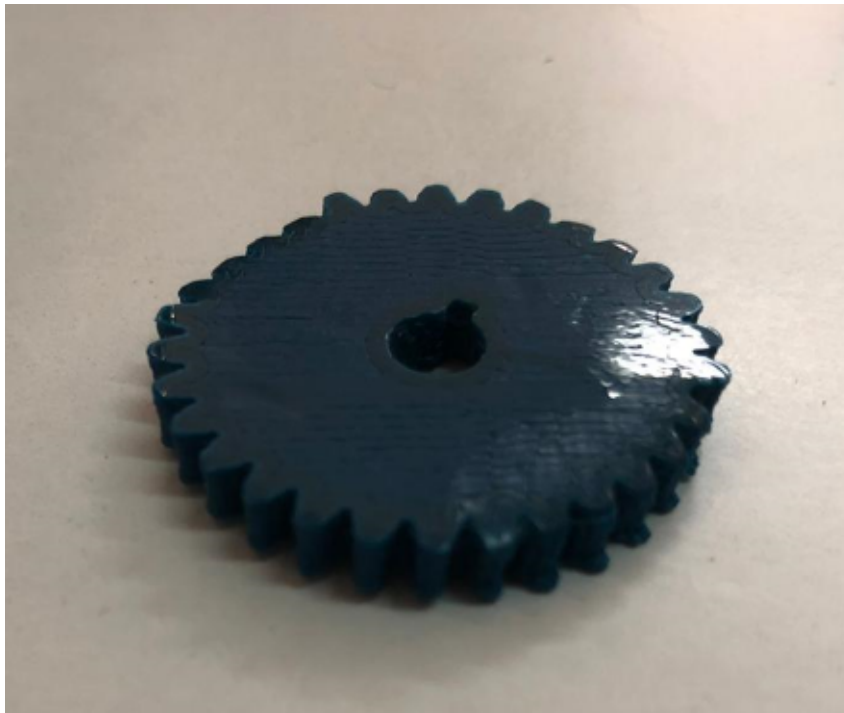


Figura 4.9: Segunda peça (engrenagem).

Comparada com a impressão anterior, a engrenagem apresentou melhoras em sua qualidade superficial e acabamento, o furo no meio foi bem executado, no entanto, foi constatado um pequeno empenamento, possivelmente provocado pela sensibilidade do ABS, as variações de temperatura da mesa e da extrusora da impressora. Apesar de que superficialmente não apresentou sérios problemas, para que a engrenagem cumpra suas funções com efetividade ainda faz-se necessária qualidade superior e livre de empenamentos gerados pela variação de temperatura durante a impressão.

Ainda assim, foram realizadas outras impressões testes. Foram escolhidas peças intermediárias em questões de área de contato com impressora e a presença de detalhes, uma vez que os problemas encontrados nas fabricações anteriores podem estar associadas a questões de tamanho (uma muito grande e outra muito pequena) e de detalhes presentes na engrenagem, que apesar de simples, como os dentes, eram muito pequenos, este problema ainda foi evidenciado em outro teste, em uma peça de ligação onde o buraco para a mola não foi feito adequadamente como mostra a figura 4.10.

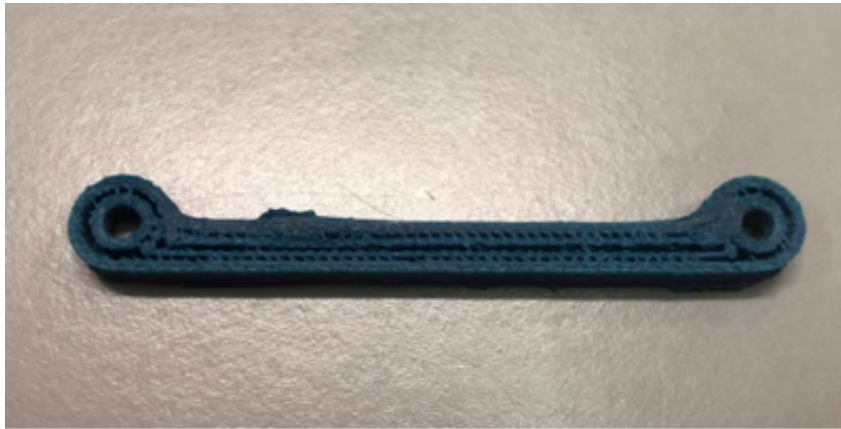


Figura 4.10: Terceira peça (ligação dos dedos).

Desta forma, o último teste realizado foi a fabricação de uma peça de tamanho suficiente para que os detalhes não fossem tão pequenos ou que exigissem elevada qualidade da impressora, levando em conta estes critérios optou-se pela primeira falange dos dedos, figura 4.11. De todas as impressões realizadas na impressora LeapFrog, esta foi a que obteve a melhor qualidade, ainda assim, apresentou alguns pequenos erros de impressão, no entanto, estes não interferem no funcionamento final da *Gripper* em geral.

Todas as peças que foram impressas com a utilização de um suporte com a finalidade de proporcionar melhor qualidade, posteriormente foram removidos por meio de uma pinça, uma lixa e um alicate, do LCAR.

Depois de identificar todos os problemas gerados ao usar o filamento ABS e a impressora LeapFrog, como já citado anteriormente, optou-se por procurar outros meios para

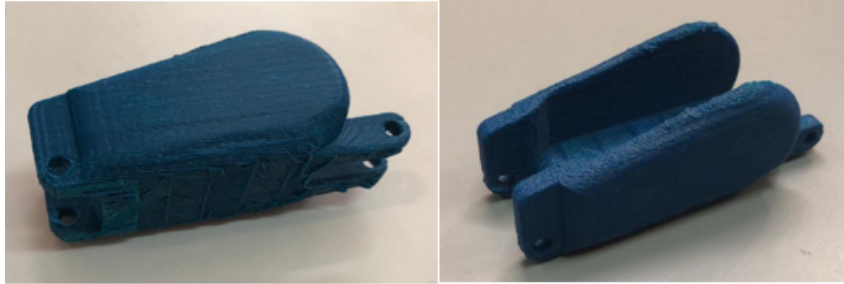


Figura 4.11: Quarta peça (Primeira Falange).

impressão, sejam eles o filamento PLA e uma impressora com qualidade superior compatível com o filamento escolhido. Por ser um filamento menos sensível e que não deteriora-se tanto pela variação de temperatura da mesa e da extrusora, acredita-se que ao utilizar o PLA será possível alcançar melhores resultantes para a fabricação das mesmas peças, mantendo ainda a condição *low cost*.

A impressora utilizada foi uma Fusion 3 modelo F400-S, figura 4.12, disponibilizada do LCAR. O PLA utilizado pela impressora é um genérico, a maior parte das peças necessárias para a *Gripper* foram fabricadas nesta impressora, já que a impressora com esse filamento apresentou peças com qualidade e precisão que desejava-se para o projeto.

Através desta impressora e do filamento escolhido pode-se obter, em geral, um resultado final com qualidade superior. Como o LCAR é um laboratório fechado não foi possível acessá-lo durante o processo de impressão de cada uma das peças. As impressões foram realizadas pelo técnico responsável pelo laboratório através do ficheiro STL desenvolvido.

As peças foram produzidas em dois conjuntos, figura 4.13, e figura 4.14. Esta impressora mostrou-se mais efetiva pois era possível colocar várias peças em uma mesma impressão para serem feitas em simultâneo, reduzindo assim o tempo necessário para efetuar a impressão, a impressora era programada no fim da noite, e então efetuava as impressões, ao finalizar se desligava sozinha e as peças eram retiradas pela manhã.

No segundo conjunto de peças observou-se a presença de alguns defeitos, um deles foi o acabamento. Em algumas peças, pequenos defeitos não interferem no perfeito funcionamento final da *Gripper* quando todas as partes forem montadas, no entanto, há outras

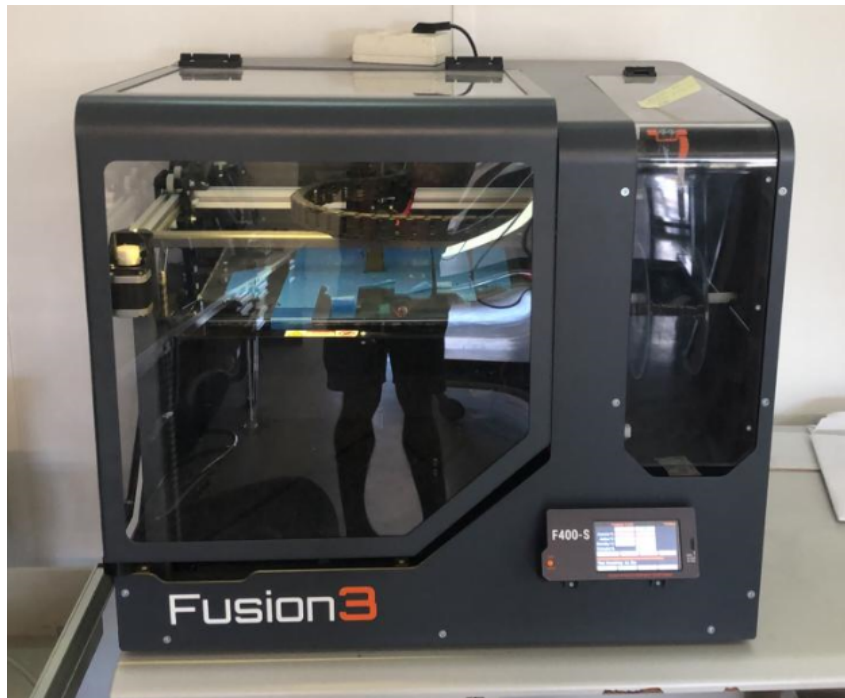


Figura 4.12: Impressora Fusion 3.

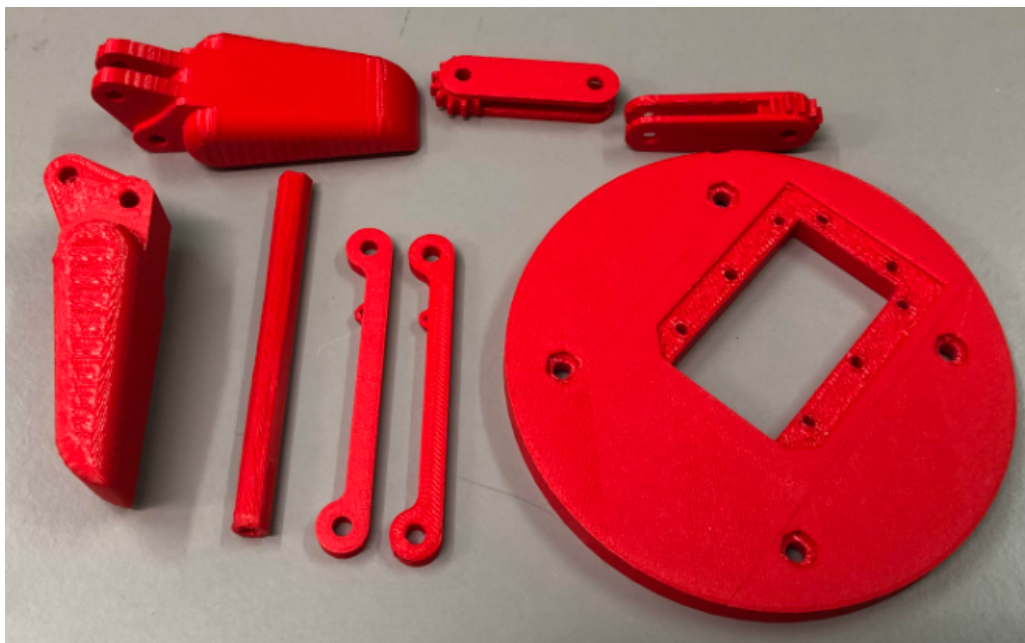


Figura 4.13: Primeiro conjunto de peças.

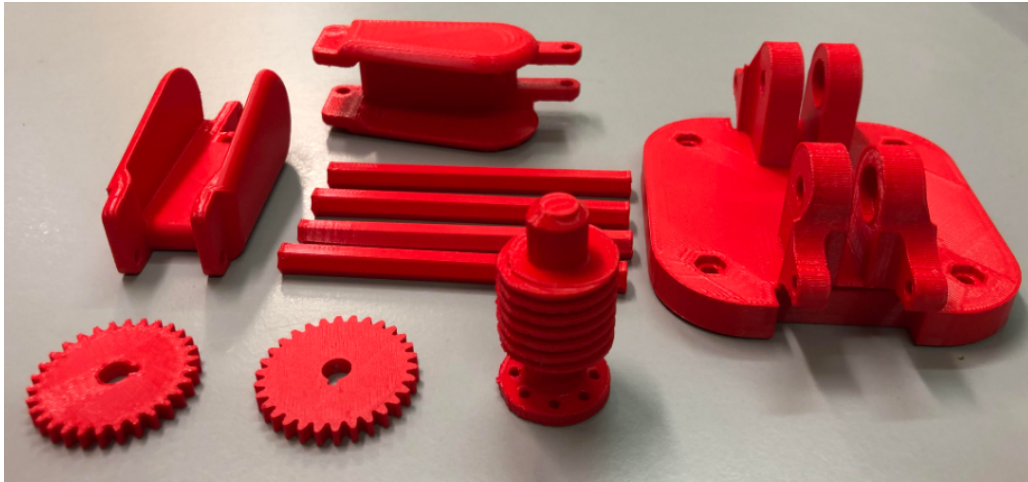


Figura 4.14: Segundo conjunto de peças.

peças que realmente é desejável perfeição tanto no acabamento quanto nos detalhes. Assim, as peças que continham pequenos defeitos que não interfeririam na execução final foram mantidas, afim de reduzir custos, tempo e desperdícios de materiais, e a peça que exigia maior qualidade de acabamento foi re-fabricada com uma impressora de qualidade superior.

A impressora utilizada para reimpressão desta peça foi a Ultimaker3 Extended, figura 4.15, uma impressora com uma qualidade muito superior as anteriores, ela utiliza um filamento Ultimaker PLA, disponibilizada no Fabrication Laboratory (Fab Lab), nas dependências do IPB. Primeiramente a peça havia sido fabricada na posição horizontal, e como vimos, apresentou alguns problemas, agora, optou-se pela fabricação em posição vertical, afim de observar se melhores resultados podem ser obtidos quando há menor superfície de contato com a base da impressora.

Ao decorrer da fabricação notou-se a ausência de um suporte para a peça, foi realizada uma tentativa de prosseguir mesmo sem ele, afim de não precisar interromper todo o processo, mas a peça apresentou problemas de sustentação e com isso optou-se por cancelar a impressão. A peça foi retirada da impressora e o resultado obtido pode ser visto na figura 4.16. Após isso foi verificado que a impressora estava com problemas no bico de impressão do suporte, o qual estava obstruído e por isso não liberava o filamento.

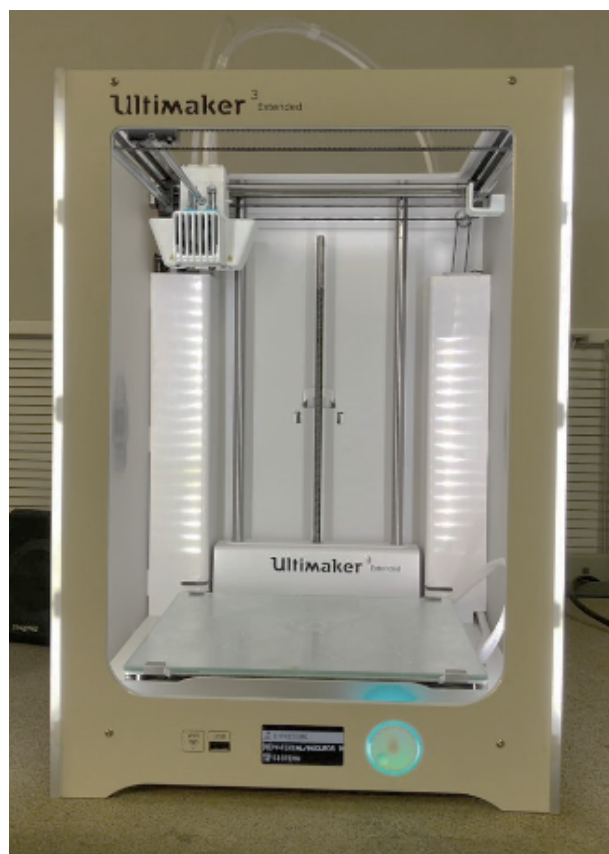


Figura 4.15: Impressora Ultimaker 3 Extended.





Figura 4.16: Peça incompleta (Eixo principal).

Para desobstruir o bico optou-se por aquecer a extrusora afim de superaquecer o filamento e liberar a saída, no entanto somente esta medida não foi suficiente, a extrusora teve der desmontada para que a remoção fosse feita manualmente.

Com os ajustes necessários realizados, iniciou-se novamente a impressão, desta vez com o suporte para realização da parte roscada da peça, o resultado obtido está na figura 4.17.

A diferença na qualidade das impressões é muito evidente, figura 4.18. Este resultado só foi obtido pela combinação de diversos parâmetros, como posicionamento da peça, velocidade de impressão, temperaturas adequadas para impressão, necessidade de um suporte, filamento e principalmente, a impressora.

Finalmente, a qualidade desejável para que a *Gripper* possa cumprir com eficiência suas funções foi alcançada. É evidente que a peça correspondente ao eixo principal possui uma qualidade muito superior a das outras peças, mas vale a pena lembrar que um dos propósitos deste trabalho é a redução de custos na fabricação dos componentes, logo, só se investiu mais em qualidade nas peças que realmente necessitavam.



Figura 4.17: Peça completa (Eixo principal).

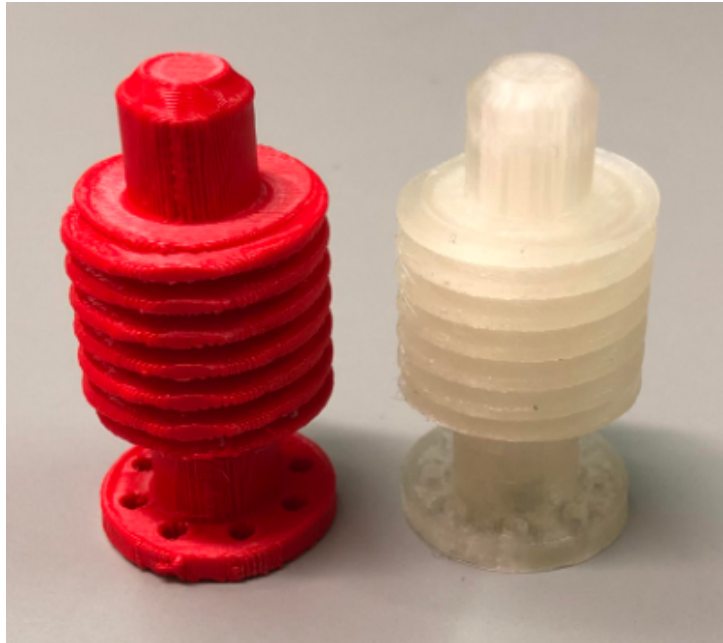


Figura 4.18: A mesma peça feita em impressoras diferentes (Eixo principal).

### 4.3 Servo motor

O servo motor utilizado no projeto base é um Dynamixel MX-28T, custo em torno de 200 a 300 euros, um servo forte, rápido e leve, e sua característica mais relevante para desenvolver a função que desejamos é o seu angulo de operação de  $360^\circ$ , sendo indispensável no projeto pelo fato de permitir o movimento completo dos dedos para prender objetos. Por isso, buscou-se uma alternativa *low cost* para um servo que também tivesse a capacidade de operar em  $360^\circ$ .

Geralmente, um servo que opera a  $180^\circ$  conta no seu interior com um dispositivo mecânico que funciona como limitador do ângulo de trabalho. Uma boa opção é fazer a remoção deste mecanismo em um servo que opere a  $180^\circ$  e que apresente as outras especificações dentro da faixa desejada. O servo TowerPro SG-5010 custa entre 5 e 20 euros e possui as características adequadas para compor o sistema. Na tabela 4.1 pode-se observar as especificações de ambos os servos.

Foram encontrados valores de velocidade para o servo SG-5010 unicamente na unidade  $s/60^\circ$ , devido ao fato deste servo não realizar a rotação completa em  $360^\circ$ , mas sim, em

<b>Especificações</b>	<b>Dynamixel</b>	<b>SG-5010</b>
Velocidade (rpm)	97	58
Torque máximo (N.m)	3,16	1,1
Dimensões (mm)	35,6x50,6x35,5	40,1x20,3x43,2
Peso (g)	72	38
Faixa de rotação	360°	180°

Tabela 4.1: Tabela de características dos servos.

apenas 180°. Afim de facilitar a compreensão da tabela 4.1 buscou-se uma conversão de unidades de medida de velocidade para rpm. O valor encontrado foi de 0,16s/60°, considerando agora a rotação livre a 360°, obtém-se o valor de 0,96s/360°, e ainda, ao transformar para rpm (multiplicando por 60) um valor próximo a 58 rotações por minutos foi obtida. Entretanto, é importante lembrar que este é um valor aproximado, pois devido a remoção do dispositivo limitador podem ter ocorrido variações neste valor, e além disso, o mesmo pode aumentar ou diminuir ao variar a tensão elétrica.

A caixa do servo motor TowerPro SG-5010 foi aberta por meio da remoção da tampa superior, na maior engrenagem no interior do mesmo havia um dispositivo limitador, o que o faz operar apenas em 180°, ao remover este mecanismo o servo pode operar normalmente a 360° como desejado. Após a adaptação, a tampa foi novamente fechada. Porém deve ser ressaltado que o servo não terá o seu controle de posicionamento como antes, sendo assim atuara apenas com velocidade para ambos os sentidos.

## 4.4 Montagem das peças

Após finalizar a impressão de todos os componentes e fazer os ajustes necessários para acoplar o servo motor e os locais para ligação e fixação, iniciou-se a fase de montagem da *Gripper*.

Para realizar o acoplamento de todos os componentes fabricados fez-se necessário o uso de alguns pinos para fixação, com dimensões listadas na tabela 4.2.

Por se tratarem de dimensões bastante específicas não foi possível encontrar os pinos prontos para aquisição em lojas do ramo, por isso foram fabricados também em uma

Pinos necessários (un)	Diâmetro (mm)	Espessura (mm)
2	4	10,5
2	4	14,5
2	4	26,5
2	4	30,5
2	6	26,8

Tabela 4.2: Tabela de pinos.

impressora 3D de modelo Fusion 3, com filamento em PLA. Já a barra parafusada, porcas e anilhas M3.5 foram facilmente encontradas para aquisição.

Os pinos são objetos de pequenas dimensões e com muitos detalhes, por isso a impressora foi programada para utilizar o maior preenchimento possível, 80%, desta forma a peça fabricada apresenta maior acabamento e resistência. Para não ocorrer desgaste das peças, os pinos foram levemente lixados, mas com muito cuidado para não danificar a superfície dos mesmos.

Depois da realização dos ajustes e acabamentos necessários, o conjunto de pinos fabricados pode ser visto na figura 4.19.

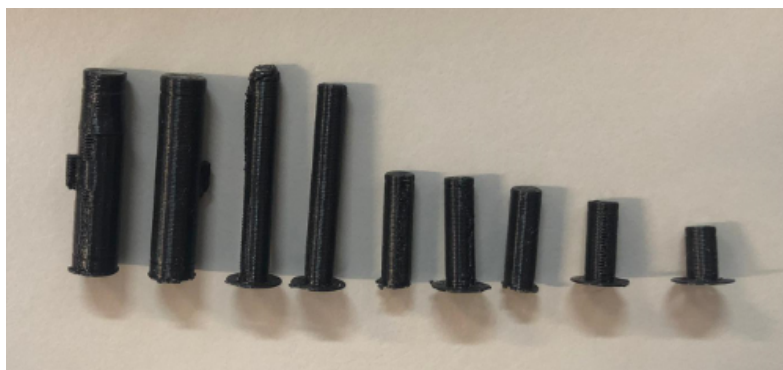


Figura 4.19: Pinos impressos em 3D para a *Gripper*.

Como já citado, o servo escolhido para este projeto foi diferente do utilizado no projeto base, os quais possuem dimensões diferentes. Desta forma foi necessário desenvolver um suporte, figura 4.20, para fixação do novo servo, de forma a garantir que o mesmo não irá se mover quando a *Gripper* estiver em funcionamento. Para fixação do suporte foram utilizados parafusos M2.5, que foram disponibilizadas no LCAR.

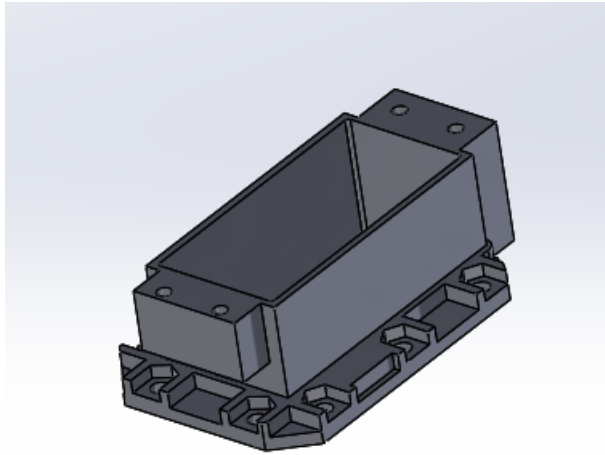


Figura 4.20: Suporte para o servo TowerPro SG-5010.

Então foi realizada a montagem de todas as peças, e o servo motor foi acoplado ao suporte e fixado na plataforma inferior. Com a barra parafusada juntou-se a base principal com os dedos previamente presos na plataforma. Na parte interior foram utilizadas anilhas e porcas na fixação, já na parte exterior fez-se uso de apenas porcas.

Feito o acoplamento de todos os componentes, verificou-se a fixação de todas as peças. A *Gripper* montada pode ser vista na figura 4.21. Depois disso, foram realizados testes de movimentação.

## 4.5 Funcionamento e eletrônica

Depois da *Gripper* montada foi desenvolvido um meio eletrônico para a mesma desempenhar suas designadas funções. O sistema é composto em 4 partes: o servo motor, uma placa de Arduino UNO, o SoftWare Arduino IDE e uma fonte de alimentação. A primeira parte, ou seja, o servo, é responsável pela componente mecânica: a execução do movimento em si. O SoftWare é responsável por gerir os dados recebidos de modo a transmitir para a placa as funções solicitadas por quem controla a *Gripper*. A placa de Arduino compõe o sistema de controlo, e por ultimo, a fonte de alimentação que faz o abastecimento de



Figura 4.21: *Gripper* atualizada montada.

energia para todo o sistema. Na figura 4.22 pode ser visto um fluxograma do sistema.

Fez-se uso da biblioteca do Arduino “Servo +” para manipulação do servo, e com o auxílio de um potenciômetro utilizado como divisor de tensão, foi encontrado os valores de Pulse Width Modulation (PWM) necessários para manter o servo em repouso, assim como os valores que o fazem rotacionar tanto em sentido horário bem como anti-horário, ou seja, abrir e fechar a garra. O objetivo de encontrar estes valores é que por meio deles é possível implementar ao circuito um sensor de limite de posição, que será responsável por delimitar a abertura da garra. Esse sensor funcionara da seguinte forma: Após o início do programa, a *Gripper* irá abrir até que toque no sensor de limitação, ao tocar neste sensor ela irá encontrar seu limite de abertura, e a partir desse ponto que irá fechar até que encontre o objeto que deve agarrar.

Um problema encontrado nos primeiros testes foi um nível de corrente com muito ruído e composto por grandes oscilações, dificultando a definição clara dos valores da mesma. Para resolver este empecilho foi utilizado um filtro passa-baixo, que consiste em um circuito eletrônico que permite a passagem de baixas frequências sem dificuldades e reduz a amplitude das frequências maiores que a frequência de corte, desta forma, também

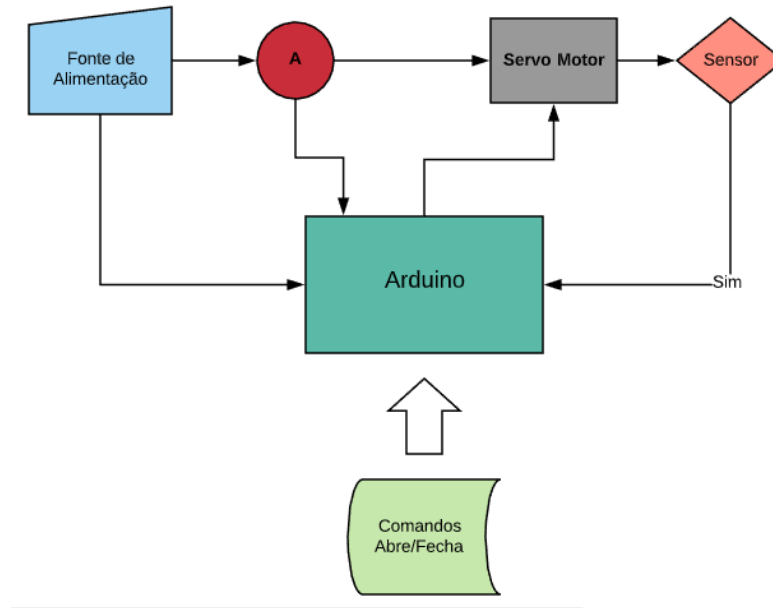


Figura 4.22: Fluxograma do sistema.

contando com o auxílio de um osciloscópio, a leitura dos valores da corrente foi facilitada. Na figura 4.23 pode-se ver a diferença da corrente 1 sem o filtro, linha superior, e corrente 2 com o filtro passa baixo, linha inferior.

Foram encontrados os valores padrões da corrente para todos os movimentos que serão solicitados a *Gripper*, tanto para o melhor quanto para o pior caso, ou seja, para quando a mesma se encontra livre, sem agarrar nenhum objeto, e para quando esta se encontra com carga máxima.

Possuindo os valores da abertura com a garra vazia, é possível calcular os valores da corrente para que ela possa parar o movimento no momento em que agarrar um objeto, para que a garra não quebre em esforços desnecessários. Quando a garra está a fechar livremente, ela tem valores médios de 450 a 530 mAh e após começar a tocar um objeto esta corrente aumenta, podendo chegar a 565 mAh no momento em que finaliza a ação de prender o objeto. Depois desse procedimento os dados foram inseridos na programação, de forma a controlar a corrente máxima de “pick”, ou seja, a ação de agarrar ou prender objetos, após esse valor ser atingido, o programa executará o comando *stop*, e finalizará o movimento.



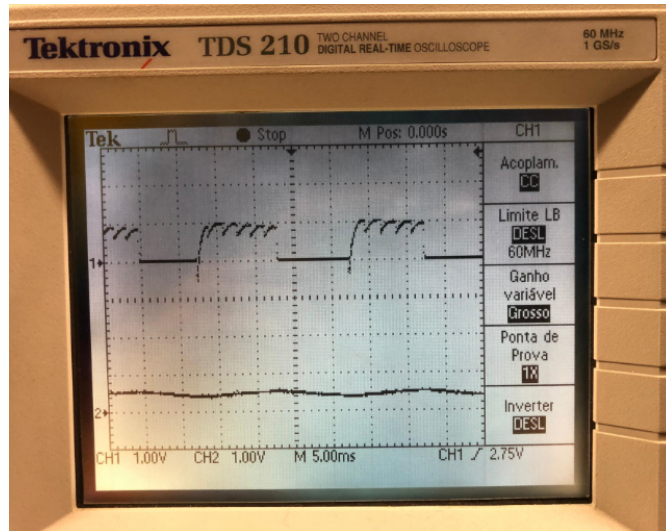


Figura 4.23: Valores de onda encontrados sem e com o filtro passa baixo.

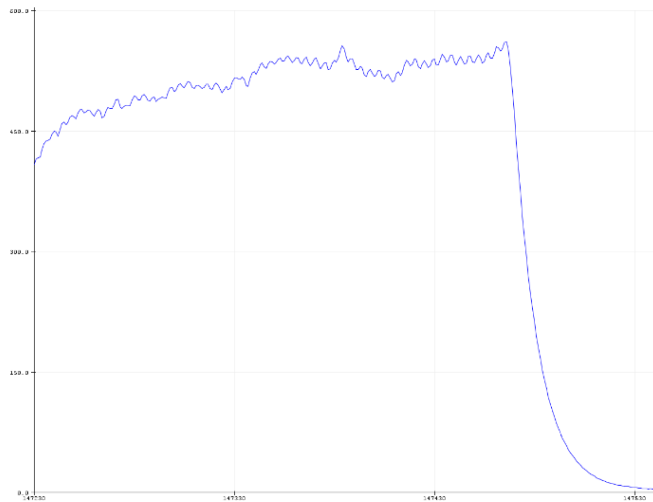


Figura 4.24: Gráfico esboçado na tela do software do Arduino.

Para melhor ilustração do procedimento ocorrido no servo e no Arduino, foi utilizado o plotter para conseguir uma ilustração gráfica. Na figura 4.24 apresenta o gráfico esboçado pelo Arduino e pode se ver que assim que o servo começa a fechar a corrente tende sempre aumentar periodicamente até 450 e 530 mAh, depois disso mantém-se constante até que a primeira falange toca o objeto e pode ser visto o primeiro pico de corrente, assim que o servo consegue perceber que ainda tem mais movimentação e consegue continuar o movimento com as segundas falange da garra. Logo a seguir tem se o segundo e maior pico, que é quando a segunda falange toca o objeto e a corrente chega ao valor máximo de 565 mAh e manda um *stop* para o sistema parando o movimento do servo fazendo com que ele pare com o objeto agarrado. Foi aproximado a parte do gráfico para melhor apresentação dos picos apresentados anteriormente assim como pode ser visto na figura 4.25.

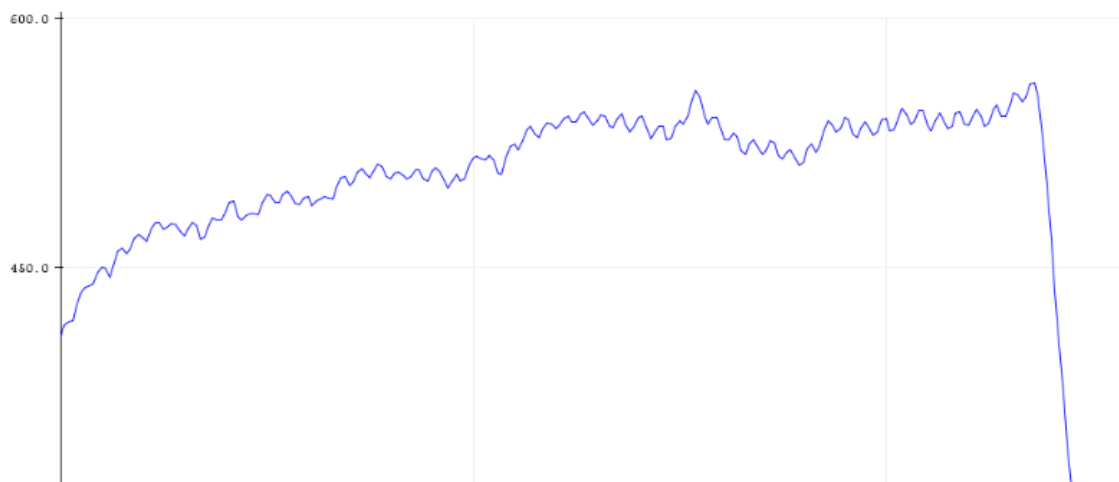


Figura 4.25: Picos aproximados do gráfico.

Depois de serem efetuados todos esses cálculos para que fosse possível o procedimento, foi desenhado um esquema elétrico com a ajuda do TinkerCAD que é um programa online gratuito, para que fosse possível mostrar com mais clareza como foi feito a parte elétrica do sistema. Na figura 4.26 a imagem do sistema utilizado. No anexo A pode ser encontrado o código utilizado no Arduino.

Com o sistema elétrico calculado e já acoplado na *Gripper* foram realizados alguns

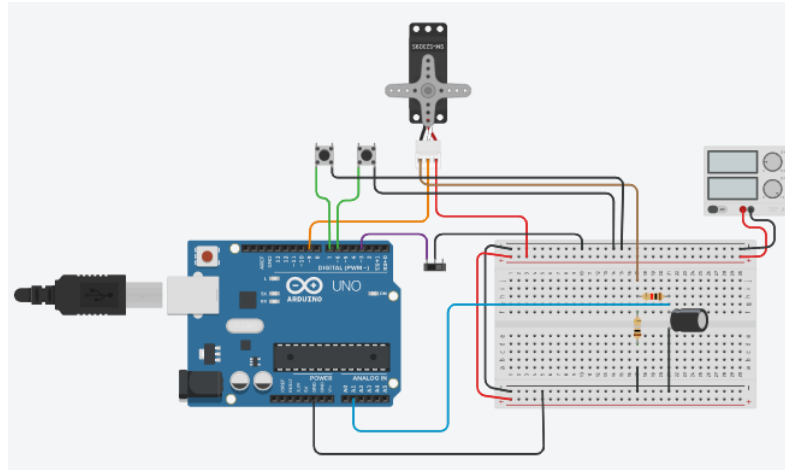


Figura 4.26: Esquema elétrico do projeto.

testes para confirmar a capacidade de agarrar objetos. A figura 4.27 representa os movimentos principais realizados pela mesma, onde inicialmente esta em repouso, depois quando acionada vai fechando as garras em torno do objeto, até que apenas as primeiras falanges tocam o objeto e aciona a movimentação das falanges distais até tocarem na superfície do objeto, então o sensor emite um sinal que finaliza o movimento.

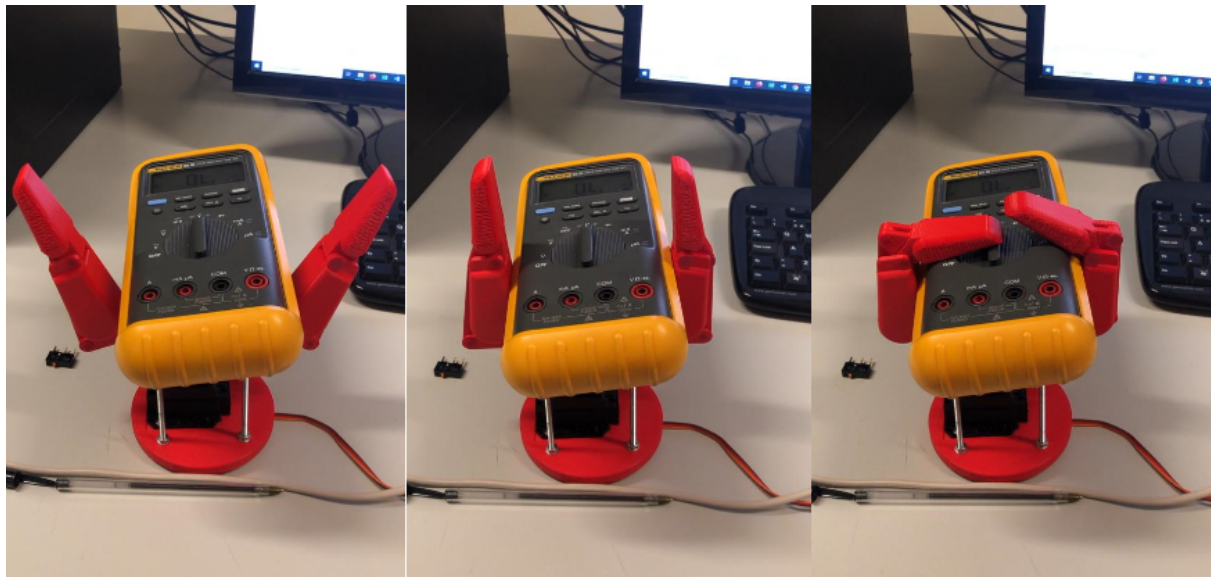


Figura 4.27: Movimentação da *Gripper*.

## 4.6 Custos do projeto

Para mensurar o custo final do projeto, e ter efetivamente a comprovação da condição *low cost* que buscou-se desde as ideias iniciais deste trabalho, foi elaborado um orçamento que representa os custos para fabricação da *Gripper* em questão.

Tomando como base lojas do ramo no Distrito de Bragança para os parafusos, porcas e materiais mais simples, e para materiais mais específicos, como o servo motor e filamentos, foram utilizados sites da internet como "Botnroll", "Utopica3D" entre outros para realização dos orçamentos necessários. Para o preço final das peças foram contabilizados o preço do filamento e tempo de fabricação.

O custo cotado para o projeto leva em consideração apenas equipamentos da *Gripper*, já os circuitos eletrônicos, como Arduino, interruptores entre outros não são listados. O orçamento dos materiais e componentes para a *Gripper* estão na tabela 4.3.

O projeto usado como base, teve um orçamento final de aproximadamente 328 dólares, equivalente a 298 euros. Através de todos os redimensionamentos e adaptações realizados nesse trabalho foi possível diminuir estes custos para 18,21 €, redução de cerca de 93%. A maior parcela de redução de custos foi obtida através da substituição do servo motor.

Itens	Material	Quantidades	Custo Total (€)
Ligação com engrenagem	Impresso 3D	2	0,18
Base	Impresso 3D	1	2,2
Ligação dos dedos	Impresso 3D	2	0,18
Primeira falange	Impresso 3D	2	1,36
Segunda falange	Impresso 3D	2	1,36
Barra parafusada M3.5	Metal	4	0,25
Porcas M3.5	Metal	16	0,32
Anilhas	Metal	4	0,08
Engrenagem	Impresso 3D	2	0,18
Eixo principal	Impresso 3D	1	0,35
Plataforma	Impresso 3D	1	1,4
Servo motor TowerPro SG-5010	Robótico	1	8
Pino da Engrenagem	Impresso 3D	2	0,15
Pino da primeira falange	Impresso 3D	2	0,1
Pino das ligações	Impresso 3D	2	0,1
Pino da ligação e segunda falange	Impresso 3D	2	0,1
Pino das duas falanges	Impresso 3D	2	0,1
Parafuso M2.5	Metal	10	0,5
Porcas M2.5	Metal	10	0,2
Molas	Metal	2	0,3
Suporte do servo	Impresso 3D	1	0,8
<b>Custo total da <i>Gripper</i></b>			<b>18,21 €</b>

Tabela 4.3: Tabela de custos da *Gripper*.

# Capítulo 5

## Conclusões e Trabalhos Futuros

Nesta dissertação de mestrado foram realizados o dimensionamento, a fabricação e a programação de uma *Gripper* de dois dedos, buscando sempre materiais acessíveis e *low cost*.

Efetivamente, o material com maior resistência encontrada para a fabricação dos componentes em 3D foi o PC, entretanto o mesmo não satisfaz a condição *low cost*. Outras opções encontradas foram o ABS e o PLA. Ambos apresentam custos similares. O ABS apresenta resistência ao impacto superior, no entanto, exige uma impressora com mesa aquecida e menor variação de temperatura durante a impressão da peça, ou seja, requer alguns cuidados para que se obtenha uma impressão de qualidade. Já o PLA apresenta como principal vantagem a simplicidade no processo de impressão, entretanto, apresenta resistência a tração ligeiramente inferior.

Ao utilizar o filamento ABS em peças com grandes áreas, observou-se mal união das camadas entre o final da parte inferior e o início da superior. Pode-se justificar devido a parte inferior da peça esfriar antes de se começar a fabricar a parte superior, pois a impressora apresentava problemas quanto a conservação da temperatura no seu interior.

A única peça que mostrou qualidade satisfatória ao ser fabricada com ABS foi uma peça de tamanho médio, em que os detalhes não eram tão pequenos ou que exigissem elevada qualidade da impressora. Os problemas encontrados nas fabricações com ABS, em geral podem estar associadas a questões de tamanho (peças muito grandes ou muito

pequenas) e de detalhes presentes na engrenagem, que apesar de simples, como os dentes, eram muito pequenos.

Também verificou-se que ao realizar as impressões de eixos com as peças na posição vertical melhores resultados foram obtidos, pode ser justificado pelo fato de que nesta posição há menor superfície de contato com a base da impressora.

Em geral, melhores resultados são obtidos pela combinação de diversos parâmetros, como posicionamento da peça, velocidade de impressão, temperaturas adequadas para impressão, necessidade de um suporte, filamento e principalmente, a impressora.

E finalmente, conclui-se que é possível a fabricação de uma *Gripper Low Cost* através de uma impressora 3D. Após realizar uma série de redimensionamentos e adaptações, foi possível diminuir os custos finais do projeto para 18,21 €, os quais comparados ao projeto base mostraram-se cerca de 93% menores. A maior parcela de redução de custos foi obtida através da substituição do servo motor.

Para trabalhos futuros, sugere-se a pesquisa por novos materiais para a fabricação em 3D e testes com outros tipos de sensores, afim de aprimorar o movimento da mesma.

Além disso, a garra pode ser acoplada a um robô ou braço robótico afim de promover a utilização em ramo industrial.

# Bibliografia

- [1] K. Telegenov, Y. Tlegenov e A. Shintemirov, «A low-cost open-source 3-d-printed three-finger gripper platform for research and educational purposes», *IEEE access*, vol. 3, pp. 638–647, 2015.
- [2] A. L. C. Ottoni, «Introdução à robótica», *Material de estudo. I ORCV Olimpíadas de Robótica do Campo das Vertentes, Universidade Federal de São João del Rey*, 2010.
- [3] *Introdução a Automação*, abr. de 2013. URL: <https://pt.slideshare.net/MerciaReginaS/introduo-a-automao> (acedido em 29/08/2019).
- [4] *COMO FUNCIONA A AUTOMAÇÃO NO BRASIL – PARTE I*, fev. de 2019. URL: <https://clubedotrade.com.br/> (acedido em 15/11/2019).
- [5] V. Carrara, *Introdução à robótica industrial*. out. de 2015.
- [6] R. Alice–EPFL e S. Wheellessley–MIT, «O que é um robot?»,
- [7] *COMO FUNCIONA A AUTOMAÇÃO NO BRASIL – PARTE I*, mai. de 2016. URL: <https://olhardigital.com.br/noticia/conheca-eric-um-dos-primeiros-robos-humanoides-da-historia/58202> (acedido em 20/11/2019).
- [8] *Robótica*, jul. de 2013. URL: <https://roboinfoo.wordpress.com/> (acedido em 20/11/2019).
- [9] B. León, A. Morales e J. Sancho-Bru, *From robot to human grasping simulation*. Springer, 2014.



- [10] «Grasping In Nature And In Robotics: A Parallel Logical Concept», em *IEEE International Workshop on Intelligent Robots*, out. de 1988, pp. 37–45. DOI: 10.1109/IRROS.1988.592400.
- [11] P. Dario, M. C. Carrozza, E. Guglielmelli, C. Laschi, A. Menciassi, S. Micera e F. Vecchi, «Robotics as a future and emerging technology: biomimetics, cybernetics, and neuro-robotics in European projects», *IEEE Robotics Automation Magazine*, vol. 12, n.º 2, pp. 29–45, jun. de 2005. DOI: 10.1109/MRA.2005.1458320.
- [12] G. J. Monkman, S. Hesse, R. Steinmann e H. Schunk, *Robot grippers*. John Wiley & Sons, 2007.
- [13] E. M. L. D. Sousa, «Projeto de um gripper sub-atuado com aplicações em locomoção robótica», 2016.
- [14] *Robótica*, jan. de 2002. URL: [http://orion.ipt.pt/~cferreir/robotica/Robotica-ALL\(PB\).pdf](http://orion.ipt.pt/~cferreir/robotica/Robotica-ALL(PB).pdf) (acedido em 17/04/2019).
- [15] H. Gultekin, Ö. O. Dalgıç e M. S. Akturk, «Pure cycles in two-machine dual-gripper robotic cells», *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 48, pp. 121–131, 2017, ISSN: 0736-5845. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2017.03.004>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0736584516302137>.
- [16] M. F. Orlando, A. Dutta, A. Saxena, L. Behera, T. Tamei e T. Shibata, «Manipulability analysis of human thumb, index and middle fingers in cooperative 3D rotational movements of a small object», *Robotica*, vol. 31, n.º 5, pp. 797–809, 2013. DOI: 10.1017/S0263574713000064.
- [17] J. Lenarčič, T. Bajd e M. M. Stanišić, «Robot Grasp», em *Robot Mechanisms*, Springer, 2013, pp. 291–311.
- [18] *7 tipos de garras de robôs e seus usos na indústria*, abr. de 2018. URL: <https://www.ennomotive.com/es/garras-de-robot-industria/> (acedido em 22/10/2019).

- [19] *Garra robótica feita com balão cheio de café pega qualquer coisa*, out. de 2010. URL: <https://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/industrial-robots/universal-jamming-gripper> (acedido em 10/11/2019).
- [20] T. Woodson, J. T. Alcantara e M. S. do Nascimento, «Is 3D printing an inclusive innovation?: An examination of 3D printing in Brazil», *Technovation*, vol. 80-81, pp. 54–62, 2019, ISSN: 0166-4972. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2018.12.001>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166497217302420>.
- [21] H. Lipson e M. Kurman, *Fabricated: The new world of 3D printing*. John Wiley & Sons, 2013.
- [22] C. Beyer, «Strategic implications of current trends in additive manufacturing», *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, vol. 136, n.º 6, p. 064 701, 2014.
- [23] M. Gebler, A. J. S. Uiterkamp e C. Visser, «A global sustainability perspective on 3D printing technologies», *Energy Policy*, vol. 74, pp. 158–167, 2014.
- [24] O. Diegel, S. Singamneni, S. Reay e A. Withell, «Tools for sustainable product design: additive manufacturing», 2010.
- [25] *Brinquedos, carros e casas impressos em 3D*, abr. de 2013. URL: <https://oglobo.globo.com/economia/brinquedos-carros-casas-impressos-em-3d-8049027> (acedido em 17/04/2019).
- [26] C. M. P. Pinheiro, G. E. Mota, C. Steinhaus e M. de Souza, «Impressoras 3D: uma mudança na dinâmica do consumo», *Signos do Consumo*, vol. 10, n.º 1, pp. 15–22, 2018.
- [27] C. Anderson, «Makers: a nova revolução industrial», *Tradução de: SERRA, ACC Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.*

- [28] G. K. Eleftheriadis, C. Ritzoulis, N. Bouropoulos, D. Tzetzis, D. A. Andreadis, J. Boetker, J. Rantanen e D. G. Fatouros, «Unidirectional drug release from 3D printed mucoadhesive buccal films using FDM technology: In vitro and ex vivo evaluation», *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, vol. 144, pp. 180–192, 2019, ISSN: 0939-6411. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejpb.2019.09.018>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0939641119304163>.
- [29] G. D. Goh, Y. L. Yap, S. Agarwala e W. Y. Yeong, «Recent progress in additive manufacturing of fiber reinforced polymer composite», *Advanced Materials Technologies*, vol. 4, n.º 1, p. 1 800 271, 2019.
- [30] Z. Quan, A. Wu, M. Keefe, X. Qin, J. Yu, J. Suhr, J.-H. Byun, B.-S. Kim e T.-W. Chou, «Additive manufacturing of multi-directional preforms for composites: opportunities and challenges», *Materials Today*, vol. 18, n.º 9, pp. 503–512, 2015.
- [31] P. Parandoush e D. Lin, «A review on additive manufacturing of polymer-fiber composites», *Composite Structures*, vol. 182, pp. 36–53, 2017.
- [32] B. Brenken, E. Barocio, A. Favaloro, V. Kunc e R. B. Pipes, «Fused filament fabrication of fiber-reinforced polymers: A review», *Additive Manufacturing*, vol. 21, pp. 1–16, 2018.
- [33] J. Kiendl e C. Gao, «Controlling toughness and strength of FDM 3D-printed PLA components through the raster layup», *Composites Part B: Engineering*, vol. 180, p. 107 562, 2020, ISSN: 1359-8368. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.107562>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359836819318529>.
- [34] *Filamentos para Impressora 3D*, abr. de 2019. URL: <https://all3dp.com/pt/1/filamento-imprensa-3d-comparacao-melhor-tipo/> (acedido em 27/06/2019).

- [35] *Arduíno UNO Rev3*, nov. de 2019. URL: <https://www.arduino.cc/> (acedido em 23/11/2019).
- [36] L. Louis e A. Kumar, «Implementation of closed loop based scan mechanism», em *2015 Communication, Control and Intelligent Systems (CCIS)*, IEEE, 2015, pp. 309–313.
- [37] A. Ruiz-Olaya e C. Lara-Herrera, «Enhancing e-accessibility of disabled people using low-cost technology», em *2016 8th Euro American Conference on Telematics and Information Systems (EATIS)*, IEEE, 2016, pp. 1–5.
- [38] A. J. Calderón, I. González, M. Calderón, F. Segura e J. M. Andújar, «A New, Scalable and Low Cost Multi-Channel Monitoring System for Polymer Electrolyte Fuel Cells», *Sensors*, vol. 16, n.º 3, 2016, ISSN: 1424-8220. DOI: 10.3390/s16030349. URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/16/3/349>.
- [39] J.-F. Duval e H. M. Herr, «FlexSEA: flexible, scalable electronics architecture for wearable robotic applications», em *2016 6th IEEE International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics (BioRob)*, IEEE, 2016, pp. 1236–1241.
- [40] Y. A. Badamasi, «The working principle of an Arduino», em *2014 11th International Conference on Electronics, Computer and Computation (ICECCO)*, set. de 2014, pp. 1–4. DOI: 10.1109/ICECCO.2014.6997578.
- [41] K. Rao, K. Srijana, D. Prasad e K. Chandrasekaran, «Ubiquitous greenhouse monitoring system», em *2015 International Conference on Emerging Research in Electronics, Computer Science and Technology (ICERECT)*, IEEE, 2015, pp. 335–339.
- [42] C. Reas e B. Fry, *Processing: a programming handbook for visual designers and artists*. Mit Press, 2007.
- [43] P. Martín-Ramos, M. J. Lopes, M. M. L. da Silva, P. E. Gomes, P. S. P. da Silva, J. P. Domingues e M. R. Silva, «Reprint of ‘First exposure to Arduino through peer-coaching: Impact on students’ attitudes towards programming’», *Computers in Human Behavior*, vol. 80, pp. 420–427, 2018.

- [44] S. Ahmed, M. A. Zubair e I. B. Shaik, «Accelerometer based wireless air mouse using Arduino micro-controller board», em *2015 Global Conference on Communication Technologies (GCCT)*, IEEE, 2015, pp. 348–350.

# Apêndice A

## Código utilizado no Arduino

```
#include <Servo.h>

const int MAXFORCE = 565;
Servo myservo; // create servo object to control a servo
int potpin = 0; // analog pin used to connect the potentiometer
int val; // variable to read the value from the analog pin
float Corrente;

int stopMov = 0;

void setup() {
  pinMode(3, INPUT_PULLUP);
  pinMode(6, INPUT_PULLUP);
  pinMode(7, INPUT_PULLUP);
  myservo.attach(9); // attaches the servo on pin 9 to the servo object
  analogReference(INTERNAL);
  Serial.begin(9600);
  while (digitalRead(3)) //até interruptor de abertura completa
  { myservo.write(80); //abre
  }
  myservo.write(69); // para
}
```

```

void loop() {
int mov;
mov= 69;
float q;
q = 0.92;
Corrente = q * Corrente + (1-q) * analogRead(A1); //filtro passa baixo digital para
o software
Serial.println(Corrente);
if (!digitalRead(6)) {
stopMov = 0;
mov = 85; }
if (!digitalRead(7)) {
if (!stopMov)
mov = 50; }
if (Corrente > MAXFORCE)
stopMov = 1;
myservo.write(mov);
delay(15);
}

```