

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO**

**GARRA ROBÓTICA DE BAIXO CUSTO COM JUNTAS
FLEXÍVEIS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Carolina Rutili de Lima

Santa Maria, RS, Brasil

2017

GARRA ROBÓTICA DE BAIXO CUSTO COM JUNTAS FLEXÍVEIS

Por

Carolina Rutili de Lima

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Bacharel em Engenharia de Controle e Automação**

Orientador: Prof. Rodrigo da Silva Guerra

Santa Maria, RS, Brasil

2017

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Curso de Engenharia de Controle e Automação**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova o Trabalho de Conclusão de Curso

**GARRA ROBÓTICA DE BAIXO CUSTO COM
JUNTAS FLEXÍVEIS**

elaborada por
Carolina Rutili de Lima

como requisito parcial para obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia de Controle e Automação

COMISSÃO EXAMINADORA:

Rodrigo da Silva Guerra, Dr. Eng. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Daniel Fernando Tello Gamarra, Dr. Eng. (UFSM)

Leonel Pablo Tedesco, Dr. Eng. (UNISC)

Santa Maria, 17 de janeiro de 2017

RESUMO

Trabalho de Conclusão de Curso
Engenharia de Controle e Automação
Universidade Federal de Santa Maria

GARRA ROBÓTICA DE BAIXO CUSTO COM JUNTAS FLEXÍVEIS

AUTORA: Carolina Rutili de Lima

ORIENTADOR: Rodrigo da Silva Guerra

DATA E LOCAL DA DEFESA: Santa Maria, 19 de janeiro de 2017

Este trabalho relata o projeto de uma garra com juntas de material flexível, com um sensor que retorna valores de flexão dos dedos de acordo com a variação da resistência. A neurociência tem demonstrado há muito tempo a importância do feedback tátil na manipulação humana (KAPPASSOV; CORRALES; PERDEREAU, 2015). Pessoas com dedos anestesiados são incapazes de manter um aperto estável, e crianças com o tato deficiente têm dificuldades em realizar tarefas de manipulação. Sensores táteis fornecem aos robôs informações sobre o contato físico, assim robôs autônomos podem operar em ambientes não estruturados e manipular objetos desconhecidos. Além disso, a disponibilidade de informações sensoriais para o robô garante sua operação segura em aplicações diretas com a interação humano-robô (KAPPASSOV; CORRALES; PERDEREAU, 2015). Os objetivos específicos deste trabalho são projetar, desenvolver e testar um protótipo de garra robótica capaz de: (i) se fechar de modo adaptativo em torno de um objeto de forma não específica; (ii) regular a quantidade de flexão nos dedos que é exercida no objeto, permitindo assim a manipulação de objetos frágeis; (iii) ser montada no braço do robô Dimitri da UFSM.

Palavras chaves: Garra, CAD, Robótica, Sensor Flexível.

ABSTRACT

Bachelor Thesis Project
Bachelor of Control and Automation Engineering
Universidade Federal de Santa Maria

AFFORDABLE ROBOTIC GRIPPER WITH TACTILE RETURN

AUTHOR: Carolina Rutili de Lima
ADVISER: Rodrigo da Silva Guerra
DEFENSE PLACE AND DATE: Santa Maria, 19th of January, 2017

This project describes the design of a flexible gripper with a sensor that relates pressure to a change in resistance. Neuroscience has been showing the importance of tactile feedback in human manipulation (KAPPASSOV; CORRALES; PERDEREAU, 2015). People with anaesthetized fingers can not keep a stable grip, and children with deficient touch have difficulties with manipulation tasks. Tactile sensors provide sensory information to robots about the physical contact, so that autonomous robots are able to operate in different environments and handle unknown objects. Moreover, the availability of tactile feedback allows robots to operate more safely among humans – robot interaction. The specific objectives of this work are to design, develop and test a gripper robotic prototype that is able to: (i) close with compliance adapting itself around of different shapes, holding fragile objects; (ii) regulate the flexion of the fingers that is exerted on an object; (iii) have suitable size and mounting design compatible for installing it on the arm of the humanoid robot Dimitri, from UFSM.

Keywords: gripper, CAD, robotic, flexible sensor.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Dedo de cartolina construído pela Universidade de Lava	11
Figura 2 - Primeira garra MARS	12
Figura 3 - Garra de Zimatos, et al (2014)	16
Figura 4 - Garra Fuster e Christensen (2015)	17
Figura 5 - Braço manipulador Özgür e Akn (2013)	18
Figura 6 - Placa para controle e motores	18
Figura 7 - Módulo para diferentes configurações.....	19
Figura 8 - Topologia dos dados	20
Figura 9 - Moldes para os dedos.....	21
Figura 10 - Garra versátil de Seguna e Saliba (2001).....	21
Figura 11 - Garra de compressão.....	22
Figura 12 - Interface SolidWorks®	27
Figura 13 - Impressora 3D utilizada no trabalho	28
Figura 14 - PLA utilizado na impressão	29
Figura 15 - Material de filamento flexível	30
Figura 16 - Materiais utilizados	31
Figura 17 - Servo motor RX-28.....	33
Figura 18 - Sensor flexível	34
Figura 19 - Circuito elétrico básico sensor flex.....	35
Figura 20 - Placa Arduino e alguns componentes	35
Figura 21 - Licença livre	37
Figura 22 - Peças/partes da garra.....	38
Figura 23 - Partes fabricadas	39
Figura 24 - Ligação RS-485	40
Figura 25 - Funcionamento para troca de pacotes.....	40
Figura 26 - Conexão sensor e Arduino	41
Figura 27 - Interface para configurar os parâmetros do motor.....	41
Figura 28 - Local de utilização do durepoxi.....	42
Figura 29 - Fita para aderência	42
Figura 30 - Montagem dos dedos na base superior	43
Figura 31 - Garra completa.....	43

Figura 32 - Objetos para teste da garra.....	44
Figura 33 - Manipulação vertical.....	45
Figura 34 - Manipulação na horizontal 1.....	46
Figura 35 - Manipulação na horizontal 2.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Vantagens e desvantagens dos sensores.....	24
Tabela 2 - Dados do motor.	33
Tabela 3 - Materiais utilizados x custo.....	48
Tabela 4 - Cronograma do projeto.....	49

LISTA DE ABREVIACOES

CAD	Desenho Assistido por Computador
CAE	Engenharia Assistida Por Computador
PTFE	Politetrafluoretileno
FSR	Sensor de Forçar de Resistores
PTF	Polímero com Película Fina
PLA	cido Polilático

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	11
1.1 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA	11
1.2 CONTEXTUALIZAÇÃO	12
1.3 OBJETIVOS	13
CAPÍTULO 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 TECNOLOGIA PARA DESENVOLVIMENTO DE GARRAS [DE BAIXO CUSTO] E MANIPULAÇÃO DE OBJETOS COM DIFERENTES FORMATOS	15
2.2 USO DE SENSOR DE FLEXÃO PARA CONTROLE DE MÃO ROBÓTICA	22
2.3 PARAMÊTROS DEFINIDOS	24
CAPÍTULO 3 METODOLOGIA E MATERIAIS UTILIZADOS	26
3.1 PROBLEMATIZAÇÃO	26
3.2 MODELAGEM, FABRICAÇÃO E MONTAGEM DA GARRA	26
3.2.1 Software de desenho em CAD	26
3.2.2 Impressora 3D	27
3.2.3 Material para impressão	28
3.2.4 Materiais para a montagem da garra	30
3.3 INSTRUMENTAÇÃO E CONTROLE	32
3.3.1 Servo Motor	32
3.3.2 Sensor de flexão	34
3.3.3 Arduino	35
3.3.4 Python	36
CAPÍTULO 4 DESENVOLVIMENTO E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	37
4.1 MODELAGEM	37
4.2 FABRICAÇÃO	39
4.3 CONTROLE DA GARRA	39
4.4 MONTAGEM COMPLETA DA GARRA	42
4.5 TESTES	44
4.6 CUSTOS DE PRODUÇÃO	47
CAPÍTULO 5 CRONOGRAMA	49
CONCLUSÃO	50
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51

APÊNDICE A	52
APÊNDICE B	53

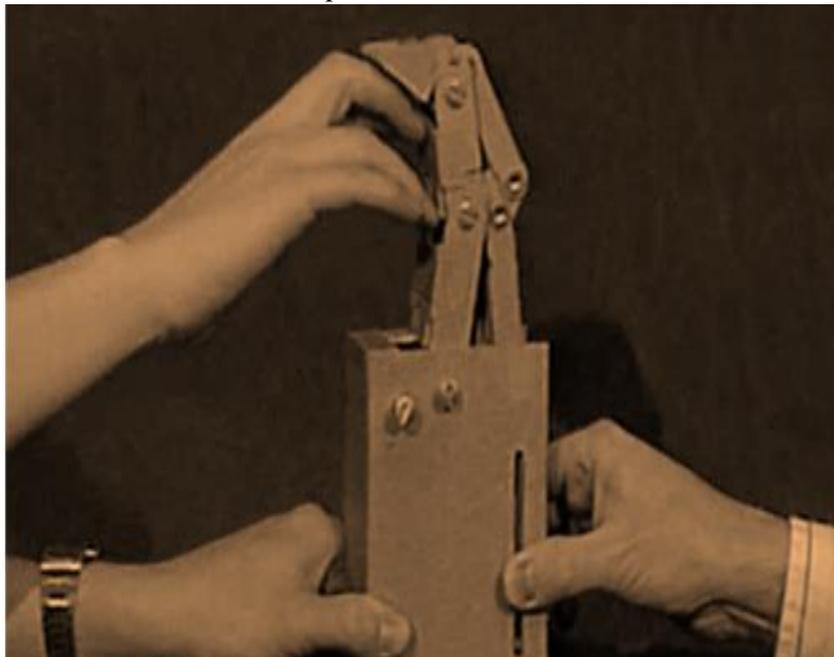
INTRODUÇÃO

1.1 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

No ser humano, as mãos são uma das partes do corpo essenciais para a interação com o ambiente. Assim, como as mãos são os membros manipuladores dos seres humanos, as garras, para os robôs, são as ferramentas para o contato com o ambiente.

Neste contexto, os primeiros sistemas de manipulação robótica começaram com um simples dedo de cartolina, Figura 1, que era capaz de se adaptar sozinho à diferentes situações. Em outras palavras, dependendo onde o ponto de pressão era aplicado, o dedo reagia diferentemente. Baseado em um dedo humano, o dedo de cartolina foi desenvolvido pela Universidade de Lava. (BARRETETTE, 2015)

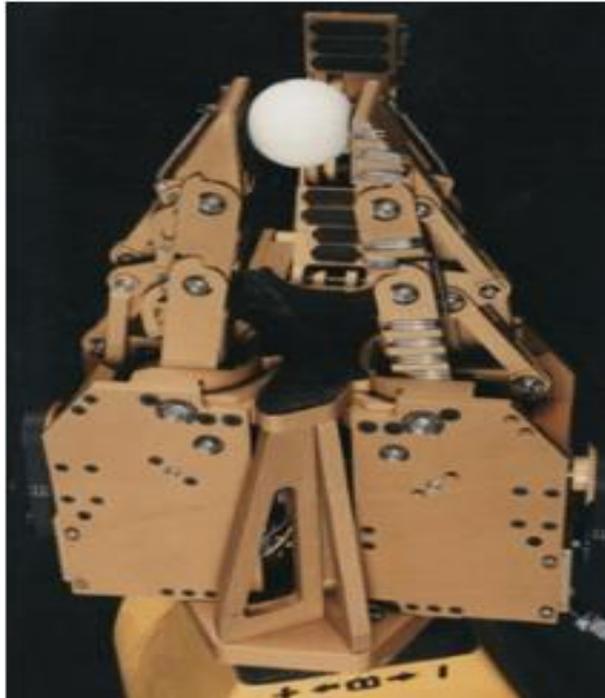
Figura 1 - Dedo de cartolina construído pela Universidade de Lava



Fonte: (BARRETETTE, 2015).

Entretanto, a primeira garra foi fabricada alguns anos depois. Chamada MARS (Main Articulé Robuste Sous-actionnée), Figura 2, a garra era de grande tamanho se comparada com uma mão humana. Foi desenvolvida para ser totalmente adaptável e tinha 3 dedos independentes. Deste modo, ela tinha capacidade de apreender diferentes tipos de objetos. Foi fabricada com poucos materiais de qualidade, sendo assim, não estava madura o suficiente para ser usada em alguma aplicação real, apenas para prova de conceito.

Figura 2 - Primeira garra MARS



Fonte: (BARRETETTE, 2015).

Ultimamente as garras vem ganhando espaço em mais áreas de aplicação, tanto dentro da medicina/biologia (na parte de próteses e até para realização de cirurgias assistidas), como na parte industrial, onde seres humanos correm risco de vida. A partir disso, é essencial que estas garras tenham uma manipulação inteligente e características como peso leve e capacidade de agarrar vários tipos de objetos.

1.2 CONTEXTUALIZAÇÃO

A manipulação de objetos é um problema intensamente estudado na robótica. As garras robóticas tradicionais e as ventosas são as alternativas comumente empregadas em robôs, tanto na indústria como na pesquisa, devido à sua baixa complexidade e relativo baixo custo (ZISIMATOS; et al, 2014). Entretanto, as garras tradicionais permitem apenas a manipulação de objetos com características muito específicas quanto aos seus tipos de materiais e formas geométricas.

Além disso, segundo os autores Z. Kappasov, J. A. Corrales e V. Perdereau (2015), o sensor tátil é um elemento essencial na manipulação de uma mão robótica. Ele fornece informações sobre as forças de interação e de propriedades da superfície entre os dedos do robô e os objetos. Os recentes avanços na detecção tátil de um robô levaram ao desenvolvimento de muitas técnicas computacionais que exploram este canal sensorial importante.

Desta maneira, os pesquisadores buscam compreender e se inspirar na versátil e habilidosa mão humana. Com o desenvolvimento da tecnologia de materiais com maior resistência e flexibilidade, criação de diferentes sensores de força e flexão e disponibilização de motores de menor tamanho e maior precisão, as garras passaram a desempenhar funções que anteriormente nem eram cogitadas.

A manipulação de objetos de uma mão robótica, é uma das principais habilidades desejadas de robôs industriais e sociais. O desenvolvimento de sistemas robóticos hábeis é um processo complexo e de natureza interdisciplinar envolvendo diversos campos de pesquisa como: visão computacional, controle de força, planejamento de movimento, fusão de sensores, processamento de sinal digital, interação homem-robô, aprendizagem e detecção táctil.

Durante as últimas décadas, robôs industriais substituíram seres humanos em tarefas de produção pesada, repetitivas e/ou inseguras. As indústrias de automóveis, eletrônicos e aeroespacial, por exemplo, têm utilizado robôs manipuladores pré-programados equipados com pinças de dois dedos simples em linhas de produção em grande escala. No entanto, as exigências de fabricação atuais ditam a necessidade de menor volume de produtos, mais customizáveis e variáveis, exigindo robôs com maior adaptabilidade, fácil reconfiguração em *software* e *hardware*, mais flexibilidade e mais capacidades de manipulação. Mãos habilidosas são essenciais nos robôs sociais e serviços de nova geração que podem substituir seres humanos em rotinas diárias, e fornecer assistência a idosos e deficientes.

1.3 OBJETIVOS

Este trabalho tem por objetivo o desenvolvimento de uma mão robótica com dedos que possuem juntas de material flexível e sensor para manipulação adaptativa de objetos com diversas formas e regulação da pressão evitando danos a objetos frágeis.

Os objetivos específicos deste trabalho são projetar, desenvolver e testar um protótipo de garra robótica capaz de:

1. Se fechar de modo adaptativo em torno de um objeto de forma não específica;
2. Regular a quantidade de flexão nos dedos que é exercida no objeto, permitindo assim a manipulação de objetos frágeis;
3. Ser montada no braço do robô Dimitri da UFSM.

Este trabalho está organizado da seguinte forma: 1) No Capítulo 1 será apresentado como este trabalho se relaciona com diferentes autores e artigos já publicados; 2) Capítulo 2 contém todos os equipamentos, ferramentas e softwares utilizados para a realização dessa pesquisa; 3) No Capítulo 3 constam os resultados obtidos a partir do material e métodos utilizados; 4) O Capítulo 4 é onde se descreve as atividades e tempos de realização de cada parte do projeto; e o 5) Por fim Capítulo 5 retoma os principais pontos e conclui o documento especulando possíveis trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será abordado como este trabalho se relaciona com diferentes artigos e livros contextualizando o que já existe e o que vem sendo feito. Desde modo, dividiu-se em três seções, sendo respectivamente:

- 1) Seção 2.1 aborda sobre garras desenvolvidas de baixo custo e sistemas de manipulação para objetos de dimensões variadas;
- 2) Seção 2.2 traz a importância do uso de um sensor tátil e os tipos mais empregados na robótica a partir do artigo Z. Kappasov, J. A. Corrales e V. Perdereau (2015);
- 3) Seção 2.3 destaca os tópicos mais relevantes a este trabalho, obtidos a partir da revisão bibliográfica.

2.1 TECNOLOGIA PARA DESENVOLVIMENTO DE GARRAS [DE BAIXO CUSTO] E MANIPULAÇÃO DE OBJETOS COM DIFERENTES FORMATOS

Nesta seção são revisados artigos e trabalhos internacionais. Estes projetos são relacionados com desenvolvimento da manipulação robótica e dão ênfase a requisitos como baixo custo, uso de servo motores e manipulação para diversos formatos de objetos.

Na elaboração da garra de Zisimatos, et al. (2014), Figura 3, foi usado um material flexível para permitir a manipulação de objetos com maior estabilidade e com formas complexas. Nas pontas dos dedos foi usado um plástico macio para que a sua deformação durante o contato possua maiores áreas e assim reduza o impacto da força de contato.

Figura 3 - Garra de Zimatos, et al (2014)



Fonte: (ZISIMATOS; et al, 2014).

Já o protótipo de Fuster e Christensen (2015), Figura 4, consiste em um mecanismo de movimento paralelo com dois dedos conectados por engrenagens. No total de 14 peças de plástico tiveram que ser desenhadas no *software* SolidWorks e depois fabricadas através da impressão 3D à laser.

Figura 4 - Garra Fuster e Christensen (2015)

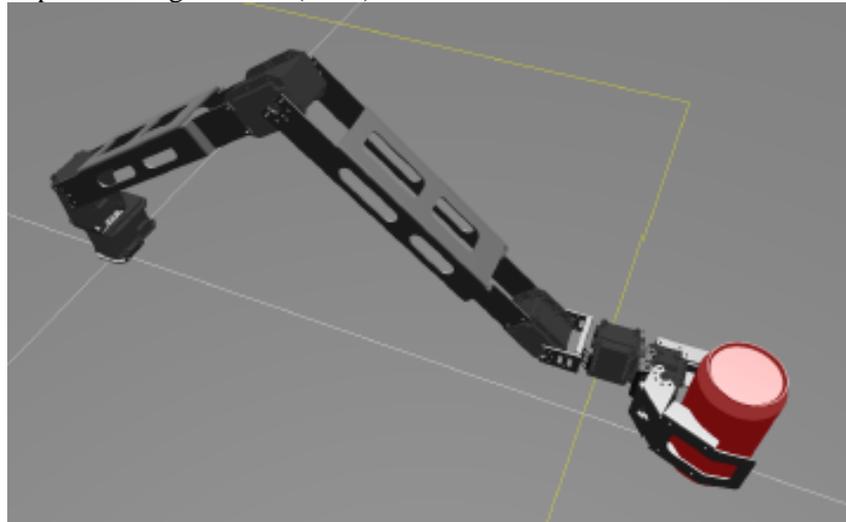


Fonte: (Fuster; Christensen, 2015).

Para o movimento dos dedos Zisimatos, et al. (2014) usaram servo motores, sendo o controle realizado pela plataforma Arduino. Um mecanismo em forma de disco foi desenvolvido de modo a ligar os cabos independentes de cada dedo com o atuador (servo motor). O mecanismo diferencial permite a flexão de cada dedo independente do outro, no caso em que um ou mais dedos pararem o seu movimento, devido a limitações de espaço de trabalho ou no caso em que alguns dedos já estão em contato com a superfície do objeto.

Nesta perspectiva, Özgür e Akn (2013) em sua garra manipuladora, Figura 5, as juntas da mão robótica são executadas por servo motores da linha Dynamixel fabricados pela empresa Robotis conectados em um barramento. Do mesmo modo, Fuster e Christensen (2015) e Quigley, et al. (2014) também escolherem um servo motor Dynamixel como atuador pela sua capacidade de controlar a posição angular e também a velocidade e aceleração através da resposta do sensor.

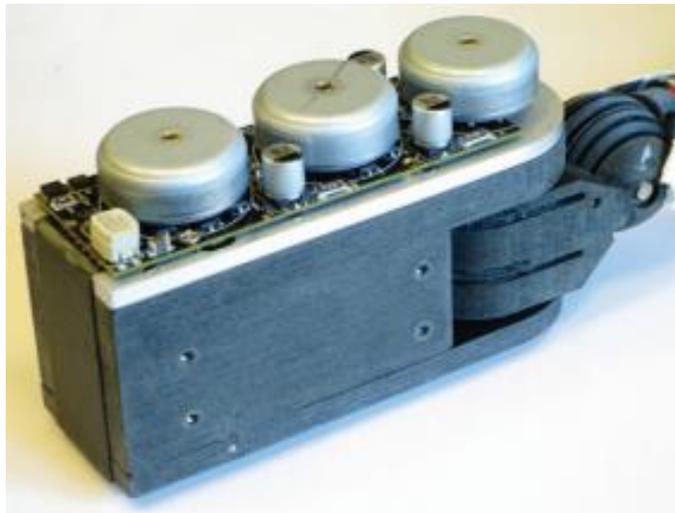
Figura 5 - Braço manipulador Özgür e Akn (2013)



Fonte: (ÖZGÜR; AKN, 2013).

Na garra de Quigley, et al. (2014), para o controlador principal, foi usado foi o CM-510 da Robotis pela versatilidade e simplicidade de programação, visto que, foi especialmente criado para controlar o servo motor Dynamixel. Os autores optaram em desenvolver o próprio sistema de controle de motor integrado. Cada placa de controle do motor contém o necessário: sensores, amplificadores, computação e recursos de comunicação para conduzir os três motores, como pode ser visto na Figura 6.

Figura 6 - Placa para controle e motores



Fonte: (QUIGLEY; et al, 2014).

No artigo de Quigley, et al. (2014) a mão desenvolvida foi feita como um conjunto de módulos de dedos idênticos que se ligam a uma estrutura. Cada módulo é um dedo com três graus de liberdade e manipulador autossuficiente, Figura 7.

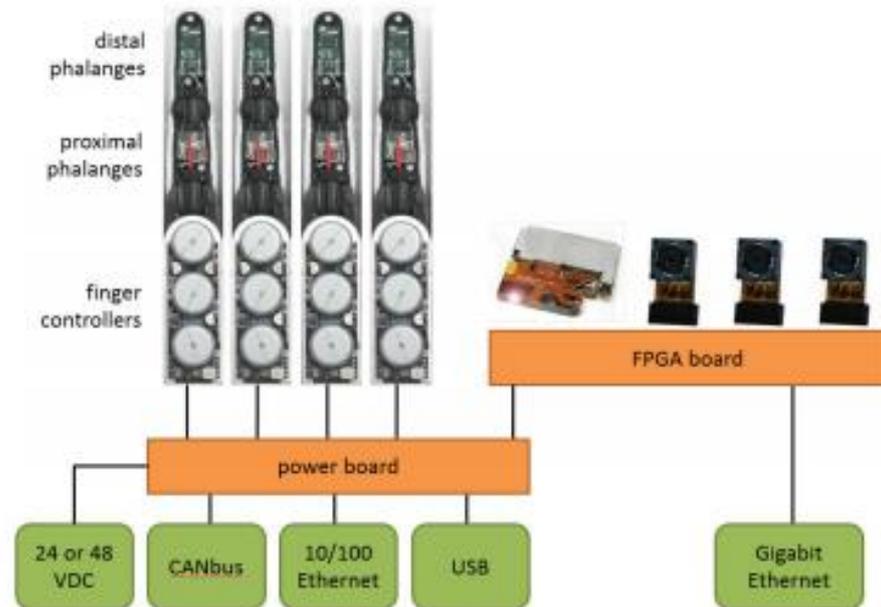
Figura 7 - Módulo para diferentes configurações



Fonte: (QUIGLEY; SALISBURY; NG; SALISBURY, 2014).

Para o sistema computacional, a mão de de Quigley, et al. (2014) contém uma rede distribuída de processadores: três microcontroladores ARM Cortex-M3 em cada módulo dedo, dois no *frame* da mão, e um Xilinx Spartan-6 FPGA na palma da mão. Estes recursos computacionais estão ligados em topologia estrela, como ilustrado na Figura 8. Esta arquitetura foi projetada para permitir uma variedade de opções de conectividade no ambiente elétrico, pois muitas vezes há transmissão de ruídos em um braço robótico.

Figura 8 - Topologia dos dados



Fonte: (QUIGLEY; et al, 2014).

Sandia Hand, como foi apelidada a garra de Quigley, et al. (2014), foi projetada para suportar a força do ambiente e principalmente distúrbios de deslocamento, de duas maneiras: 1) os componentes estruturais da mão foram concebidos para ter a força e a resistência adequada para suportar as cargas que a mão em si é capaz de aplicar; e 2) um mecanismo de quebra mecânica ajuda a proteger os dedos de falha catastrófica se as cargas ambientais excederem a capacidade dos componentes estruturais.

Uma característica importante desta arquitetura é que a falha de um único dedo não irá desativar a mão inteira. O dedo danificado pode ser rapidamente removido e substituído, ou a mão pode continuar a operar sem o dedo danificado. Outra característica importante é que existem vários suportes para os dedos e podem ser usados de acordo com o tipo de utilização, Figura 9.

Figura 9 - Moldes para os dedos



Fonte: (QUIGLEY; SALISBURY; NG; SALISBURY, 2014).

Em Fuster e Christensen (2015) foram usados sensores para saber a distância do objeto com a garra, ou seja, o posicionamento do objeto no meio e também um sensor para medir a força aplicada de acordo com cada objeto. Bem como, em Seguna e Saliba (2001) através de um design mecânico que incorpora múltiplos dedos e múltiplas juntas por dedo, utilizou-se sensores de proximidade de força na garra e também se construiu um sistema de arquitetura de controle prático para os componentes da garra, como consequência se obteve uma garra robótica versátil, Figura 10, usada para manipular objetos de diferente pesos, tamanhos e dimensões.

Figura 10 - Garra versátil de Seguna e Saliba (2001)



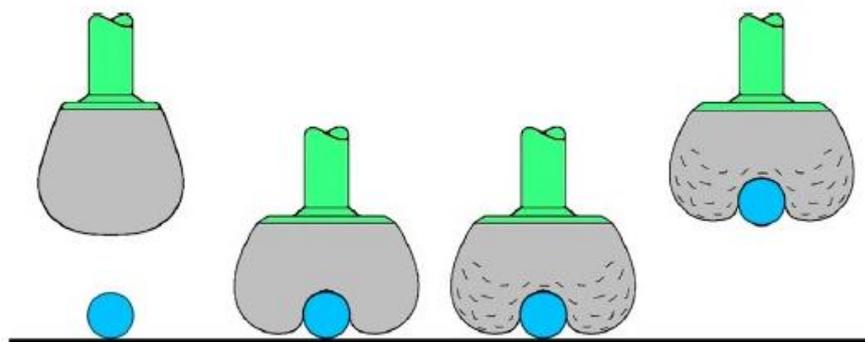
Fonte: (SEGUNA; SALIBA, 2001).

Além disso, o material usado para a construção da garra de Seguna e Saliba (2001) foi o politetrafluoretileno (PTFE) e alumínio. Baseado na densidade dos materiais que possuem uma boa resistência, o sensor de força para ser instalado dentro dos dedos da garra precisou ser pequeno e o mais leve possível, sendo capaz de medir a força a uma precisão de 10%. Desta maneira, foi optado por um sensor de força de resistores (FSRs), feito de polímero com uma película fina (PTF). Estes sensores são finos e têm peso insignificante.

Em relação a materiais e baixo custo, Zisimatos; et al. (2014) utilizaram diferentes componentes para o desenvolvimento da garra. Os componentes foram criados usando materiais de baixo custo e que podem ser facilmente encontrados em lojas de ferramentas. Fuster e Christensen (2015) também levaram como um requisito o baixo custo considerando à construção da garra com os preços dos componentes, o processo de fabricação e a estética, visando o lado comercial. Na garra produzida por Özgür e Akn (2013) um dos critérios do projeto era se ter uma pesquisa mais barata possível a fim de ser simples e acessível.

Diferentemente dos autores citados acima, Brow; et al. (2014) criaram uma garra de compreensão de matéria granular, Figura 11. Tarefas que são aparentemente simples para os seres humanos, como pegar objetos de variados tipos, podem ser muito complexas para os robôs. Em vez de dedos individuais foi usado um material ou uma interface que se molda ao redor do objeto. Desta maneira, reduziu-se o número de elementos para serem controlados, tendo vantagens em termos custo, velocidade para agarrar os objetos e segurança.

Figura 11 - Garra de compressão



Fonte: (BROW; et al, 2014).

2.2 USO DE SENSOR DE FLEXÃO PARA CONTROLE DE MÃO ROBÓTICA

O trabalho de Z. Kappasov, J. A. Corrales e V. Perdereau (2015) revisa as últimas pesquisas de manipulação e aplicações que envolvem os sensores táteis e discute os prós e contras de cada técnica, sendo cada sensor de tato é classificado de acordo com seu tipo de

transdução e aplicação. Sensores táteis de acordo com os autores devem atender aos seguintes requisitos relacionados com a tarefa de manipulação na mão/garra:

- Resposta. Na prevenção de colisões e tarefas de interação entre humanos e robôs, fornecendo informações sobre quando ocorreu contato e medindo a força deste contato;
- Exploração. Fornecem informação sobre: propriedades de superfície a partir de medições de textura, dureza e a temperatura; propriedades estruturais de forma e as propriedades funcionais de detecção de contatos e vibrações;
- Manipulação. Em tarefas de manipulação automática é utilizado como um parâmetro de controle de detecção de deslizamento e estimativa de estabilidade de aperto.

De acordo com os autores Z. Kappasov, J. A. Corrales e V. Perdereau (2015), os critérios mais importantes de *design* são:

- Requerimentos de resolução espacial de detecção tátil depende tanto do tamanho dos objetos a serem reconhecidos e a localização do sensor na mão/garra;
- A sensibilidade dos sensores táteis é dada pela menor variação detectável na pressão/força;
- Requisitos para a resposta em frequência dependem altamente da aplicação. Em geral, os sensores táteis podem ser estáticos ou dinâmicos;
- A histerese deve ser o mais baixo possível;
- Fiação de sensores táteis não deve afetar o espaço de trabalho do robô;
- Um sensor em si deve ser flexível, de modo que pode ser ligada a qualquer tipo de mão/garra;
- As propriedades de superfície de sensores táteis, como o comprimento mecânico e coeficiente de atrito da superfície deve englobar as várias tarefas de manipulação;
- Um *design* robusto do sensor, para garantir que sensor poderá suportar o uso altamente repetitivo, sem o seu desempenho ser afetado.

Mudança de capacitância e resistência, distribuição óptica e carga elétrica podem ser usadas nos sistemas de detecção. Na literatura robótica, estas maneiras diferentes de construir os sistemas de detecção são referidas como transdução de informações de contato. E os tipos de sensores táteis variam dependendo da transdução. Tipos: piezoelétricos, capacitivo,

resistivo, óptico, sensores de efeito de túnel Quantum, baseados nas medidas do barômetro, multi-modal, borne de tato sonoro. Na Tabela 1 é possível ver as vantagens e desvantagens dos sensores citados anteriormente.

Tabela 1 - Vantagens e desvantagens dos sensores.

Tipo	Vantagens	Desvantagens
Resistivo	Muitas soluções comerciais, simples fabricação e pode ser flexível.	Resposta pode ser não linear, deformação de fadiga permanente, histerese, dependência da temperatura e umidade.
Capacitância	Grande número de soluções comerciais, pode ser flexível, tem uma faixa maior de variação que o de pressão.	Susceptível a ruídos eletromagnéticos, sensível a temperatura, resposta não linear, histerese.
Piezoelétrico	Grande faixa de variação.	Dependência da temperatura, instabilidade.
Quantum	Resposta linear, maior faixa de operação (comparado ao capacitivo e de pressão)	Fabricação complexa.
Óptico	Grande resolução e sensibilidade, imune a ruídos eletromagnéticos.	Grande consumo de potência e custos computacionais, grande de tamanho.
Barômetro	Grande faixa de variação, muito sensível, imune a ruídos eletromagnéticos.	Baixa resolução.
Sonoro	Grande faixa de variação	Instabilidade.

Fonte: Modificado de (KAPPASSOV; CORRALES; PERDEREAU; 2015).

Com a realização do artigo os autores Z. Kappassov, J. A. Corrales e V. Perdereau (2015), concluíram que apesar de todos os avanços em tecnologias de sensores e sua integração nas mãos robóticas, o desenvolvimento de novas técnicas para processar e interpretar os dados fornecidos por eles, ainda há um vasto leque de investigação baseado na detecção tátil.

2.3 PARAMÊTROS DEFINIDOS

Após criteriosa pesquisa em artigos acadêmicos e revistas internacionais, conseguiu-se chegar em alguns requisitos para o projeto. Foram estes que nortearam todo o processo de fabricação, montagem e a garra como um todo. São eles:

- Com a finalidade de poder manipular objetos de variados formatos, optou-se por empregar material elástico ao invés de juntas rígidas convencionais para confecção dos dedos da garra;
- Visto os diferentes sensores foi escolhido o sensor flexível que tem como princípio a variação da resistência, o motivo pelo qual se optou foi por se encaixar com as juntas elásticas, apresentar relativo baixo custo e fácil comercialização brasileira;
- A fim de reduzir a complexidade do projeto e baixar seu custo se determinou a utilização de servo motores para fazer o movimento dos dedos.

CAPÍTULO 3 METODOLOGIA E MATERIAIS UTILIZADOS

Neste capítulo serão apresentados os materiais e *softwares* utilizados em todo o trabalho, para melhor compreensão o capítulo será dividido em três seções:

1. Seção 3.1, define as perguntas de pesquisa;
2. Seção 3.2, modelagem, fabricação e montagem da garra;
3. Seção 3.3, instrumentação do sensor e controle.

3.1 PROBLEMATIZAÇÃO

Esta seção trata sobre entender sobre o tema proposto e buscar soluções para o mesmo. É onde são respondidas as perguntas: “Por que devemos fazer isso? E como devemos resolver isso?”.

3.2 MODELAGEM, FABRICAÇÃO E MONTAGEM DA GARRA

Para esta segunda seção foram realizados os processos de:

- Modelagem do dedo da garra e seus acessórios em CAD, no *software* de desenho 3D SolidWorks®;
- Impressão do dedo e acessórios na impressora 3D.

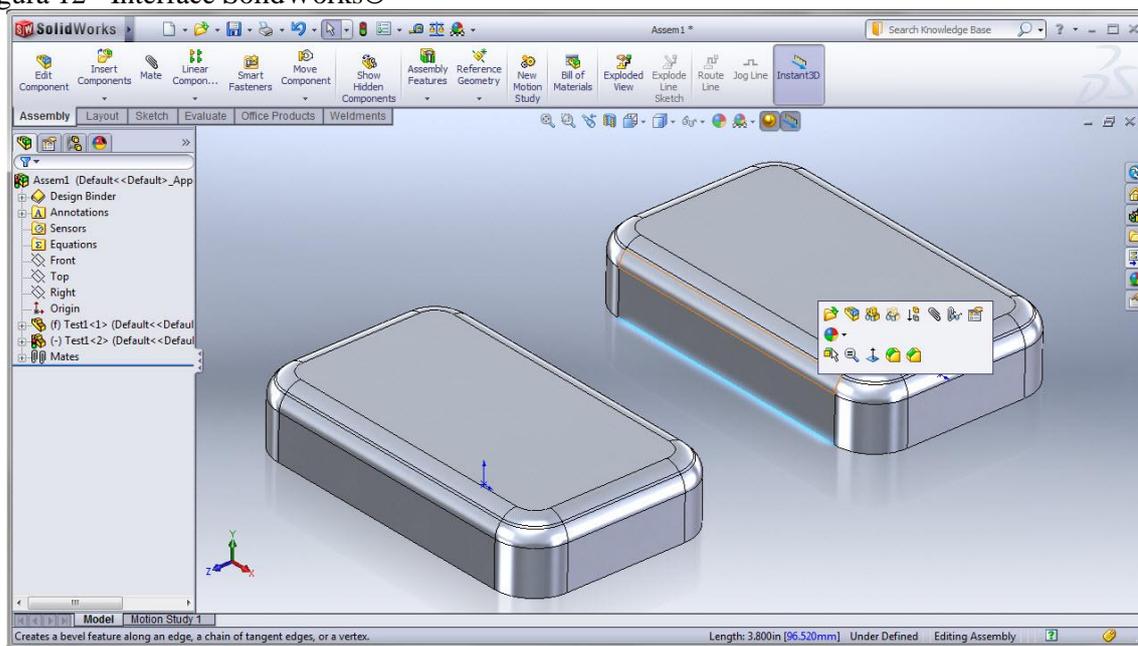
Para isso foram utilizados os materiais e *softwares* descritos nas próximas subseções:

3.2.1 Software de desenho em CAD

O SolidWorks® é um *software* para modelamento de projetos em 3 dimensões, sendo largamente difundido em todo o mundo. Com uma interface fácil de interagir e diversas ferramentas para projeto, é uma solução viável e interessante para quem deseja facilidade, rapidez e redução de custos no desenvolvimento de projetos.

É um *software* que utiliza o projeto assistido por computador (CAD) e também engenharia assistida por computador (CAE) que funciona nos sistemas operacionais Windows. Na Figura 12 pode ser vista a interface de um projeto no programa mencionado.

Figura 12 - Interface SolidWorks®



Fonte: (<http://www.rickyjordan.com/2010/10/solidworks-2011-user-interface-enhancements.html>).

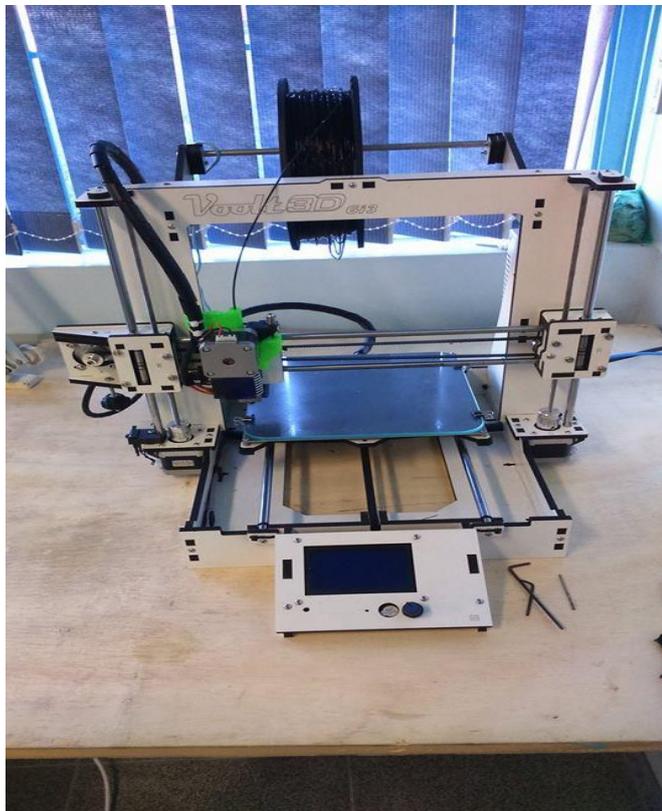
3.2.2 Impressora 3D

Para a fabricação da garra se optou pela impressora 3D, esta é capaz de imprimir vários tipos de objetos utilizando a tecnologia de impressão tridimensional. A impressão 3D funciona basicamente através da adição de camadas sobrepostas. Os objetos são impressos camada por camada até ser moldado a forma final. Para se criar um objeto a ser impresso em 3D, ele deve ser desenvolvido em um computador. Após criar o modelo tridimensional é necessário inseri-lo no software da impressora. O software da impressão irá compilar todos os dados e sistematizar em várias camadas. Em seguida inicia-se a impressão. Nesta etapa o injetor de matéria esquentada e suga um filete plástico que está na bobina. Na medida que o material derrete, ele é injetado em uma base, que se movimenta em dois eixos e cria as camadas. O processo então é feito camada por camada, desta forma, quando uma fica pronta, outra se inicia até que o objeto fique totalmente pronto. (SILVEIRA, 2013).

Além de serem rápidas, não apresentam materiais tóxicos na fabricação, e os materiais utilizados para a impressão não se deformam com o tempo. O equipamento, que já era utilizado por grandes empresas, chegou com alto custo para o público, mas vem diminuindo o preço gradativamente, e hoje já existem modelos bem acessíveis no mercado.

A impressora usada para a fabricação das peças da garra no trabalho pode ser vista na Figura 13.

Figura 13 - Impressora 3D utilizada no trabalho



Fonte: próprio autor.

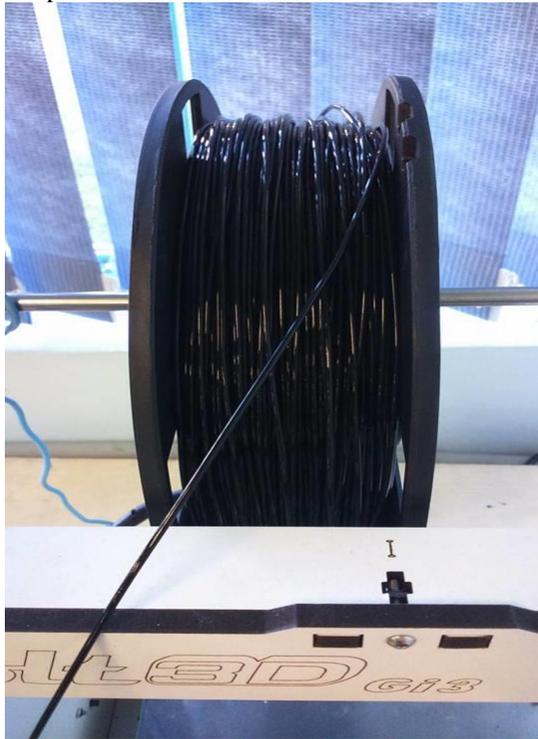
3.2.3 Material para impressão

Para a impressão da garra foram usados os seguintes tipos de materiais:

3.2.3.1 PLA

Para a impressão 3D da garra foi utilizado um plástico chamado de PLA ou ácido polilático que é um poliéster termoplástico, comumente derivado de recursos renováveis, como o amido de milho, raízes de mandioca ou de cana. Vem sendo utilizado em diversas áreas, como: científica, médica, armazenagem de alimentos e também para impressão 3D. Na Figura 14 pode ser visto o material utilizado.

Figura 14 - PLA utilizado na impressão



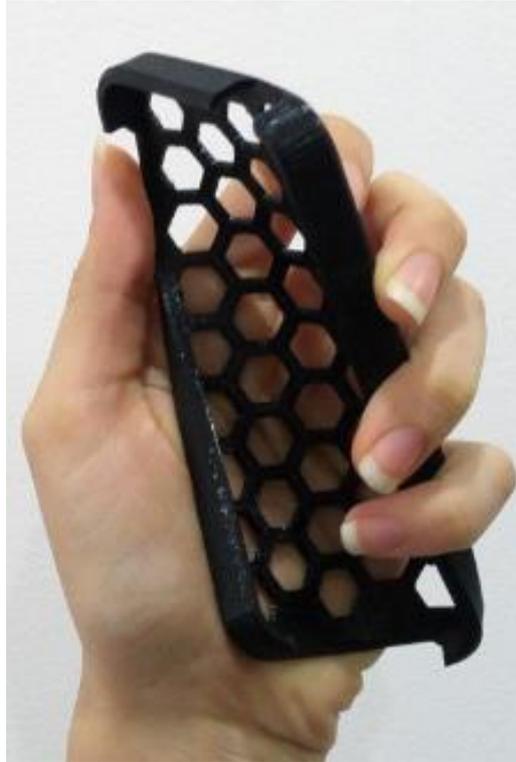
Fonte: próprio autor.

3.2.3.2 *Filamento flexível*

Ideal para impressões que precisam apresentar características de flexibilidade, possibilitando a impressão de peças funcionais articuláveis. Esta maleabilidade trás horizontes interessantes para o ciclo de desenvolvimento de produtos, permitindo uma maior liberdade de criação, Figura 15.

O material é baseado em poliéster e portanto seu ponto de extrusão é significativamente mais baixo do que o dos filamentos plásticos, isto adiciona um cuidado extra a ser tomado na impressão. Não é tóxico, não absorve água e é mais tolerante com a umidade do ambiente.

Figura 15 - Material de filamento flexível



Fonte:(Site WishBox).

3.2.4 Materiais para a montagem da garra

Nesta subseção serão mostrados praticamente todas as ferramentas e materiais, Figura 16, para a construção e montagem da garra. Todas as ferramentas e materiais utilizados, podem ser facilmente encontrados em lojas de ferramentas.

Figura 16 - Materiais utilizados



Fonte: próprio autor.

Sendo:

- A – Espaçador 3mm;
- B – Parafusos 2 mm e 3 mm;
- C – Porcas 2 mm e 3 mm;
- D – Durepoxi;
- E – Pinça;
- F – Chave allen 3 mm;
- G – Alicates;
- H – Chave Philips;
- I – Tesoura;

- J – Adesivo instantâneo;
- K – Fita isolante de borracha autofusão;
- L – Linha de pesca de nylon.

3.3 INSTRUMENTAÇÃO E CONTROLE

Nesta seção serão apresentados os materiais e *softwares* utilizados para a parte de instrumentação e controle da garra.

3.3.1 Servo Motor

O servo motor RX-28 Dynamixel, Figura 17, é um componente robótico altamente sofisticado. Cada servo tem a capacidade de controlar a sua velocidade, temperatura, posição do eixo, tensão e carga. Além disso, possui um algoritmo de controle usado para manter a posição do eixo e pode ser ajustado individualmente para cada servo, que lhe permite controlar a velocidade e força da resposta do motor. Todo o controle de posição é tratado pelo microcontrolador integrado do servo. Na Tabela 2 é possível ver os dados do motor.

Para conexão e troca de dados possui o protocolo de comunicação assíncrono serial com *8bits*, *1 stop bit* e sem paridade, com uma velocidade de comunicação de *7343bps* até *1Mbps*. A sua camada física é a RS-485 com barramento *bus multidrop*.

Figura 17 - Servo motor RX-28



Fonte: (Manual de instrução Dynamixel RX-28).

Tabela 2 - Dados do motor.

	Unidade	Dado
Peso	G	72
Dimensão	mm	35,6x50,6x35,5
Conexão	-	RS-485
Resolução	°	0,29
Tensão de Operação	V	12~16
Torque máximo	Kgf.cm	28,3 em 12V
Corrente máxima	mA	1200
Velocidade a vazio	s/60°	0,167 em 12V
Temperatura	°C	-5 ~ +85

Fonte: próprio autor.

3.3.2 Sensor de flexão

O sensor *flex* ou sensor flexão é um dispositivo do tipo *strain gauge* (variação de resistência), utilizando as dobras e flexões que são exercidas sobre seu corpo. Através de seu modo de funcionamento bidirecional, o sensor *flex* possui a capacidade de reconhecer torções e flexões tanto para frente quanto para trás, aumentando ou diminuindo o valor de sua resistência proporcionalmente ao ângulo de ação. (Site: usinainf)

Com uma vasta quantidade de aplicações, o sensor flexível pode ser utilizado em controles automotivos, produtos de aptidão, dispositivos médicos, robótica, consoles de realidade virtual, dentre outros. Muito utilizado em sistemas robóticos de reprodução de movimentos articuláveis, é também empregado junto de luvas e roupas para reproduzir em tempo real movimentos específicos e controlados na maioria das vezes por conjuntos de servos motores. Para este trabalho usamos o tamanho de 5,5 cm, Figura 18.

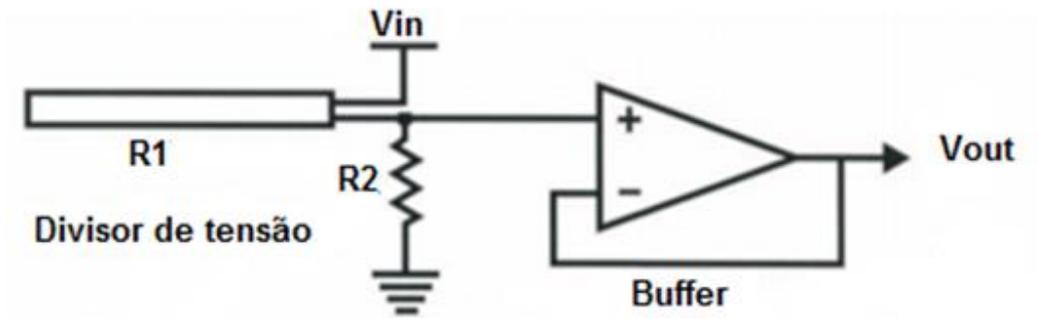
Figura 18 - Sensor flexível



Fonte: (Site Laboratório de Garagem)

Para o uso deste sensor é necessário implementar o seguinte circuito elétrico, Figura 19:

Figura 19 - Circuito elétrico básico sensor flex

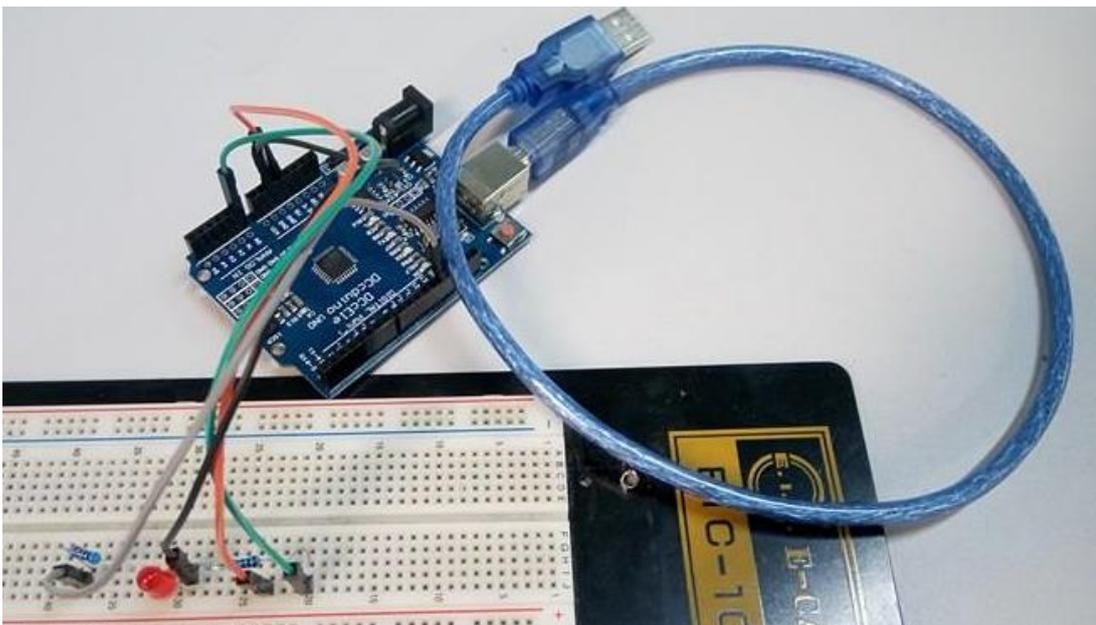


Fonte: Modificado de site UsinaInfo.

3.3.3 Arduino

Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica *open source* baseada em *hardware* e *software* flexíveis e fáceis de usar. É destinado a qualquer pessoa interessada em criar objetos ou ambientes interativos. A placa Arduino pode interagir com o ambiente recebendo em suas entradas sinais dos mais variados tipos de sensores e pode atuar nesse ambiente por meio do acionamento de luzes, motores ou outros atuadores. Na Figura 20 é possível ver a placa Arduino e alguns componentes eletrônicos que serão usados no trabalho, como resistores, *jumpers* e uma *protoboard*.

Figura 20 - Placa Arduino e alguns componentes



Fonte: próprio autor.

3.3.4 Python

Python é uma linguagem de programação criada por Guido van Rossum em 1991. Os objetivos do projeto da linguagem eram: produtividade e legibilidade. Em outras palavras, Python é uma linguagem que foi criada para produzir código bom e fácil de manter de maneira rápida. Entre as características da linguagem que ressaltam esses objetivos estão: (Site: Python: O que é? Por que usar?).

- Baixo uso de caracteres especiais, o que torna a linguagem muito parecida com pseudo-código executável;
- O uso de indentação para marcar blocos;
- Quase nenhum uso de palavras-chave voltadas para a compilação;
- Coletor de lixo para gerenciar automaticamente o uso da memória.

Além disso, Python suporta múltiplos paradigmas de programação. A programação procedimental pode ser usada para programas simples e rápidos, mas estruturas de dados complexas. Grandes projetos podem ser feitos usando técnicas de orientação a objetos, que é completamente suportada em Python (inclusive sobrecarga de operadores e herança múltipla). Um suporte modesto para programação funcional existe, o que torna a linguagem extremamente expressiva: é fácil fazer muita coisa com poucas linhas de comando. E também possui inúmeras capacidades de meta-programação: técnicas simples para alterar o comportamento de comportamentos da linguagem, permitindo a criação de linguagens de domínio específico. (Site: Python: O que é? Por que usar?)

CAPÍTULO 4 DESENVOLVIMENTO E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo será discutido o que foi obtido de resultados no trabalho, para ser melhor compreendido será dividido em seis partes:

- 1) Modelagem, desenho da garra utilizando o *software* CAD;
- 2) Fabricação, impressão 3D;
- 3) Controle, programação do código em Python;
- 4) Montagem da Garra Completa;
- 5) Testes, onde se utilizou diversos objetos para testar a manipulação da garra;
- 6) Custos de produção, calculou-se o custo total para produção da garra.

4.1 MODELAGEM

A garra foi modelada a partir dos requisitos mencionados na Seção 2.3 da revisão bibliográfica. Baseando-se na “*Robot Hands*” do site <http://www.openbionics.org> foi desenhada a garra no *software* SolidWorks.

É necessário mencionar que a “*Robot Hands*” tem uma licença livre, como é possível ver na Figura 21, para mais informações sobre a licença acesse o site: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>.

Figura 21 - Licença livre

You are free to:

Share — copy and redistribute the material in any medium or format

Adapt — remix, transform, and build upon the material

for any purpose, even commercially.

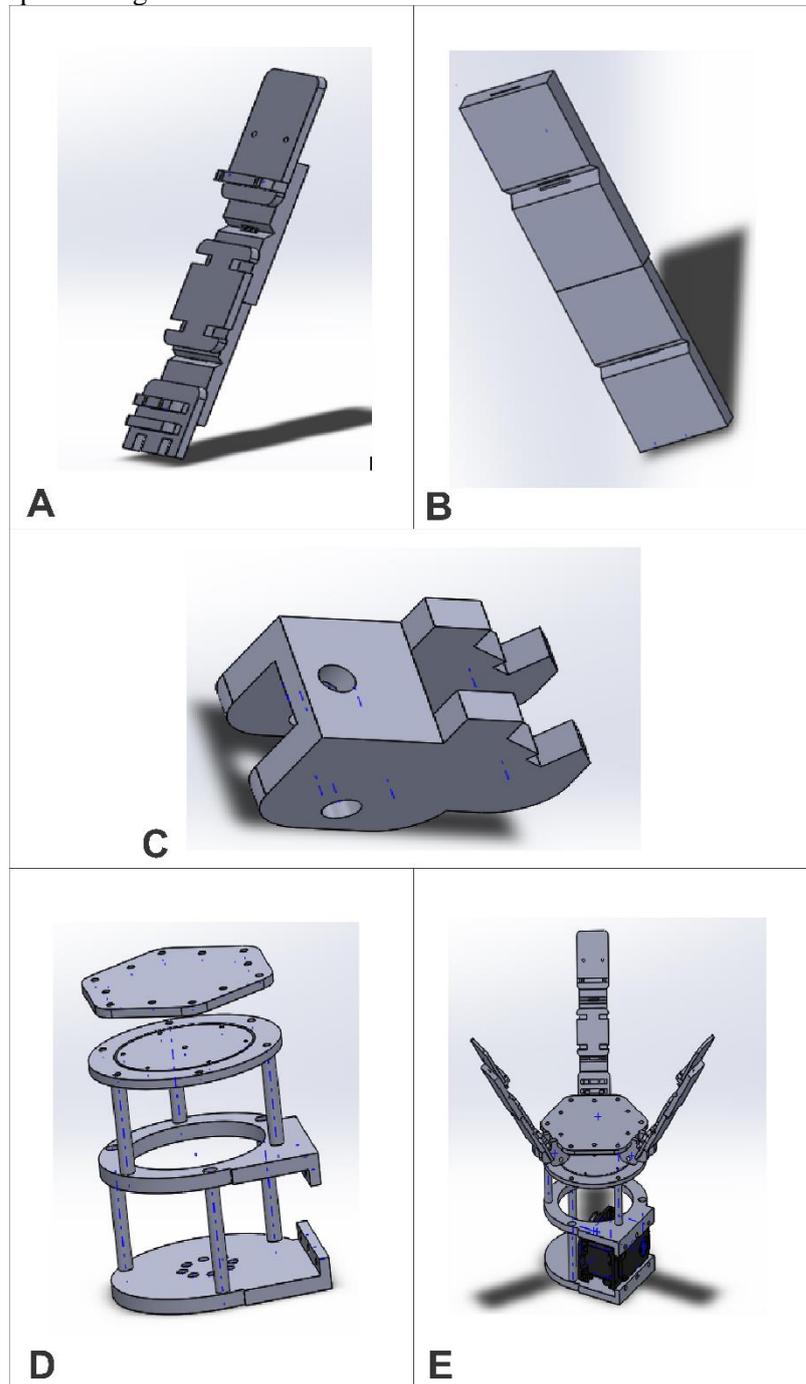
The licensor cannot revoke these freedoms as long as you follow the license terms.

Fonte: (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>)

Desta maneira, entende-se que o desenho inteiro foi feito adaptando-se a este projeto, ou seja, nenhuma peça foi usada pronta do modelo.

A Figura 22 mostra as principais peças constituintes da garra elaborada neste projeto:

Figura 22 - Peças/partes da garra



Fonte: próprio autor.

Onde:

- A – Dedo da garra;
- B – Junta elástica;
- C – Encaixe para os dedos;
- D – Base da garra;
- E – Garra completa.

O dedo da garra possui 5 peças principais e 5 peças de apoio, onde passa o fio de nylon que movimenta o dedo. O dedo completo pode ser visto na Figura 22-A e na Figura 22-B são mostradas as juntas elásticas. Durante a elaboração do desenho as peças foram projetadas para o sensor estar no meio das juntas e também foram projetadas duas juntas de espessuras diferentes para permitir que primeiro se dobre a junta de baixo e após a de cima de cada dedo.

A base da garra, Figura 22-D, possui um espaço para o servo motor, que irá puxar os três dedos ao mesmo tempo. Além disso, na Figura 22-E, tem-se a garra completa com o servo motor e os dedos acoplados na base.

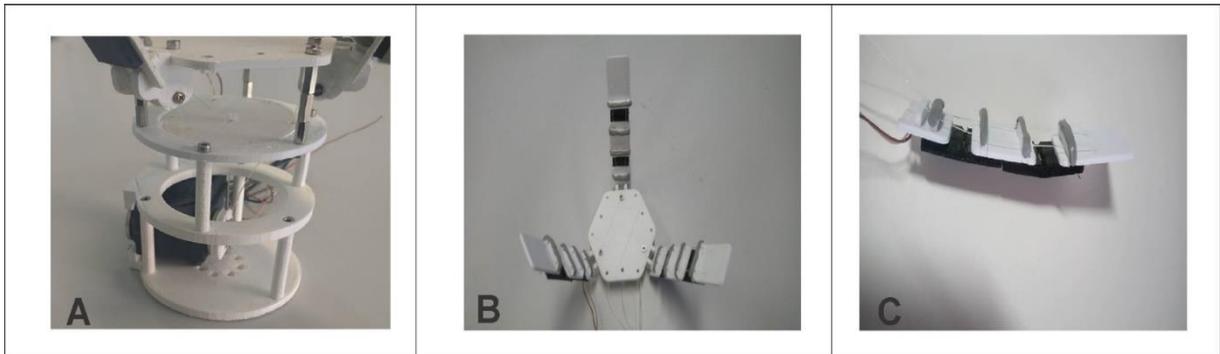
4.2 FABRICAÇÃO

Para a fabricação da garra foi usada a impressora 3D com o material PLA em praticamente todas as peças, menos as juntas elásticas que foram impressas de material *flex*.

A Figura 23 mostra três partes da garra que foram fabricadas na impressora 3D:

- A – Suporte da garra;
- B – Suporte superior com os dedos;
- C – Dedo da garra.

Figura 23 - Partes fabricadas

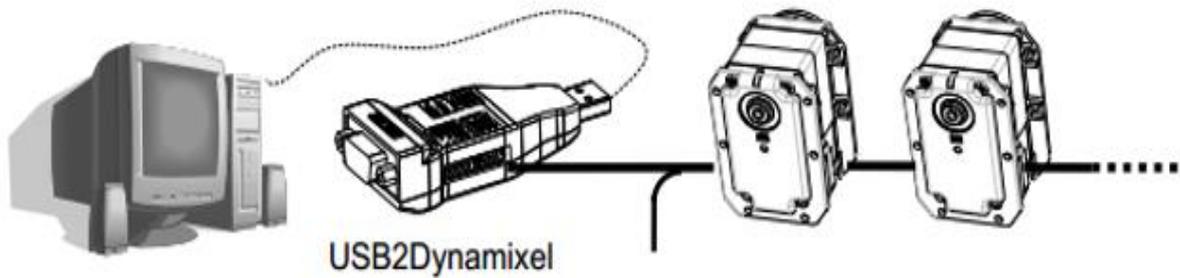


Fonte: próprio autor.

4.3 CONTROLE DA GARRA

O motor utilizado, como foi mostrado anteriormente, é o servo RX-28. Para realizar o controle do motor foi necessário conectá-lo com o computador (PC) através da ligação RS-485, Figura 24.

Figura 24 - Ligação RS-485

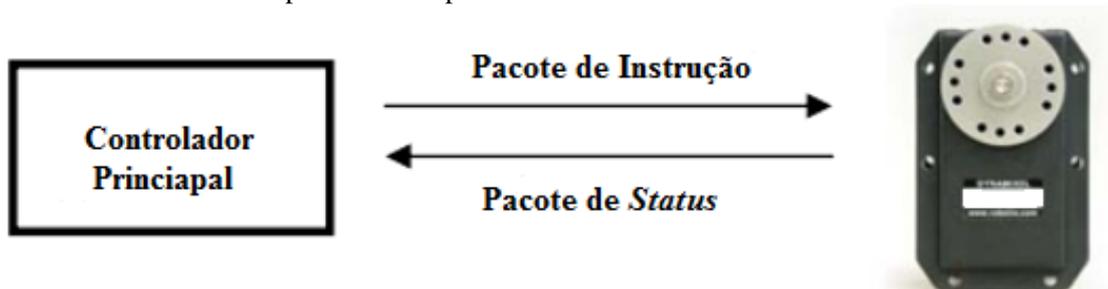


Fonte: (Manual de instrução Dynamixel RX-28).

O controlador principal e o servo motor RX-28 se comunicam através do envio e recebimento de dados, estes dados são encapsulados em pacotes. Esta comunicação é serial assíncrona com 8 bits, 1 bit de parada e não possui paridade.

Existem dois tipos pacotes: de Instrução, que controlador principal envia para RX-28 e o de *Status*, que o RX-28 responde ao controlador principal. O esquema desta troca de pacotes está apresentado na Figura 25.

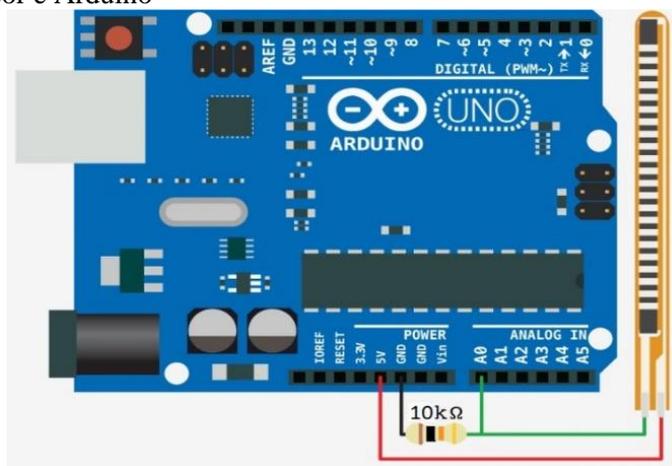
Figura 25 - Funcionamento para troca de pacotes



Fonte: (Manual de instrução Dynamixel RX-28).

Depois de conectado o motor com o seu controlador principal (PC), foi necessário fazer a instrumentação do sensor flexível com o Arduino. Para este processo foram utilizados uma *proto-board*, *jumpers*, resistores e uma placa Arduino. O esquema de conexão entre o sensor e o Arduino utilizado para a instrumentação é apresentado na Figura 26.

Figura 26 - Conexão sensor e Arduino



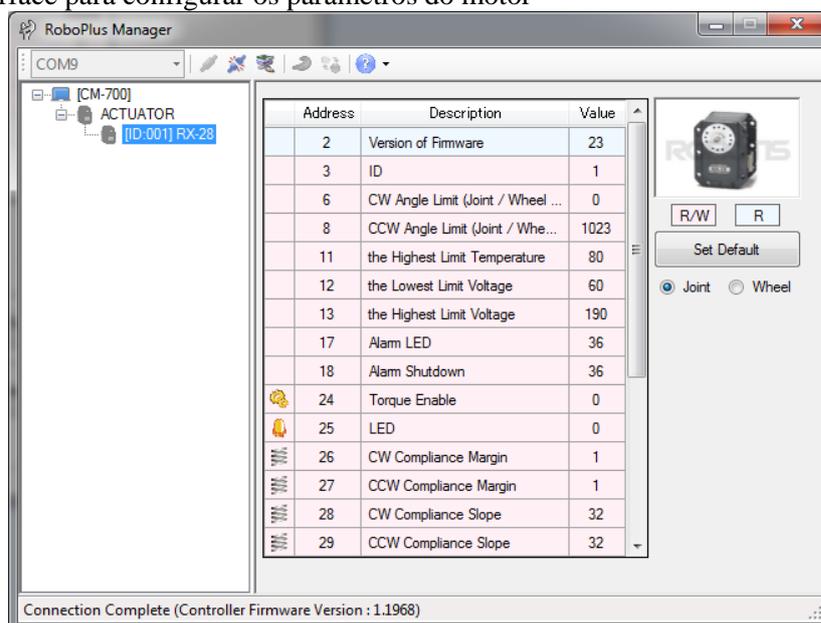
Fonte: (<http://labdegaragem.com/profiles/blogs/tutorial-de-como-utilizar-o-sensor-flex-com-arduino>).

No aplicativo Arduino do computador foi escrito um código para a leitura do sensor, este código pode ser visualizado no apêndice a.

Para ser feito o controle da garra foi feito um programa em Python, APÊNDICE B. Este programa lê os valores da porta serial, pela biblioteca “pyserial”, em que o Arduino está conectado, além disso ele lê os valores da posição do servo motor pela biblioteca “pydynamixel” que é uma biblioteca em Python desenvolvida pelo nosso grupo de pesquisa para controlar os servos motores da Dynamixel. A partir destas informações, o programa executa um controlador PID para se chegar na posição do motor desejada, os parâmetros do PID foram estabelecidos manualmente.

No aplicativo Robo Plus, Figura 27, é possível configurar alguns parâmetros do motor, onde a ID do motor deve corresponder a mesma ID do código em Python.

Figura 27 - Interface para configurar os parâmetros do motor



Fonte: próprio autor.

4.4 MONTAGEM COMPLETA DA GARRA

Para realizar a montagem da garra foram utilizados os itens descritos na Subseção 3.2.4. Como é possível perceber todos os itens são de baixo custo e fáceis de se encontrar. As etapas de montagens serão descritas em passos, que são:

Passo 1: primeiramente se montaram os dedos, colando-se as peças com a cola adesiva instantânea e passando o sensor *flex* entre as peças de material flexível;

Passo 2: colocou-se durepoxi para o fio de nylon não sair de dentro do seu caminho, Figura 28, logo após passou-se o fio de nylon pelo dedo;

Figura 28 - Local de utilização do durepoxi



Fonte: próprio autor.

Passo 3: passou-se a fita autofusão em volta do dedo, Figura 29, para que o dedo ganhe aderência ao manipular os objetos;

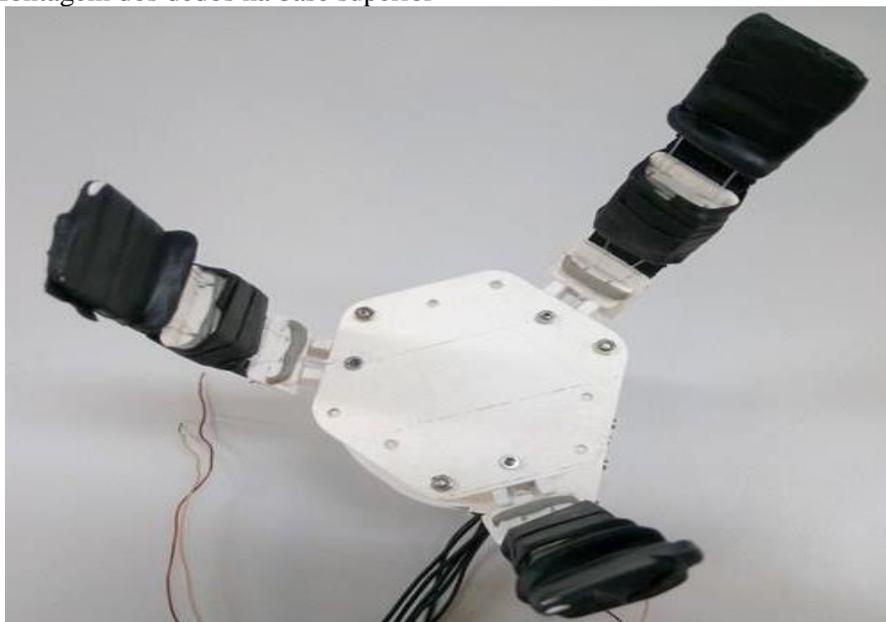
Figura 29 - Fita para aderência



Fonte: próprio autor.

Passo 4: montaram-se os dedos na base de cima, para isso se utilizou parafusos, roscas, chave allen e chave Phillips, Figura 30;

Figura 30 - Montagem dos dedos na base superior

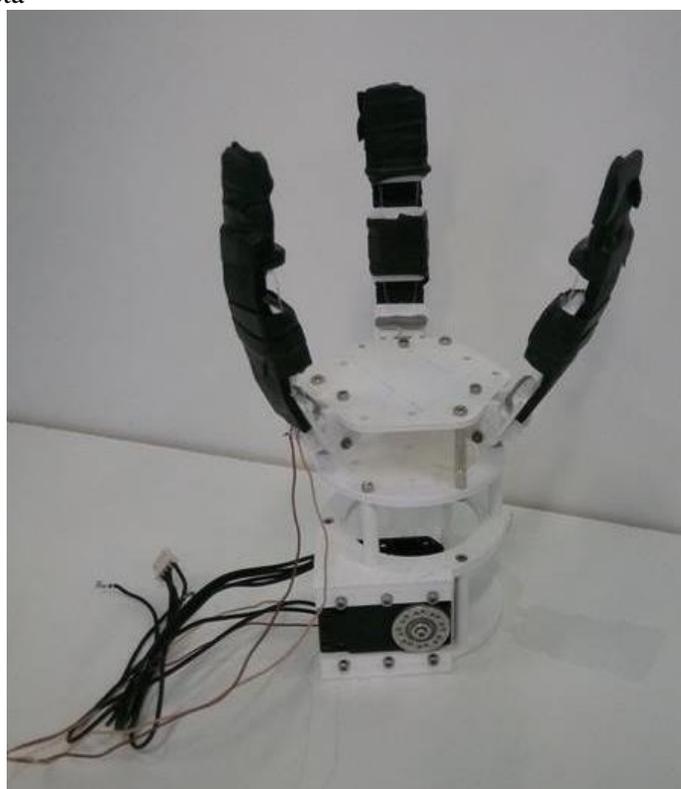


Fonte: próprio autor.

Passo 5: montou-se a base da garra, utilizando-se parafusos, roscas, espaçadores, chave allen, chave Phillips, fio de nylon e também encaixando o servo motor em seu acoplamento;

Passo 6: juntou-se a base superior com a outra parte da base, utilizando-se os espaçadores. Na Figura 31 é mostrada a garra completa depois de todo processo de montagem.

Figura 31 - Garra completa



Fonte: próprio autor.

4.5 TESTES

Para a realização dos testes foram selecionados alguns objetos com características diferentes de forma, superfície, material, dimensões. Na Figura 32 é possível visualizar estes objetos.

Figura 32 - Objetos para teste da garra



Fonte: próprio autor.

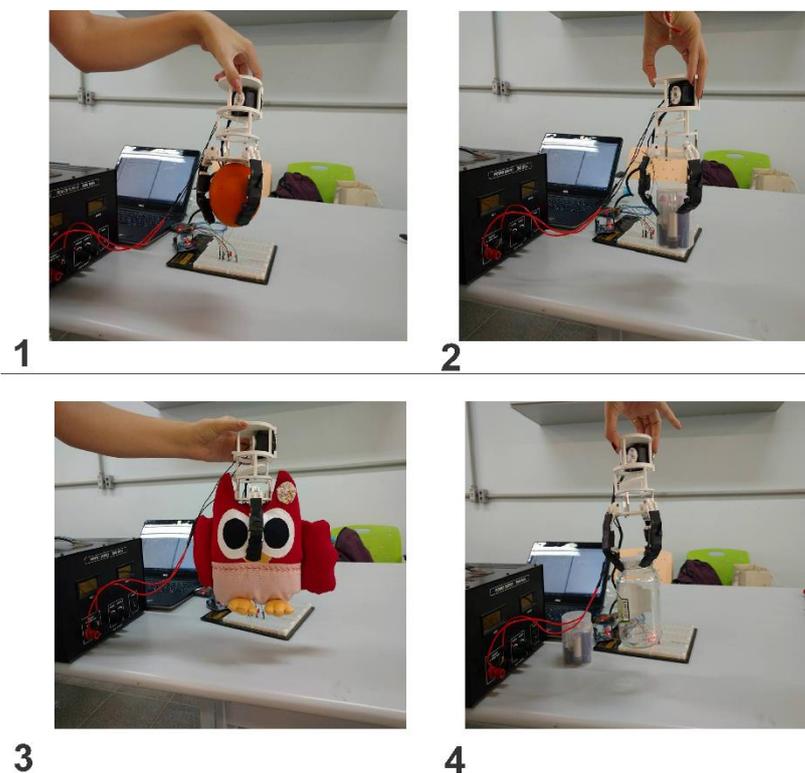
Sendo:

- A – Bola Artengo TB 700 espuma;
- B – Copo plástico;
- C – Objeto oval de metal;
- D – Cuiá para mate;
- E – Desodorante 150ml;
- F – Objeto porta batons contendo 6 batons;
- G – Garrafa de Freixenet 200ml vazia;
- H – Lata de refrigerante 335ml vazia;
- I – Coruja de pelúcia;
- J – Pote de vidro peso drenado 300g e peso líquido 560g vazio;
- K – Copo plástico quase cheio;
- L – Garrafa pet 500ml com toda capacidade;
- M – Garrafa pet 500ml com metade da capacidade;
- N – Garrafa pet 500ml vazia;

Os objetos em que a garra conseguiu manipular foram, Figura 33, Figura 34 e Figura

35:

Figura 33 - Manipulação vertical



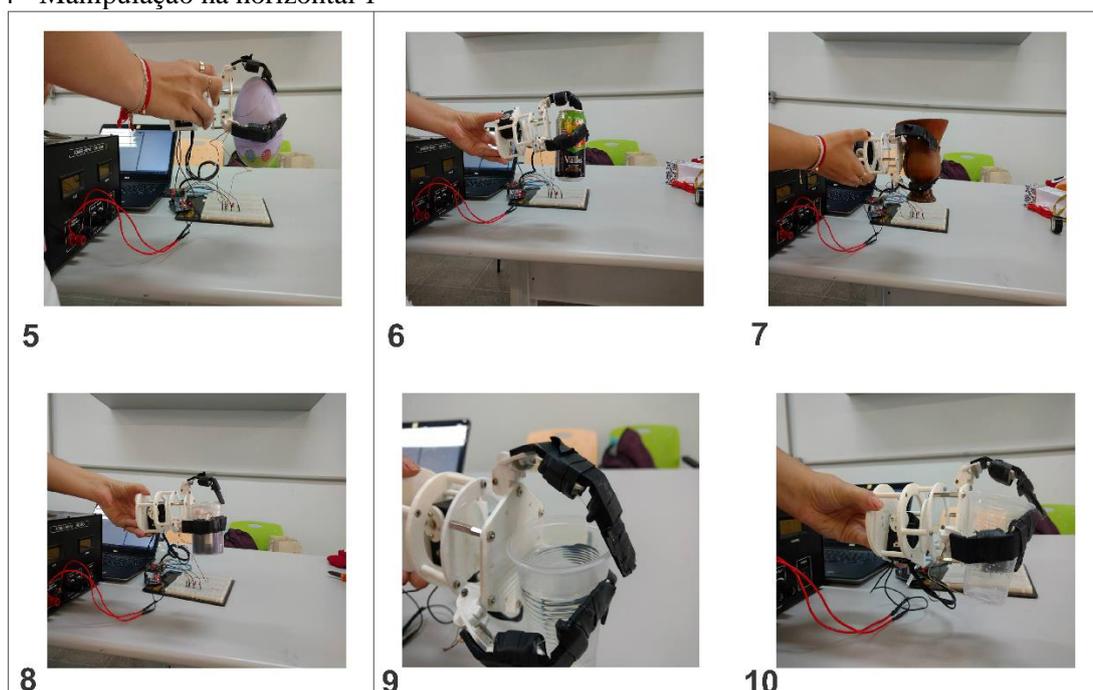
Fonte: próprio autor.

Sendo:

- 1 – Bola Artengo TB 700 espuma;
- 2 – Objeto porta batons contendo 6 batons;
- 3 – Coruja de pelúcia;
- 4 – Pote de vidro peso drenado 300g e peso líquido 560g vazio.

Observação: estes testes foram feitos com a garra vindo na vertical.

Figura 34 - Manipulação na horizontal 1

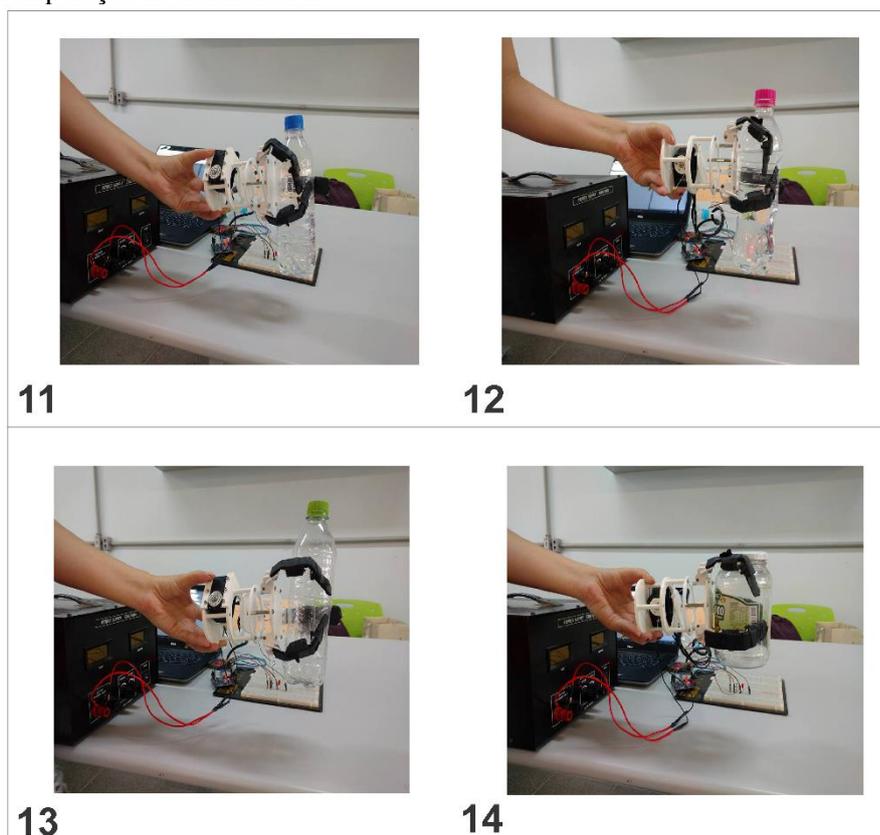


Fonte: próprio autor.

Sendo:

- 5 – Objeto oval de metal;
- 6 – Lata de refrigerante 335ml vazia;
- 7 – Cuiá para mate;
- 8 – Objeto porta batons contendo 6 batons;
- 9 – Copo plástico quase cheio;
- 10 – Copo plástico.

Figura 35 - Manipulação na horizontal 2



Fonte: próprio autor.

Sendo:

- 11 – Garrafa pet 500ml com metade da capacidade;
- 12 – Garrafa pet 500ml com toda capacidade;
- 13 – Garrafa pet 500ml vazia;
- 14 – Pote de vidro peso drenado 300g e peso líquido 560g vazio.

Observação: estes testes foram feitos com a garra vindo na horizontal.

Os objetos que a garra não conseguiu manipular foram o desodorante e a garrafa pequena de Freixenet devido serem objetos mais finos e com um material de constituição muito liso, o que dificulta a aderência.

4.6 CUSTOS DE PRODUÇÃO

Como dito anteriormente a garra produzida tem um dos seus requisitos que é o baixo custo, desta maneira serão citados os principais equipamentos e materiais adquiridos com os seus respectivos preços, Tabela 3.

Tabela 3 - Materiais utilizados x custo

Item	Quantidade	Valor aproximado (R\$)
Material PLA	0,5 kg	50
Material flexível	0,1 kg	20
Servo motor	1 und	705
Sensor <i>flex</i>	1 und	50
Espaçadores 3mm	15 und	10
Parafusos 2mm + porcas	10 und	5
Parafusos 3mm allen + porcas	40 und	60
Durepoxi	1 und	6,90
Chave allen	1 und	1,15
Chave philips	1 und	7
Tesoura	1 und	5
Superponder	1 und	4,90
Fita Isolante	1 und	30
Linha de pesca (nylon)	1 und	5

Fonte: próprio autor

Somado todos os itens é obtido um total de 959,95 reais.

CAPÍTULO 5 CRONOGRAMA

O trabalho foi realizado com o plano de atividade que consta na Tabela 4. Para uma maior compreensão o cronograma foi dividido entre os meses (horizontalmente) e com as tarefas (verticalmente).

Tabela 4 - Cronograma do projeto

	08/2016	09/2016	10/2016	11/2016	12/2016	01/2017
Adaptação do projeto	X					
Introdução		X				
Revisão Bibliográfica		X				
Esboço e fabricação da garra			X	X		
Montagem da garra				X	X	
Instrumentação e controle da garra				X	X	
Testes					X	X
Apresentação e discussão dos resultados					X	X
Conclusão						X
Apresentação do projeto						X

Fonte: próprio autor

CONCLUSÃO

O desenvolvimento do presente estudo possibilitou adquirir conhecimento sobre o funcionamento de uma garra robótica e sobre a importância, tanto para o meio industrial como para interação humano-robô.

De acordo com os objetivos especificados no Capítulo Introdução na Seção 1.3 foram alcançados os itens:

- 1) Se fechar de modo adaptativo em torno de um objeto de forma não específica;
- 2) Regular a quantidade de flexão nos dedos que é exercida no objeto, permitindo assim a manipulação de objetos frágeis.

Porém, devido ao tempo para realização do trabalho e falta de disponibilidade do robô Dimitri não foi possível realizar o item:

- 3) Ser montada no braço do robô Dimitri da UFSM.

Sobre o funcionamento da garra, esta apresentou dificuldade em manipular objetos com superfície lisa, diâmetro e largura inferior a 4,5cm e massa maior que 550g. Entretanto, para outros diversos objetos apresentou um resultado esperado e satisfatório, ressaltando que a garra conseguiu pegar os objetos como copo plástico vazio e com água sem amarrar e sem derrubar o líquido contido, além disso uma garrafa pet de 500ml totalmente vazia, com metade da sua capacidade e com a capacidade total.

Vale salientar que toda a garra foi construída com base em diversos estudos e a partir disso elaborada. Desta maneira, ela é uma combinação de várias pesquisas, tendo como resultado final uma garra única, o que se torna um ponto positivo em relação a este trabalho. Deste modo, o projeto apresentado é de caráter criativo e inovador, pois se criou um objetivo que não existia anteriormente alinhado com um ponto muito importante, o baixo custo.

Diante disso, fica para continuação do trabalho:

- a) Montagem da garra no braço do robô Dimtri;
- b) Melhorar o funcionamento da garra para que ela passe a pegar maior variedade de objetos. Deste modo, é necessário deixar a garra mais robusta e mais precisa com a incorporação de mais sensores e outros materiais, que para o próximo projeto necessitariam de uma pesquisa mais aprofundada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Sensor Flex 4.5” – Premium.** Disponível em: <<https://www.usinainfo.com.br/sensores-e-modulos/sensor-flex-45-premium-3363.html>>. Acesso em: 06 maio. 2016.
- GRAVES, Geoge. **Openhand combines 3d printing with urethane casting.** 15 de maio de 2016. Disponível em: <<http://hackaday.com/2015/02/25/openhand-combines-3d-printing-with-urethane-casting/>>. Acesso em: 06 abril. 2016.
- VIANA, Gabriela. **O que é e como funciona a impressora 3D?** 21 de setembro de 2015 Disponível em: <<http://www.techtudo.com.br/artigos/noticia/2012/01/o-que-e-impressora-3d.html>>. Acesso em: 12 abril. 2016.
- KAPPASSOV, Z; CORRALES J. A; PERDEREAU V. **Tactile Sensing in Dexterous Robot Hands.** França, Paris: Robotics and Autonomous Systems, 2015.
- ZISIMATOS, G; et al. **Open-Source, Affordable, Modular, Light-Weight, Underactuated Robot Hands.** Estados Unidos, Chicago: Internacional Conference on Intelligent and Systems, 2014.
- ROBOTIS CO, LTD. **User’s Manual Dynamixel RX-28.** Disponível em: <www.robotics.com>. V1.10
- QUIGLEY, M; et al. **Mechatronic Design of an Intergrated Robotic Hand.** Estados Unidos, Califórnia: The International Journal of Robotcs Reserarch, 2014.
- Python: O que é? Por que usar?** 12 de setembro de 2008. Disponível em: <<http://pyscience-rasil.wikidot.com/python:python-oq-e-pq>>. Acesso em: 12 julho. 2016.
- SILVEIRA, Débora. **Como funciona e como surgiu a impressora 3D?** 02 de setembro de 2013. Disponível em: <<https://www.oficinadanet.com.br/post/11352-como-funciona-e-como-surgiu-a-impressora-3d>>. Acesso em: 12 abril. 2016.
- BARRETTE, Mathieu. **Finger Adaptative Robot Gripper History.** 05 de Agosto de 2015. Disponível em: <<http://blog.robotiq.com/adaptive-robot-gripper-3-finger-history>>. Acesso em 6 setembro. 2016.
- BROW, E; et al. **Universal Robotic Gripper Based on the Jamming of Granular Material.** Estados Unidos: Proceedings of the National Academy of Sciences, 2014.

APÊNDICE A

```
int ledPin = 13;
int state=0;
int flexSensorPin = A0;
void setup() {
    pinMode(ledPin, OUTPUT);
    Serial.begin(9600);
}

void loop(){
    int flexSensorReading = analogRead(flexSensorPin);
    Serial.println(flexSensorReading);

    int flex0to100 = map(flexSensorReading, 512, 522, 0, 90);

    if ((flexSensorReading )> 160){
        digitalWrite(13, HIGH);
    }
    else{
        digitalWrite(13, LOW);
    }
    delay(1000);
}
```

APÊNDICE B

```

import serial
import time
from pydynamixel import dynamixel
com_port = 'COM5'
servo_id = 7
ser = dynamixel.get_serial_for_url(com_port)
ser1 = serial.Serial('COM6', 9600, timeout=1)

def controle():

    P = 5
    I = 3
    D = 2
    dt = 10

    x_atual = dynamixel.get_position(ser, servo_id)
    x_min = x_atual - 1500
    x_max = x_atual + 2500
    ei = 0
    ep = 0
    r_desejado = 125
    r = 0
    while (r<120):
        sensor = ser1.readline()
        r = int('0'+sensor)
        print r
        ep_ant = ep
        ep = r_desejado - r
        ed = (ep - ep_ant) /dt
        ei = ei + ep
        c = P*ep + D* ed + I*ei

```

```
xc = x_min + c

if (xc > x_max) :
    xc = x_max
    if (r>125 & r <120):
        xc = x_min

if (xc < x_min) :
    xc = x_min
    if (r>125 & r <120):
        xc = x_min

dynamixel.set_position(ser, servo_id, xc)
dynamixel.send_action_packet(ser)

if (r>=120):
    answer = raw_input(" Parar/comecar 'Enter'.").lower()
    if (answer=="p"):
        xc = x_atual
        dynamixel.set_position(ser, servo_id, xc)
        dynamixel.send_action_packet(ser)
    elif (answer == "s"):
        xc = x_atual
        dynamixel.set_position(ser, servo_id, xc)
        dynamixel.send_action_packet(ser)
        time.sleep(5)
        controle()

controle()
```