

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CÂMPUS CORNÉLIO PROCÓPIO
COORDENAÇÃO DO CURSO DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL**

EDUARDO LINO DE OLIVEIRA

**CONSTRUÇÃO DE UM BRAÇO ROBÓTICO DIDÁTICO COM
TRÊS GRAUS DE LIBERDADE CONTROLADO POR ARDUINO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CORNÉLIO PROCÓPIO

2014

EDUARDO LINO DE OLIVEIRA

**CONSTRUÇÃO DE UM BRAÇO ROBÓTICO DIDÁTICO COM
TRÊS GRAUS DE LIBERDADE CONTROLADO POR ARDUINO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial à
obtenção do título de Tecnólogo em
Automação Industrial, da
Coordenação de Automação
Industrial - COAUT- Universidade
Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Professor Dr. Marcio
Mendonça

CORNÉLIO PROCÓPIO

2014

EDUARDO LINO DE OLIVEIRA

**CONSTRUÇÃO DE UM BRAÇO ROBÓTICO DIDÁTICO COM TRÊS GRAUS
DE LIBERDADE CONTROLADO POR ARDUINO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado às 19 h do dia 29 de outubro de 2014 como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnólogo em Automação Industrial da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Marcio Mendonça
Professor Orientador
UTFPR/ Campus Cornélio Procópio

Prof. Me. Marco Antônio Ferreira Finocchio
Professor Convidado
UTFPR/ Campus Cornélio Procópio

Prof. Me. Jancer Frank Zanini Destro
Professor Convidado
UTFPR/ Campus Cornélio Procópio

Dedico este trabalho em memória
de Maria Aparecia de Oliveira.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me iluminado e me dado forças para que pudesse vencer mais essa etapa.

A minha gratidão a minha esposa Thais, que me apoio e incentivo inconstitucional.

Agradeço aos meus pais Neuza e Aparecido, pela educação a mim dirigida, fator imprescindível para chegar até aqui.

Agradeço aos meus irmãos Edinei, Edmilson e Eder pelo apoio e por serem exemplos a ser seguidos.

Agradeço ao meu orientador e professor Marcio Mendonça, pela orientação, apoio, incentivo e principalmente paciência.

Agradeço aos amigos que fiz durante a graduação, que foram incentivadores durante tempos de desânimo.

Agradeço todos os servidores da Universidade Tecnológica do Paraná – Campus Cornélio Procópio, em especial aos professores que tive aula.

Enfim, me desculpo por aqueles que contribuíram de certa forma diretamente ou indiretamente, e não mencionei nestas palavras, porém podem ficar certas da minha gratidão.

“A teoria também se converte em
graça material uma vez que se
apossa dos homens.”
(Karl Marx)

RESUMO

OLIVEIRA, Eduardo L. de. Construção de um Braço Robótico Didático com Três Graus de Liberdade Controlado por Arduino. 2014.59f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Automação Industrial) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2014.

Este trabalho de conclusão de curso consiste na construção de um braço robótico com um *Software* de controle por *Arduino*® que tem como finalidade o auxílio em trabalhos didáticos. O sistema é formado por um manipulador robótico articulado com três graus de liberdade, de juntas rotativas, acionamento com Servomotores, uma garra com dois dedos, controlada através de uma linguagem de programação e com malha de controle aberta. Para isto será apresentado um breve histórico sobre dos robôs, as configurações de braço robótico e os cálculos cinemáticos. Conhecendo especificamente todos os componentes e seus funcionamentos inseridos no projeto, é apresentada uma narrativa passo a passo da construção, apresentando os resultados obtidos. Assim a abordagem de trajetória se torna possível, do qual são aplicadas duas formas: automático por planejamento de trajetória e via *joystick* onde o usuário controla manualmente. Por fim apresentam-se as considerações finais, mostra as dificuldades e apresenta sugestões para possíveis trabalhos que podem ser aplicado ao projeto.

Palavras - chave: Braço robótico. Manipulador. Arduino.

ABSTRACT

OLIVEIRA, Eduardo L. de. **Building a Robotic Arm Guided with Three Degrees of Freedom Controlled by Arduino**. 2014. 59f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Automação Industrial) - Federal Technology University - Paraná. Cornélio Procópio, 2014

This completion of course work consists of construction of a robotic arm with control software for Arduino® which aims to aid in the teaching work. The system consists of an articulated robotic manipulator with three degrees of freedom, rotating together with drive servomotors, a gripper with two fingers, controlled by a programming language and open loop control. For it will be presented a brief history of robots, robotic arm settings and kinematic calculations. Specifically knowing all the components and their workings included in the project, a narrative is presented step by step construction, presenting the results was obtained. Thus the approach trajectory becomes possible, which is applied in two ways: by automatic path planning and joystick controls where the user manually. Finally we present the concluding remarks, shows the difficulties and make suggestions for possible jobs that can be applied to the project.

Keywords: Robotic arm. Handler. Arduino.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -Tipos de articulações	19
Figura 2 - Tipos de braços robóticos	20
Figura 3 - Modelo de braço robóticos elétricos	21
Figura 4 - Modelo robóticos: hidráulico e pneumático	22
Figura 5 -Tipos de garras	23
Figura 6 - Sistema de controle de malha aberta	24
Figura 7 - Sistema de controle de malha fechada	25
Figura 8 - Braço similar ao projeto.....	26
Figura 9 - Braço em duas vista	27
Figura 10 - Tipos de braços robóticos	31
Figura 11 -Servomotores	32
Figura 12 - Servomotor desmontado.....	33
Figura 13 - Malha de controle do Servomotor	34
Figura 14 - Pulso de controle do Servomotor	34
Figura 15 - Arduinos: Uno, Leonardo, Mega e Nano	35
Figura 16 - Diagrama de bloco do Arduino Mega 2560.....	36
Figura 17 - Configuração do Arduino Mega 2560.....	38
Figura 18 - Arduino IDE com código escrito.....	39
Figura 19 - <i>Joysticks</i> do projeto.....	40
Figura 20 - Mini <i>push button switch</i>	40
Figura 21 - Esquema de ligação do botão e a tabela verdade.....	41
Figura 22 - Peças de junção	41
Figura 23 - Peças do braço robotico	42
Figura 24 - eixo para ligação da articulação	43
Figura 25 - Garra utilizada no projeto	43
Figura 26 - Cabo para conexão elétrica	44
Figura 27 - Madeira para plataforma	44
Figura 28 - Base do braço robótico	46
Figura 29 - Instalação do primeiro elo	46
Figura 30 - Instalação do segundo elo	47
Figura 31 - Braço robotico mecânico.....	48
Figura 32 - Esquema de ligação Arduino - Servomotores.....	49
Figura 33 - Esquema de ligação <i>Joystick</i> - Arduino.....	50
Figura 34 - Braço robótico completo	51
Figura 35 - Controle do <i>joystick</i> I.....	55
Figura 36 - Controle do <i>joystick</i> II.....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Posicionamento do Servomotor	34
Tabela 2 - Característica do controlador	37
Tabela 3 - Ordem de ligação Arduino - Servomotores	49
Tabela 4 - Ligação do <i>joysticks</i> para o Arduino	50
Tabela 5 - Trajeto ponto inicial – objeto	53
Tabela 6 - Trajeto ponto inicial objeto – ponto final objeto	53
Tabela 7 - Trajeto ponto final objeto – ponto inicial	54

LISTA DE SIGLAS

aC	antes de Cristo
CC	Corrente Continua
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
DC	<i>Direct Current</i>
GND	<i>Ground</i>
HZ	<i>Hertz</i>
I/O	<i>Input / output</i>
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
mA	<i>miliampere</i>
MDF	<i>Medium Density Fiberboard</i>
MHZ	<i>Megahertz</i>
V	Volts
un	unidade

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 OBJETIVOS.....	14
1.2 JUSTIFICATIVAS.....	15
1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	15
2 DEFINIÇÃO.....	17
2.1 HISTÓRICO.....	17
2.2 ANATOMIA DOS BRAÇOS MECÂNICOS.....	18
2.3 CLASSIFICAÇÃO DOS BRAÇOS ROBÓTICOS.....	19
2.3.1 Movimentação das Articulações.....	21
2.4 EFETUADORES.....	22
2.4.1 Feramentas Especiais.....	22
2.4.2 Garras Mecânicas.....	23
2.5 UNIDADE DE CONTROLE.....	24
2.5.1 Sistema de Controle em Malha Aberta.....	24
2.5.2 Sistema de Controle em Malha Fechada.....	25
2.5.3 Linguagem de Programação.....	25
2.6 MODELAGEM CINEMÁTICA.....	26
3 CARACTERÍSTICAS DOS COMPONENTES.....	31
3.1 SERVOMOTOR.....	31
3.1.1 Controle do Servomotor.....	33
3.2 ARDUINO.....	35
3.2.1 Características do Arduino MEGA 2560.....	36
3.2.2 Ambiente de Desenvolvimento Arduino.....	38
3.3 <i>JOYSTICK</i>	39
3.4 BOTÃO.....	40
3.5 PEÇAS PARA CONSTRUÇÃO MECÂNICA DO BRAÇO ROBÓTICO.....	41
3.5.1 Materiais Para Estruturação.....	41
3.5.2 Garra.....	43
3.5.3 Materiais de Apoio.....	44
4 CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO.....	45
4.1 CONSTRUÇÃO MECÂNICA.....	45
4.2 CONSTRUÇÃO ELÉTRICA.....	48
4.3 RESULTADO.....	51
5 TRAJETÓRIA.....	52
5.1 TRAJETÓRIA PLANEJADA.....	52
5.2 CONTROLE VIA <i>JOYSTICK</i>	54
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	56

6.1 DIFICULDADES ENCONTRADAS	56
6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	57
REFERÊNCIAS.....	58

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho de conclusão de curso consiste na construção de um braço robótico didático, utilizando de peças e ferramentas adequadas. Através do controlador com uma linguagem de programação compilada, faz com os motores movimentem os elos tornando uma cinemática aberta.

O braço robótico é um manipulador capaz de realizar inúmeras tarefas, sendo capaz de repeti-las. Com a função principal de mover partes, objetos, ferramentas e dispositivos especiais em pontos e trajetórias pré-programadas (ROSÁRIO, 2010).

1.1 OBJETIVOS

Construir um braço robótico didático manipulador, com controle de movimentos em uma interface de programação amigável.

Ao expor o objetivo geral, torna possível desencadear os objetivos específicos, sendo estes os seguintes:

- Possuirá uma garra em formato de pinça como ferramenta manipuladora.
- Montar o braço robótico mecanicamente com três graus de liberdade;
- Fazer uma linguagem de programação e compilar na plataforma para movimentar do braço robótico;
- Aplicar controle em malha aberta;
- Conhecer os graus de liberdade do braço na prática;
- Identificar as melhores trajetórias de movimento para a manipulação dos objetos;
- Viabilizar métodos de manipular as trajetórias manualmente;
- Testar os movimentos do braço.

1.2 JUSTIFICATIVAS

O braço robótico didático com interface programável como ferramenta didática que traz ao graduando mais uma opção de conhecimento para aplicação de linguagem de programação, além de também utilizar sistemas eletrônicos e parâmetros de controles.

A utilização do braço robótico contribui em vários fatores como:

- Fatores técnicos - Denota a concretização do que se aprendeu em aula, que além de ser base para a montagem, salienta a necessidade de pesquisa.
- Fatores didáticos - Enfatiza a aprendizagem do conteúdo programático das disciplinas de robóticas para o aluno em sala de aulas e atividade laboratoriais, pois permite a aplicação da teoria de trajetória de braços robóticos na prática de forma simples e atrativa.
- Fatores sociológicos - Contribui para que o aluno compreenda que após a sua graduação, provavelmente confrontara com situações similares na indústria.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O presente capítulo demonstrou uma breve introdução sobre o braço robótico didático, além de especificar o objetivo principal, objetivos específicos e justificar os fatores que contribuíram para o tema de pesquisa. Sendo assim, o documento se estrutura da seguinte forma:

- No capítulo 2, demonstra o conceito de robô, o histórico atribuído aos acontecimentos para os robôs modernos. Também é mencionado a anatomia dos braços robóticos e aspecto construtivo, bem como atuadores, controle e equações cinemática direta, da cinemática inversa e da precisão cartesiana.
- No capítulo 3, descreve-se os componentes do braço robótico, suas características e seu funcionamento.

- No capítulo 4, apresenta a forma de montagem, dividida em duas partes: montagem mecânica e montagem elétrica, também são mostradas o resultado do braço robótico completo.
- No capítulo 5 demonstra o planejamento de trajetórias de forma automática e o funcionamento do projeto utilizando o joystick como acionador.
- E por fim, no capítulo 6 estabelece as conclusões feitas em relação ao trabalho, as dificuldades e as sugestões para a continuidade da pesquisa.

2 DEFINIÇÃO

Robôs são máquinas eletroeletrônicos capaz de interagir com o ambiente, podendo desempenhar diversas funções do qual foi programado. Existem inúmeras aplicações que vão desde uma simples impressora até num procedimento cirúrgico de alto risco (SHHEIBIA, 2001).

A construção utiliza de estudo ligada a engenharia elétrica, a engenharia mecânica e da ciência da computação.

O uso de robôs é cada vez mais frequente na sociedade atual considerando sua eficiência, pois possibilitam atividades em locais difíceis e até impossíveis para o ser humano. Tarefas que são muito bem empenhadas por estas máquinas mecatrônicas. (ROSÁRIO, 2010)

2.1 HISTÓRICO

O homem sempre possuiu a idéia de uma máquina com inteligência artificial, capaz de agir como ele (NIKU, 2011, ROSÁRIO, 2005), no entanto essa hipótese está cada vez mais próxima de se tornar realidade devido ao tremendo avanço da tecnologia.

No século IV aC na Grécia, Aristóteles relata a utilização de instrumentos empregados a certos trabalhos, sem auxílio da mão humana, com ênfase no conceito mestre escravo.

A revolução industrial no século XIX contribui com novas fontes de energia, e de novos mecanismos e instrumentos, tornando possível a evolução de máquinas e seus respectivos controles.

O termo robô (“*robot*”) veio da obra de ficção de *Karel Capek* em 1922, tendo origem na palavra tcheca *robotnik*, a idealização de um “homem máquina” já era bem explícita nesta época, mesmo sendo uma ficção.

Por volta de 1940 o visionário Isaac Asimov em seu livro, “*I, Robot*” (“Eu, Robô”), apresentou as três leis da robótica, as quais ditam as regras básicas para que robôs e seres humanos convivam de forma pacífica. Sendo estas as seguintes:

1ª lei: “Um robô não pode ferir um ser humano ou, por ócio, permitir que um ser humano sofra algum mal”.

2ª lei: “Um robô deve obedecer às ordens que lhe sejam dadas por seres humanos, exceto nos casos em que tais ordens contrariem a Primeira Lei”.

3ª lei: “Um robô deve proteger sua própria existência, desde que tal proteção não entre em conflito com a Primeira e Segunda Lei”.

Entre os anos de 1950 e 1960, foi inserido o uso de sensores que possibilitou um avanço grande na robótica, tornando o sistema de manufatura industrial mais confiável e eficiente.

Em 1984 Asimov criou uma quarta lei ou lei zero, a qual diz: “Um robô não pode fazer mal à humanidade e nem, por inação, permitir que ela sofra algum mal”. Estas leis da robótica são levadas a sério por muitos pesquisadores da área, mesmo que atribuído a obras de ficção.

2.2 ANATOMIA DOS BRAÇOS MECÂNICOS

A articulação de um braço robótico (GROOVER, 2011) baseia no movimento do corpo humano, o sistema de movimentação consiste em cada elo ligado ao outro um determinado movimento, proporcionando ao robô o chamado grau de liberdade.

Grande parte dos braços robóticos possui uma base que pode ser estacionária ou móvel onde recebe a ligação aos elos. Os números de elos que um robô soma o grau de liberdade que a extremidade vai atuar.

Cinco tipos de articulação são descritos na utilização de robôs, dois tipos proporcionam o movimento translação e três tipos proporcionam o de rotação (figura 1). Os tipos de articulação são:

- a) Articulação linear- há um movimento deslizante entre o elo de entrada e o de saída e são paralelos entre si.
- b) Articulação ortogonal - também possui o movimento deslizante, entretanto os elos são perpendiculares.
- c) Articulação rotacional - o movimento de rotação perpendicular entre os elos de entrada e saída.

d) Articulação de torção – Assim como na articulação rotacional, envolve o movimento de rotação, porém os elos são paralelos.

e) Articulação rotativa - o movimento de rotação também é empregado, sendo que elo de entrada é paralelo e o elo de saída é perpendicular.

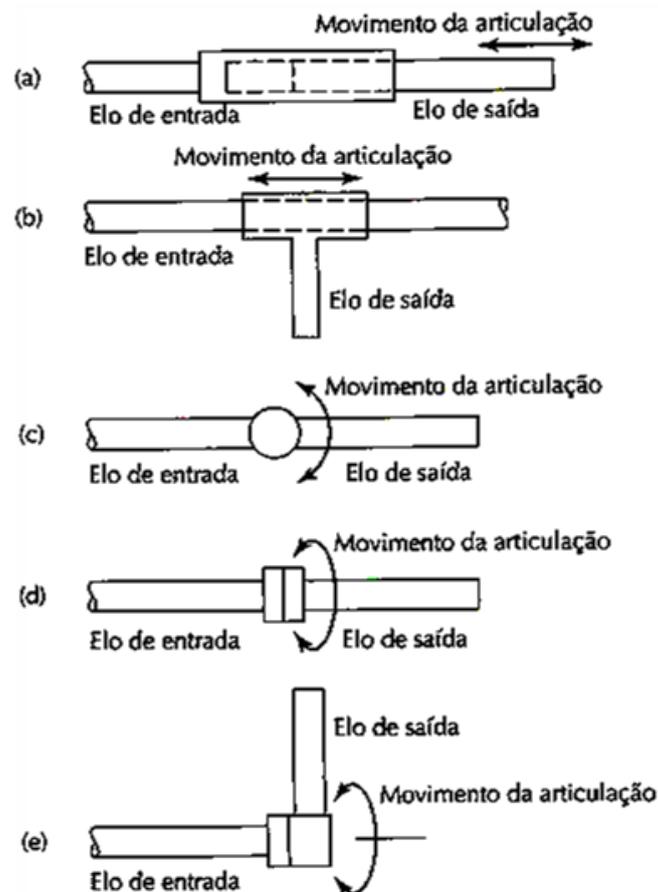


Figura 1 – Tipos de articulações
Fonte: Groover (2011).

2.3 CLASSIFICAÇÃO DE BRAÇOS ROBÓTICOS

Para Groover (2011), existem cinco configurações básicas de robôs ilustradas na figura 2, sendo estas as seguintes:

a) Polar - possui um braço deslizante em relação ao corpo, gira em torno de um eixo vertical, como também em horizontal;

- b) Cilíndrico - consiste em uma coluna vertical onde o braço move para cima e para baixo, direita e esquerda;
- c) Articulado - parecido com as movimentações de um braço humano, sua estrutura gira sobre uma base e suas articulações são comparadas ao ombro e cotovelo.
- d) Cartesiano - tem a direção da linha reta, é formado por três articuladores deslizante;
- e) Scara - similar ao robô articulado, excerto pelo ombro e o cotovelo que tem o movimento rotacional.

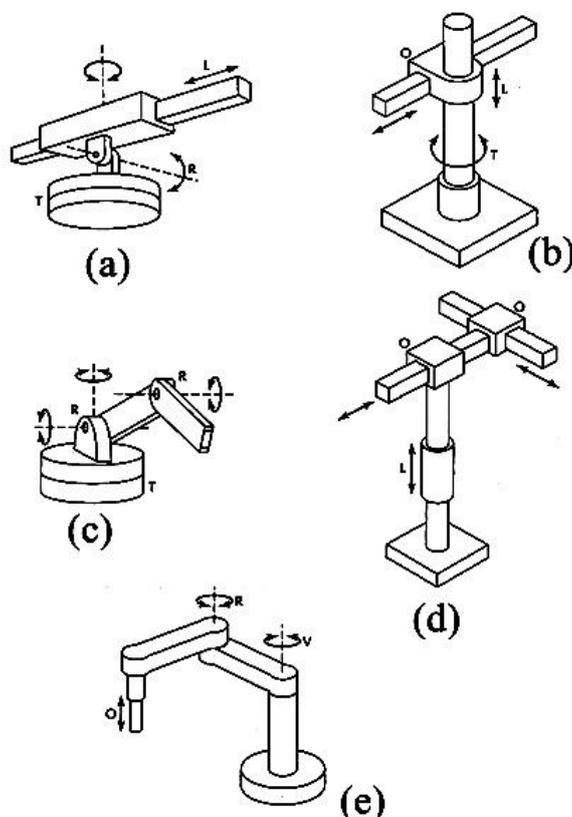


Figura 2 – Tipos de braços robóticos
Fonte: Groover (2011).

Dentre as quatro formas de configuração utilizará o articulado como modelo, pois satisfaz as características de movimentação dos componentes. Possui o movimento de torção, que dado um ponto fixo inicial, moverá todo braço robótico para ambos os lados, já o movimento rotacional torna possível o desencadeamento perpendicular dos elos.

2.3.1 Movimentação das Articulações

Os atuadores (GROOVER, 2011) são responsáveis por mover as articulações do braço robótico. Existem três tipos de sistema de movimentação, suas aplicações são de acordo com o projeto, dimensão e característica do braço robótico. Os atuadores são movidos pelos seguintes sistemas: elétrico, hidráulico e pneumático.

Sistemas elétricos utilizam motores eletromotriz para este fim, podemos citar como exemplo os motores de passo e o Servomotores. Este sistema é o mais utilizado devido à precisão quanto ao uso na robótica, além de permitir uma maior gama de controle. A figura 3 mostra um exemplo de braço robótico elétrico.



Figura 3 – Modelo de braço robótico elétrico
Fonte: Shheibia (2001).

Sistemas hidráulico e pneumático quando aplicado de em braços, utiliza pistões lineares e pás rotativas. O uso de movimentação pneumática se aplica em robôs menores proporção, enquanto que o sistema hidráulico se aplica em sistemas robóticos maiores, pois é capaz de conseguir manipular toneladas devido ao grau de força. A figura 4 ilustra esses dois modelos.

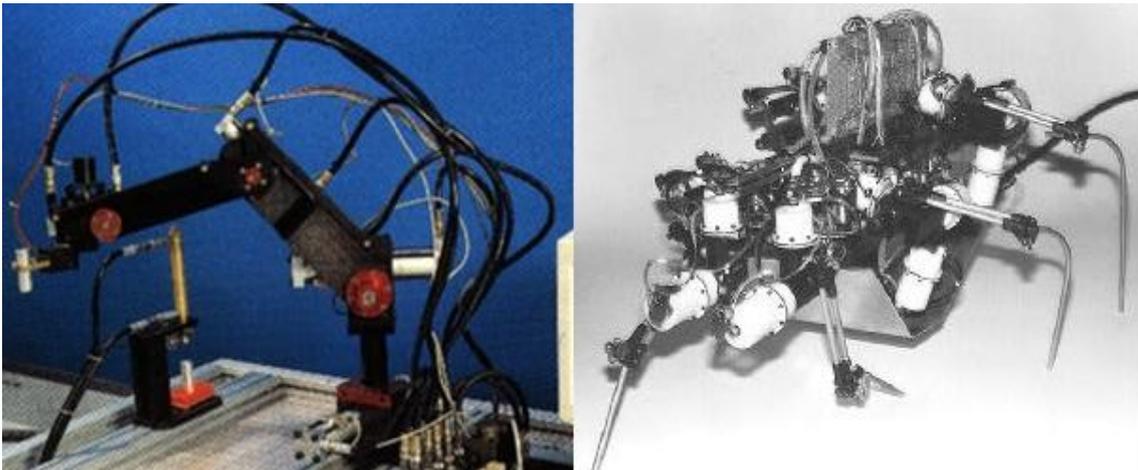


Figura 4 – Modelos robóticos: hidráulico e pneumático
Fonte: Shheibia (2001).

No braço robótico utilizaremos o sistema elétrico com Servomotores para movimentação dos elos, inclusive a pinça.

2.4 EFETUADORES

Os braços robóticos são desenvolvidos para fazer uma determinada função, para isto, na sua extremidade terminal é fixado um manipulador mecânico, sendo este componente conhecido como efetuator.

Os efetutores são divididos em dois tipos: ferramentas especiais e garras mecânicas. Cada tipo é utilizado especificamente para uma ação ou trabalho de que foi projetado.

2.4.1 Ferramentas Especiais

Fixado na extremidade final do braço robótico, que tem por função principal posicionar e orientar esse tipo de ferramenta, com relação da peça que será trabalhada.

Em geral o uso está associado em inúmeras tarefas tradicionais, podemos citar: o porta eletrodo, as pistolas de aspersão, pistolas de pintura, dispositivos para soldagem, porta- rebolo, maçarico, sistema de limpeza ou corte por jato entre outros.

2.4.2 Garras Mecânicas

A comparação das garras mecânicas com a mão humana é inevitável, pois a mão tem uma gama de versatilidade para a manipulação de objetos. Comparando uma garra de dois dedos na manipulação de diferentes objetos, obteve sucesso em 40%. Já uma garra com três dedos, obteve sucesso em 90% na manipulação de diferentes objetos (Romano e Dutra, 2002).

Apesar de ser comparação para a construção de garra, ainda é pouco usado em robôs industriais, devido a sua complexidade de construção e controle.

Observando também as forma de preensão deve ser considerada a forma a ser utilizada, tendo em conta a forma, massa, material e rigidez do objeto a ser manipulado.

No projeto foi utilizada a garra de dois dedos, como pode ser visualizada na figura 5, com movimento rotativo. Este modelo possui um *range* limitado na abertura entre os dedos (ROSÁRIO, 2010).

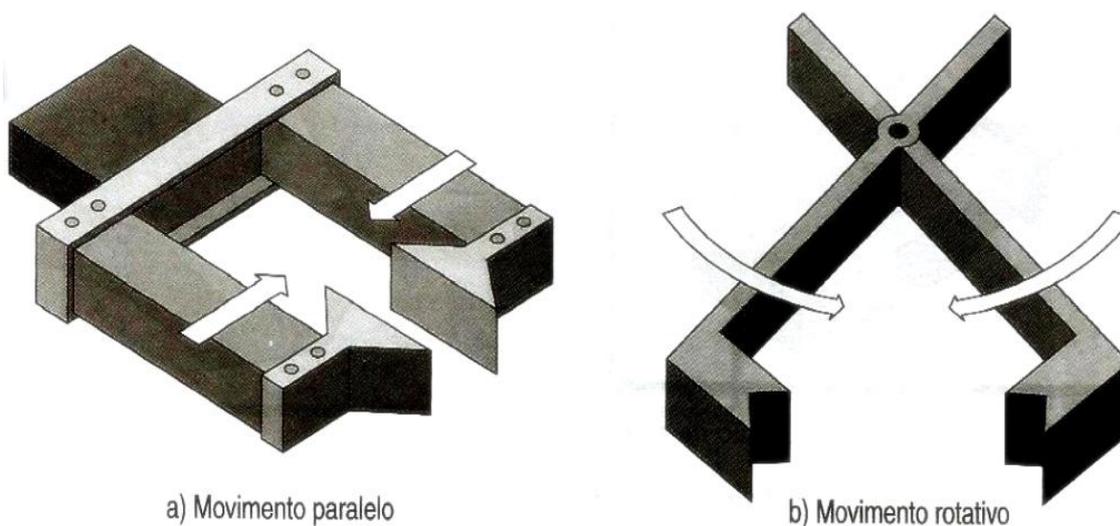


Figura 5 – Tipos de garras
Fonte: Rosário (2010).

2.5 UNIDADE DE CONTROLE

No que diz a respeito, SHHEIBIA (2001) equipara a um “cérebro”, sendo capaz de armazenar e comandar os atuadores do braço robótico. Existem dois tipos de controle: malha fechada e malha aberta.

Atualmente são baseados em microprocessadores utilizados como *hardware* de um sistema de controle, que através de uma linguagem de programação, faz com que o braço robótico realize de maneira coordenada os movimentos desejados (GROOVER, 2011).

2.5.1 Sistema de Controle em Malha Aberta

Em sistema de malha aberta não possui sistema realimentação, ou seja, durante o processo de funcionamento dos atuadores não há amostragem de resultados, devido à falta de sensores em comunicação à unidade de controle.

Com necessidade de atingir resultados mais precisos, rápido e com o desenvolvimento de sensores bastante exatos e eficazes, é cada vez menor o uso de malha aberta em sistemas (ROSÁRIO, 2010).

No projeto da unidade de controle, aplicamos esse tipo de sistema com mostrado na figura 6.

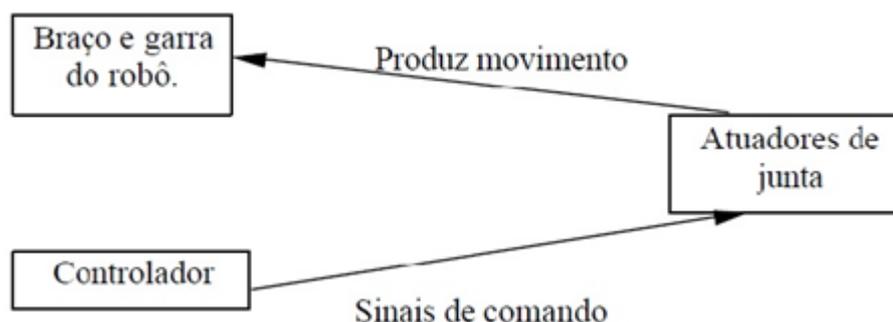


Figura 6 – Sistema de controle em malha aberta
Fonte: Shheibia (2001).

2.5.2 Sistema de Controle em Malha Fechada

Este sistema possui realimentação da saída do atuador, oriundo de sensor que envia informação unidade de controle, onde é comparada e reenvia ao atuador de forma corrigida.

As suas vantagens em relação ao controle de malha aberta são bem significativas, uma vez que se pode, por exemplo, manter posicionamentos precisos em um robô.

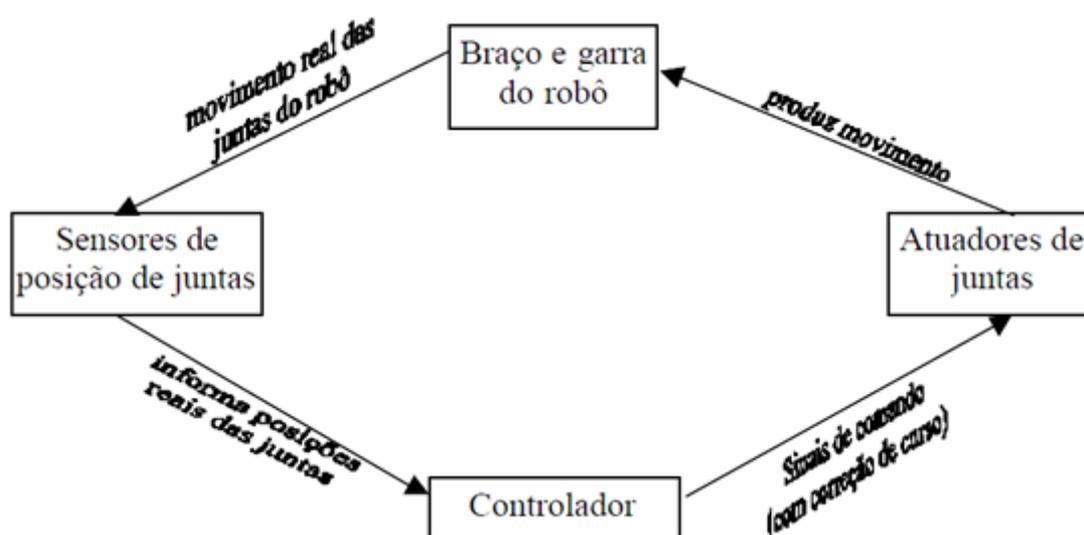


Figura 7 – Sistema de controle em malha aberta
Fonte: Shheibia (2001).

2.5.3 Linguagem de Programação

À medida que os computadores digitais assumiram a função de controle na robótica, o uso de linguagem de programação textual tornou-se um método necessário (GROOVER, 2011). A complexidade cada vez maior de desempenhos dos robôs em realizar decisões lógicas ao mesmo tempo, se faz estimulado seu uso.

Linguagens de programação textual oportunizam as seguintes operações:

- Capacidade sensitiva acentuada, com o uso de dados de entrada e de saídas analógicas, bem como digitais.
- Execução com incrementalção para controlar sistemas eletroeletrônicos.
- Lógica de programa que está além da capacidade de transmissão de dados.
- Processamento e calculo de dados parecidos com a linguagem de programação de computadores.
- Comunicação com outros sistemas de computadores

2.6 MODELAGEM CINEMÁTICA

A cinemática é a ciência que estuda o movimento na robótica. Aplicada ao braço robótico, onde deseja movimentar a sua extremidade de um determinado ponto inicial, para um ponto final, e dada através de uma equação cinemática inversa.

O braço robótico que iremos construir possui características idênticas à figura 8, que condiz os graus de liberdades. Sendo assim, obtemos as equações da cinemática direta, da cinemática inversa e da precisão cartesiana de um desse manipulador com 3 graus de liberdade, movendo-se no espaço. A junta J_1 gira sob um eixo vertical, enquanto que J_2 e J_3 possuem eixos horizontais (CARRARA, 2014).

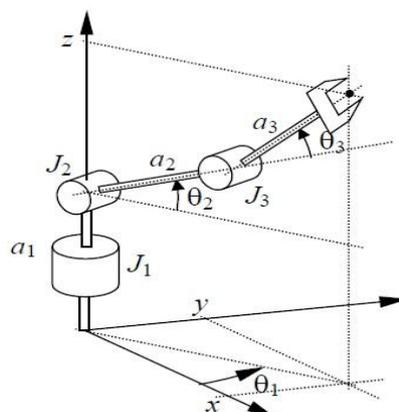


Figura 8 – Braço similar ao projeto
Fonte: Carrara (2014).

Para que possam ser visualizados os movimentos e os ângulos, são construídas duas vistas do braço robótico: superior e lateral mostrando, respectivamente, o movimento horizontal e os movimentos verticais. Com as principais medidas a serem obtidas por relações geométricas. A vista lateral é mostrada numa direção perpendicular à linha de interseção do plano vertical do movimento e o plano xy . A figura 9 mostra esquematicamente no plano cartesiano.

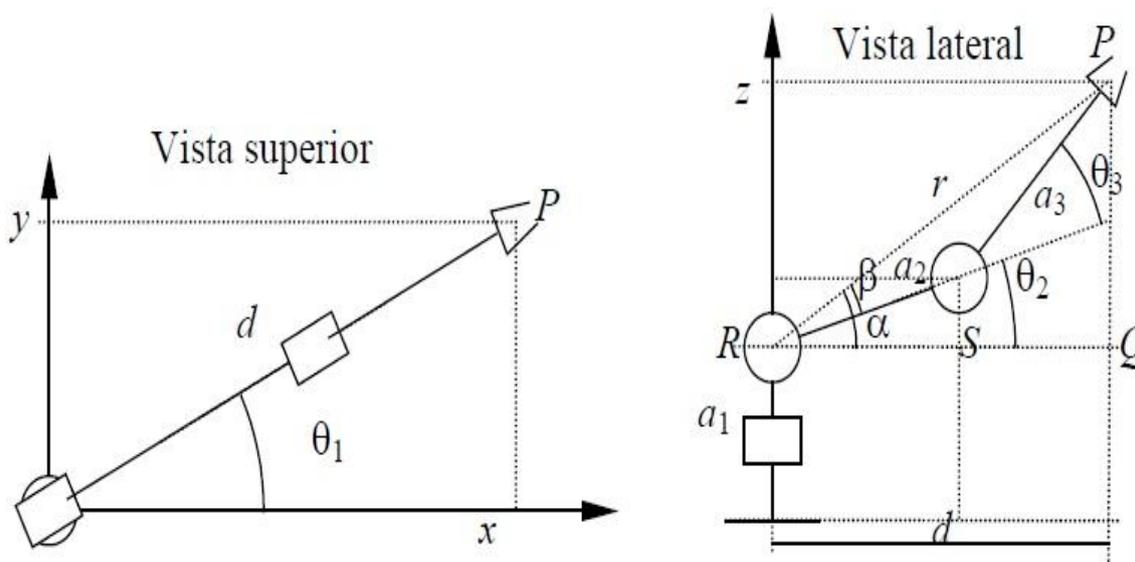


Figura 9 – Braço em duas vistas
Fonte: Carrara (2014).

A projeção do ponto P no órgão terminal sobre o plano xy fornece a distância horizontal d . Esta distância pode ser obtida pelas projeções dos elos a_2 e a_3 no plano, resultando:

$$d = a_2 \cos \theta_2 + a_3 \cos(\theta_2 + \theta_3) \quad (1)$$

Da vista superior, percebe-se que a distância d é a hipotenusa de um triângulo retângulo, o que permite que esta distância seja decomposta nas direções x e y :

$$x = d \cos \theta_1 = [a_2 \cos \theta_2 + a_3 \cos(\theta_2 + \theta_3)] \cos \theta_1 \quad (2)$$

$$y = d \operatorname{sen} \theta_1 = [a_2 \cos \theta_2 + a_3 \cos(\theta_2 + \theta_3)] \operatorname{sen} \theta_1 \quad (3)$$

$$z = a_1 + a_2 \operatorname{sen} \theta_2 + a_3 \operatorname{sen}(\theta_2 + \theta_3) \quad (4)$$

A cinemática inversa apresenta duas soluções para os ângulos a_2 e a_3 : cotovelo para baixo e cotovelo para cima. Uma vez que d representa a horizontal da projeção de P , então se deve mostrar esta distância em termos das variáveis conhecidas na cinemática inversa, que são x , y e z . Da vista superior expõe:

$$d = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (5)$$

Assim, a distância r , que vai do centro da junta $J2$ ao ponto P , conforme mostra a vista lateral pode também ser calculada por meio da hipotenusa do triângulo retângulo:

$$r^2 = d^2 + (z - a_1)^2 = x^2 + y^2 + (z - a_1)^2 \quad (6)$$

Aplicando agora a lei dos cossenos do triângulo, onde S é o centro da junta $J3$.

$$\theta_3 = \pm \arccos \left(\frac{x^2 + y^2 + (z - a_1)^2 - a_2^2 - a_1^2}{2a_2a_3} \right) \quad (7)$$

Da mesma forma, o ângulo θ_2 é obtido por meio de diferença entre os ângulos α e β . Neste caso, por geometria tem-se que:

$$\tan \alpha = \frac{z - a_1}{d} = \frac{z - a_1}{\sqrt{x^2 + y^2}} \quad (8)$$

e

$$\text{tang}\beta = \frac{a_3 \text{sen}\theta_3}{a_3 + a_3 \text{cos}\theta_3} \quad (9)$$

Como $\theta_2 = \alpha - \beta$, tem-se para este ângulo:

$$\theta_2 = \arctan \left[\frac{(2 - a_1)(a_2 + a_3 \text{cos}\theta_3) - \sqrt{x^2 + y^2} a_3 \text{sen}\theta_3}{\sqrt{x^2 + y^2}(a_3 + a_3 \text{cos}\theta_3) + (2 - a_1)a_3 \text{sen}\theta_3} \right] \quad (10)$$

Por último, o ângulo θ_1 será calculado com base na vista superior, por meio do arco tangente:

$$\theta_1 = \arctan \frac{y}{x} \quad (11)$$

O cálculo da precisão cartesiana, por ter 3 graus de liberdade tem-se o mesmo número de equações:

$$\Delta x = \left| \frac{\partial x}{\partial \theta_1} \right| \Delta \theta_1 + \left| \frac{\partial x}{\partial \theta_2} \right| \Delta \theta_2 + \left| \frac{\partial x}{\partial \theta_3} \right| \Delta \theta_3 \quad (12)$$

$$\Delta y = \left| \frac{\partial y}{\partial \theta_1} \right| \Delta \theta_1 + \left| \frac{\partial y}{\partial \theta_2} \right| \Delta \theta_2 + \left| \frac{\partial y}{\partial \theta_3} \right| \Delta \theta_3 \quad (13)$$

$$\Delta z = \left| \frac{\partial z}{\partial \theta_1} \right| \Delta \theta_1 + \left| \frac{\partial z}{\partial \theta_2} \right| \Delta \theta_2 + \left| \frac{\partial z}{\partial \theta_3} \right| \Delta \theta_3 \quad (14)$$

Derivando tem-se

$$\begin{aligned} \Delta x = & \left| [a_2 \text{cos}\theta_2 + a_3 \text{cos}(\theta_2 + \theta_3)] \text{sen}\theta_1 \right| \Delta \theta_1 \\ & + \left| [a_2 \text{sen}\theta_2 + a_3 \text{sen}(\theta_2 + \theta_3)] \text{cos}\theta_1 \right| \Delta \theta_2 \\ & + \left| a_3 \text{sen}(\theta_2 + \theta_3) \text{cos}\theta_1 \right| \Delta \theta_3 \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned}
 \Delta y = & |[a_2 \cos \theta_2 + a_3 \cos(\theta_2 + \theta_3)] \operatorname{sen} \theta_1| \Delta \theta_1 \\
 & + |[a_2 \operatorname{sen} \theta_2 + a_3 \operatorname{sen}(\theta_2 + \theta_3)] \cos \theta_1| \Delta \theta_2 \\
 & + |a_3 \operatorname{sen}(\theta_2 + \theta_3) \cos \theta_1| \Delta \theta_3
 \end{aligned}
 \tag{16}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta z = & |[a_2 \cos \theta_2 + a_3 \cos(\theta_2 + \theta_3)] \operatorname{sen} \theta_1| \Delta \theta_1 \\
 & + |[a_2 \operatorname{sen} \theta_2 + a_3 \operatorname{sen}(\theta_2 + \theta_3)] \cos \theta_1| \Delta \theta_2 \\
 & + |a_3 \operatorname{sen}(\theta_2 + \theta_3) \cos \theta_1| \Delta \theta_3
 \end{aligned}
 \tag{17}$$

3 CARACTERÍSTICAS DOS COMPONENTES

Montar o braço robótico didático com os materiais citados abaixo, utilizando de ferramentas apropriadas, tutoriais sobre os componentes e acessórios necessários para que funcione corretamente.

Dois componentes são base para que o braço robótico funcione: o atuador elétrico onde será utilizado o Servomotor, a unidade de controle processadora será executado pelo Arduino Mega®, ambos conectados com sistema de fiação e alimentados com uma fonte CC.

Através do *Arduino IDE*, software editor do processador, é possível construir uma sequência de comandos em uma linguagem de programação semelhante ao C++. Desse modo, pode-se compilar e demonstrar trajetórias diferentes em que a pinça pega um objeto e o move para outro lugar pré-determinado. Também foi proposto o uso de uma forma de controlá-lo manualmente, como por exemplo, o uso de um *joystick*.

O controle do braço robótico didático será realizado e malha aberta, por não existir sensores de retorno (*encoders*). A figura 10 demonstra como será o controle do braço robótico, para início da trajetória planejada utiliza um botão e na forma manual o *joystick*.

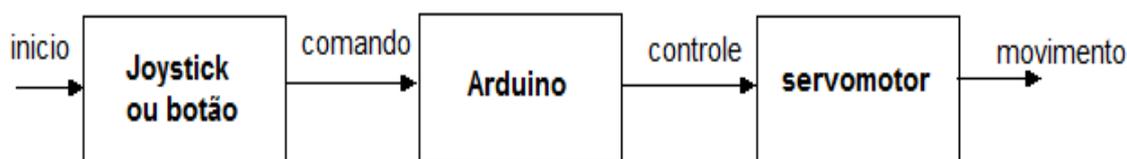


Figura 10 – Malha de controle do braço Robótico
Fonte: Autoria Própria.

3.1 SERVOMOTOR

Servomotor é um atuador de posição controlada de pequeno porte, no entanto é muito forte devido o sistema de engrenagem internamente. É extremamente útil para a robótica (DINIZ; MONTEIRO, 2001).

No projeto são responsáveis por mover as articulações do braço e o movimento da pinça de abre e fecha.



Figura 11 – Servomotores
Fonte: Autoria Própria.

Os Servomotores trabalham num range em graus, posicionando de acordo com pulso fornecido pela entrada. Possui 3 fios de entradas, onde o fio vermelho é alimentação de +5 volts, fio preto que é GND (terra) e laranja (em alguns Servomotores é branco) que é responsável pelo controle de posição, através de um sinal de PWM.

Seu controle é um sistema em malha fechada, com um motor DC, um potenciômetro como sensor de posição, engrenagens e uma placa eletrônica contendo um *driver* em ponte H e controlador comparador que chaveia e posiciona o motor. A figura 12 mostra os componentes internos.

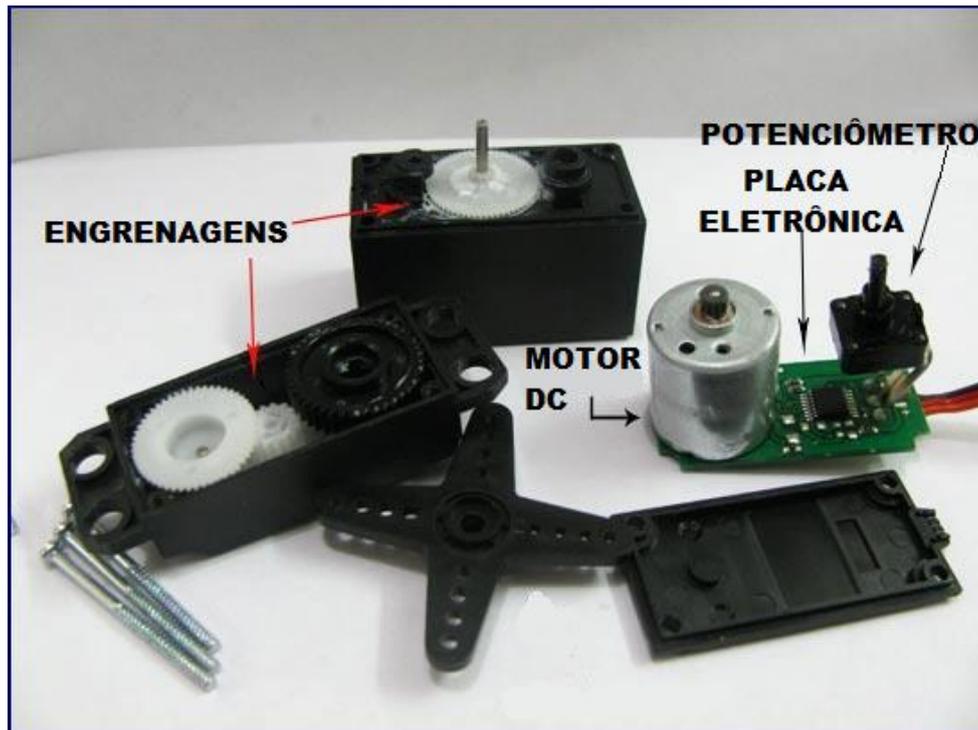


Figura 12 – Servomotor desmontado
 Fonte: Adaptado de Agnihotri (2014).

3.1.1 Controle do Servomotor

O funcionamento do Servomotor é a seguinte forma: um motor DC está conectado com um mecanismo de engrenagem que fornece *feedback* de um sensor de posição pelo potenciômetro.

O potenciômetro muda de posição correspondente à posição atual do motor, assim, a alteração da resistência do potenciômetro produz um sinal comparativo para manter o motor em uma determinada posição. Um sinal PWM é inserido através do fio de controle.

A largura do pulso é convertida numa tensão, fazendo o motor girar e levando o eixo de saída até a posição desejada, caso não alcance tal posição, o potenciômetro compara o erro e fornece ao controlador o lugar desejado do posicionamento do eixo conforme mostra a figura 13 sobre a malha de controle do Servomotor.

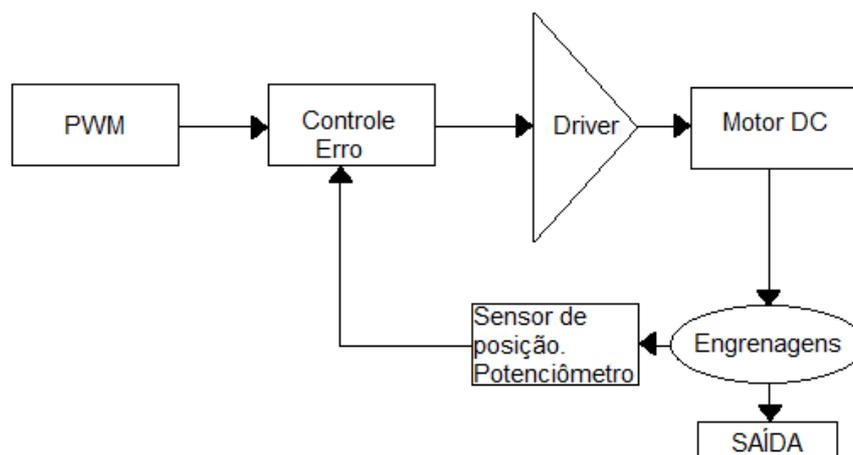


Figura 13 – Malha de controle do Servomotor
Fonte: Adaptado de Agnihotri (2014).

O PWM é configurado em uma amplitude de 5 volts, numa frequência de 50 Hz. O posicionamento do eixo fornecido de acordo com a largura do pulso de entrada conforme a tabela 1 (DINIZ; MONTEIRO, 2001).

O *range* de pulso varia 1 milissegundo sucessivamente até 2 milissegundos, obtendo no eixo de saída seu devido posicionamento angular com range de 0° a 180°. A figura 14 frisa a área a destaque, onde é feita a variação de largura do pulso.

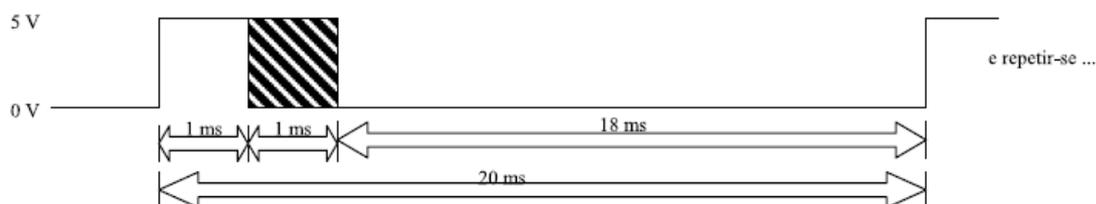


Figura 14 – Pulso de controle do Servomotor
Fonte: Diniz; Monteiro (2001).

Onde:

Tabela 1 - Posicionamento do Servomotor

Pulso (milissegundos)	Posição (Graus)
1	0
2	180

Fonte: Autoria Própria.

3.2 ARDUINO

Controlador *Arduino*, é uma plataforma de prototipagem eletrônica, possuindo a parte *hardware e software*. Surgiu em 2005 na Itália pelo professor Massimo Banzi, que queria ensinar eletrônica e linguagem de programação aos seus alunos (MCROBERTS, 2011).

Atualmente é utilizado em projetos pedagógicos e em *hobbies* como, por exemplo, em aeromodelismo.

As vantagens de utilizar o Arduino é o baixo custo, software para várias plataformas operacionais de computador tais como *Windows, Linux* entre outros, linguagem amigável e flexível, é completamente um software livre. Além disso, possui um acervo vasto na internet.

Existem vários modelos de Arduino, dentre eles podemos citar os seguintes: Arduino UNO, Arduino *Leonardo*, Arduino *Mega 2560*, Arduino Nano.



Figura 15 – Arduinos: Uno Leonardo, Mega e Nano
 Fonte: Adaptado de Arduino.cc (2014).

Há também alguns produtos compatíveis não oficiais que, possuem a terminação “*duino*” como forma de se referenciar ao dispositivo original.

O modelo que é usado no projeto é Arduino Mega, do qual será explicado a seguir.

3.2.1 Característica do Arduino MEGA 2560

O diagrama de bloco demonstra a arquitetura do micro controlador, a entrada de tensão e dados, o oscilador de *clock*, memórias e porta de entrada e saídas.

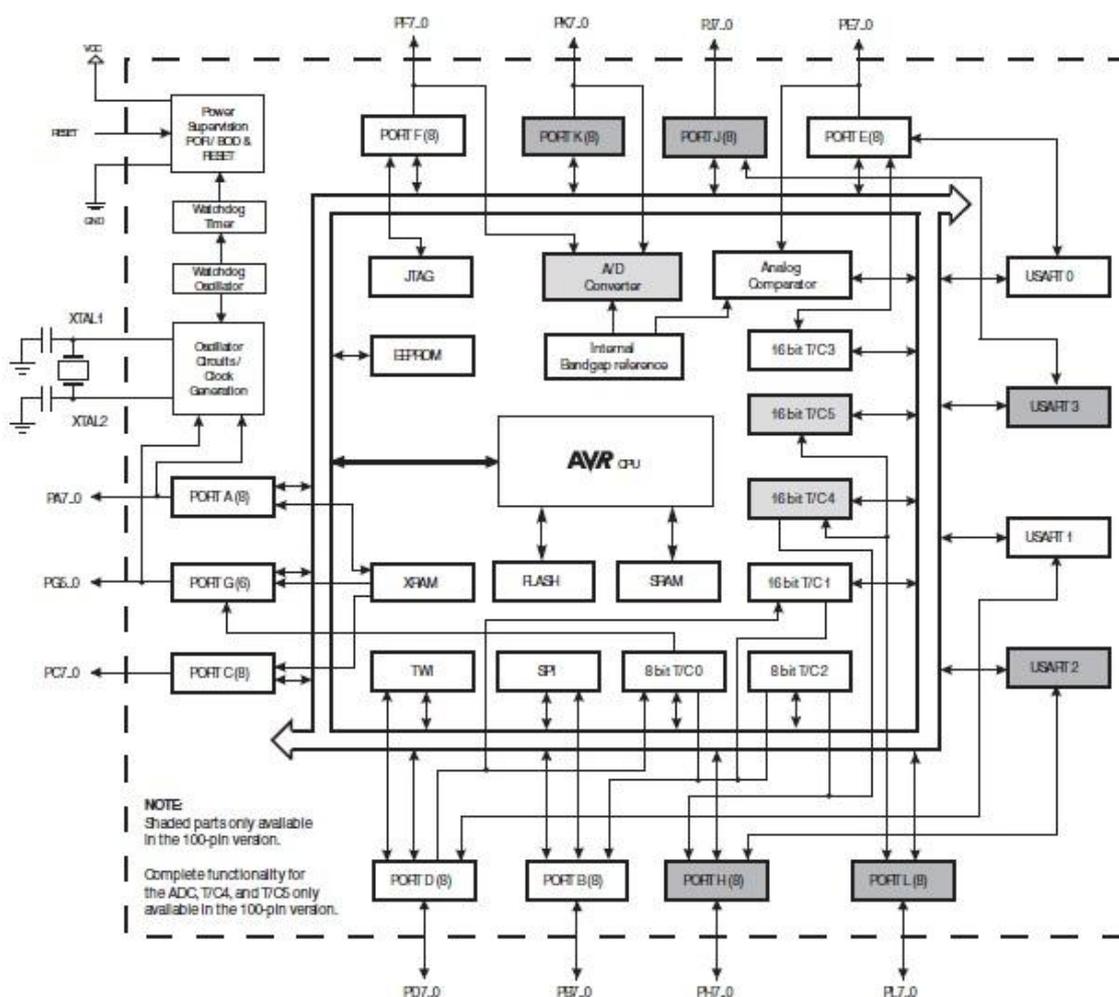


Figura 16 – Diagrama de bloco do Arduino Mega 2560
Fonte: Atmel (2014).

O Arduino Mega 2560 possui as seguintes configurações de funcionamento (Atmel, 2014):

- Memória *flash*: mantém os dados armazenados por um longo tempo sem a presença de alimentação elétrica.

- *EEPROM*: memória pode ser programada e apagada inúmeras vezes.
- *SRAM*: ao contrário da memória flash, precisa que seja mantida sua alimentação elétrica para manter os dados.
- Micro controlador: é um processador, faz as tomadas de decisões do Arduino, é uma CPU. Possui memória de dados e programa, um sistema de *clock*, portas de I/O, além de outros possíveis periféricos,
- *Shields*: são placas de circuito impresso com uma determinada função.
- *Ports*: pode ser configurado como entrada ou saídas de dados.

A tabela 2 especifica as características de funcionamento da placa:

Tabela 2 – Característica do controlador

Referência	Característica
Micro controlador	ATmega 2560
Tensão de operação	5V
Tensão de entrada (recomendada)	7-12V
Tensão de entrada (limites)	6-20V
Pinos de entrada e saída (I/O) digitais	54 (14 podem ser saídas PWM)
Pinos de entradas analógicas	16un
Corrente DC por pino I/O	40ma
Corrente DC para pino de 3,3V	50ma
Memória Flash	256 KB (8 KB são usados para o boot)
SAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Velocidade de Clock	16mhz

Fonte: Atmel (2014).

Na figura 17 está representada a localização dos principais componentes, demonstrando a pinagem e suas respectivas funções.



Figura 17 – Configuração do Arduino Mega 2560

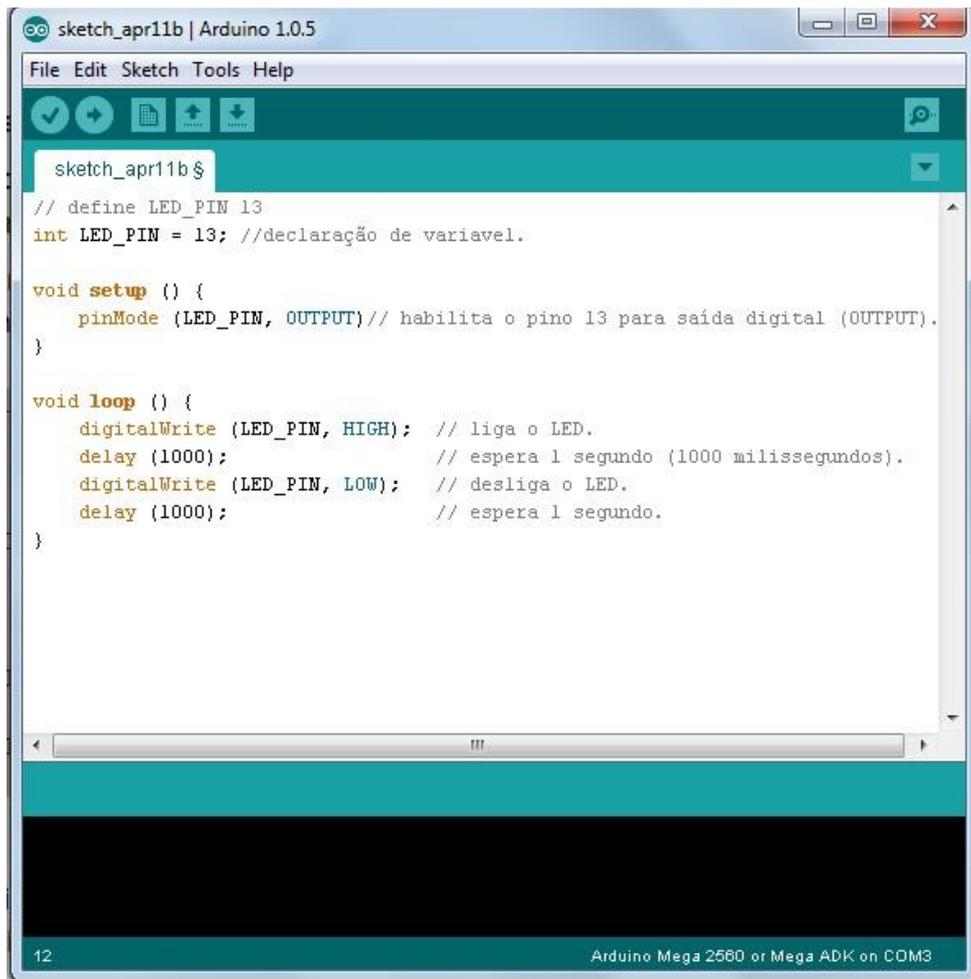
Fonte: Adaptado de Arduino.cc (2014).

3.2.2 Ambiente de Desenvolvimento do Arduino

O IDE é parte de *hardware* do Arduino serve para desenvolver o a linguagem desejada para o se quer controlar.

Possui uma sintaxe similar as de linguagens de programação comumente utilizadas “C e C++”.

A figura 18 mostra o programa com um exemplo de código escrito em que o LED ligado no pino 13 da PWM do Arduino pisque a cada 1 segundo e é comentada toda a sua estrutura.



```
sketch_apr11b | Arduino 1.0.5
File Edit Sketch Tools Help
sketch_apr11b $
// define LED_PIN 13
int LED_PIN = 13; //declaração de variavel.

void setup () {
  pinMode (LED_PIN, OUTPUT)// habilita o pino 13 para saída digital (OUTPUT).
}

void loop () {
  digitalWrite (LED_PIN, HIGH); // liga o LED.
  delay (1000); // espera 1 segundo (1000 milissegundos).
  digitalWrite (LED_PIN, LOW); // desliga o LED.
  delay (1000); // espera 1 segundo.
}

12 Arduino Mega 2560 or Mega ADK on COM3
```

Figura 18 – Arduino IDE com um código escrito
Fonte: Autoria Própria.

3.3 JOYSTICK

Com o intuito de tornar o braço robótico operacional, inserimos o joystick.

O tipo mais comum são os joysticks analógicos. Possui um botão e dois potenciômetros rotativos com resistências vão de 0 a 100 k Ω (em alguns casos até 150 k Ω).

O movimento esquerdo-direito do joystick (eixo X) muda a resistência de um dos potenciômetros, e o movimento frente - trás (eixo Y) muda a resistência do outro. Em geral são mantidos no centro de suas resistências por molas que ao movê-las sempre retorna ao mesmo local. (AGUIAR e LAUDARES, 2001).



Figura 19 – Joysticks do projeto
Fonte: Autoria Própria.

O joystick do projeto originou de um controle de *Play station II*®, obtido em materiais de reciclagem.

3.3 BOTÃO

É um interruptor pulsador que é acionado através do pressionar, gerando alterações de contato. Utilizamos no projeto um *Mini push button switch* (Figura 20)

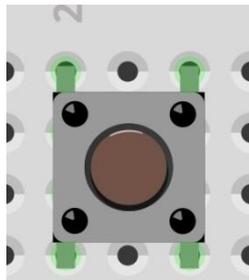


Figura 20 – Mini *push button switch*
Fonte: Autoria Própria.

O diagrama de ligação para obter os níveis *high* e *low* (auto e baixo), segue conforme a figura 21:

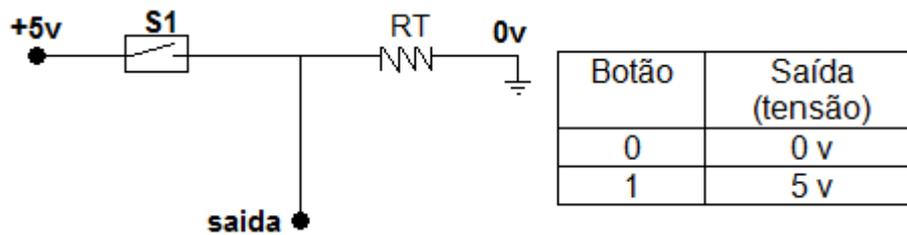


Figura 21 – Esquema de ligação do botão e a tabela verdade
Fonte: Autoria Própria.

3.5 PEÇAS PARA CONSTRUÇÃO MECÂNICA DO BRAÇO ROBÓTICO

Os componentes para estruturação é um tipo de kit que possui peças com furações e adaptável para o encaixe de outras peças, contudo alguns improvisos devem ser feitos.

3.5.1 Materiais Para Estruturação

Para as junções das peças foram utilizadas as seguintes peças (Figura 19):

- Parafusos com porcas e parafusos para madeira.
- Roldana com engate no Servomotor parafusável.
- Rolamento para movimentação das articulações dos elos.
- Rolamento para movimentação da base.

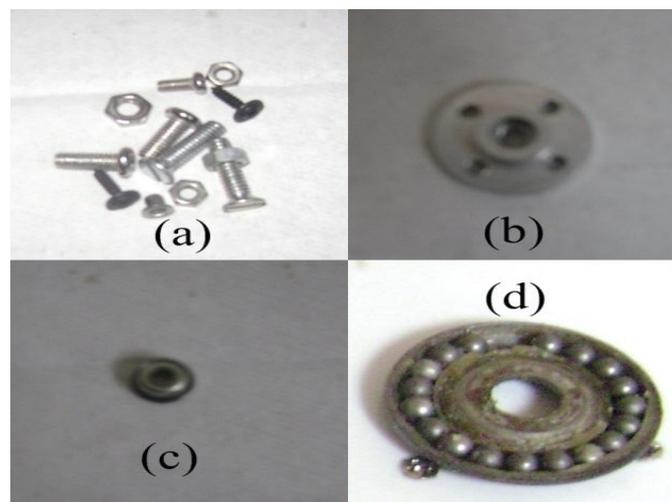


Figura 22 – Peças de junção
Fonte: Autoria Própria.

As peças abaixo são para a parte estrutural do braço robótico. Construídas em alumínio, possuindo diversas perfurações no intuito de fixarem os parafusos.

O elo é possui um formato de “U”, o suporte apropriado para acomodar os Servomotores que é fixado no final dos elos, há também vigas em “U” para a montagem da base.

A figura X, caracteriza as peças:

- a) Suporte para o Servomotor;
- b) Elo;
- c) Viga da base.

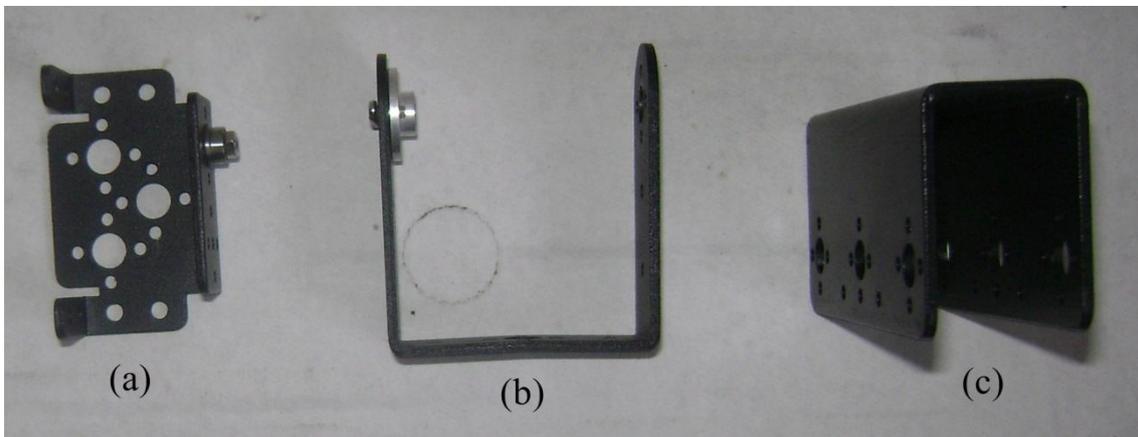


Figura 23 – Peças do braço robótico
Fonte: Autoria Própria.

Quando o Servomotor é acomodado, fixa-se um rolamento se opondo a saída rotativa, no intuito de obter um eixo para a união dos elos, dessa forma desencadeia o movimento de pêndulo, o que é essencial para os Servomotor articular as juntas de acordo com o ângulo em que se deseja.

A figura 24 indica com uma seta o eixo formado em é encaixado o elo para a próxima estrutura a ser colocada.

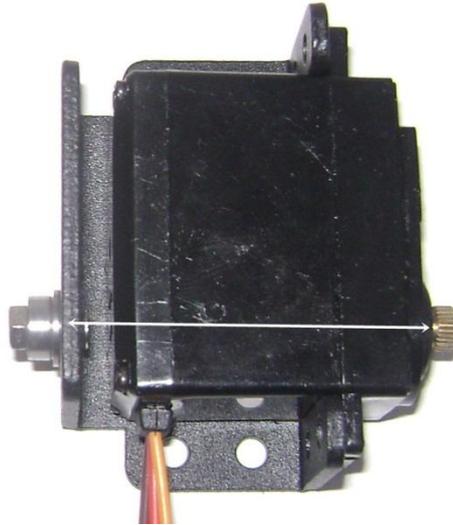


Figura 24 – Eixo pra ligação da articulação
Fonte: Autoria Própria.

3.5.2 Garra

A garra do trabalho é em alumínio e possui formato de pinça, tem por objetivo ser uma ferramenta de pegar e segurar os objetos (abrir e fechar). Em sua extremidade possui um local específico para fixação do Servomotor.

O *range* de abertura da garra é equivalente a 1/3 do giro total do Servomotor, fazendo necessário limitar-se através da linguagem de programação o controle de giro em somente este equivalente.



Figura 25 – Garra utilizada no projeto
Fonte: Autoria Própria.

3.5.3 Materiais de Apoio

Cabos tripolar com fiação devidamente marcada com cores e com pinos soldados em suas extremidades para fazer a ligações entre Servomotor o Arduino e a fonte de alimentação.

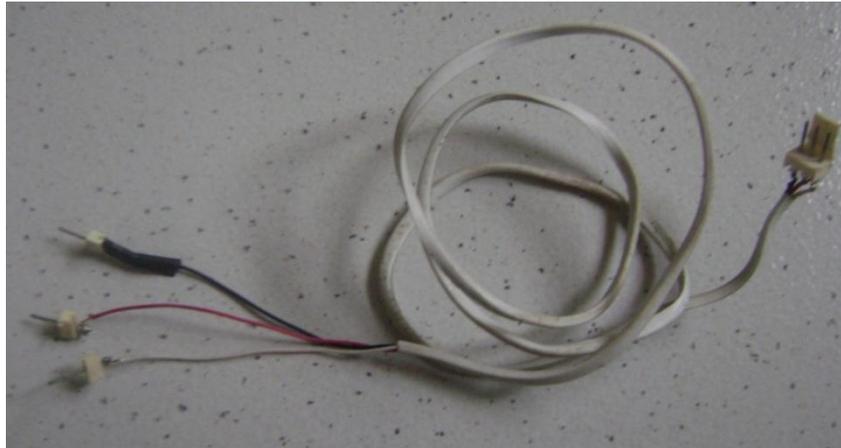


Figura 26 – Cabo para conexão elétrica
Fonte: Autoria Própria.

O conjunto do braço robótico didático é fixado numa plataforma feita em madeira MDF, com 20 milímetros de espessura e cortado no formato quadrado com 300 milímetros cada lado. Esta plataforma serve também como contrapeso do braço robótico, que quando acionados exerce uma força sobre si, ocasionando o mal funcionamento.



Figura 27 – Madeira para plataforma
Fonte: Autoria Própria.

4 CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO

Duas formas de montagem são narradas a seguir: a construção mecânica e a construção elétrica a seguir mostram-se nos resultados obtidos da estruturação do trabalho.

4.1 CONSTRUÇÃO MECÂNICA

A montagem se iniciou pela base, onde fixando um suporte de Servomotor para acomodação do mesmo, a fim de obter o giro dos elos. Também com mais três vigas presas entre si formou-se um quadrado para o apoio das próximas peças.

Então cortou-se um pedaço de plástico para fazer a tampa, furando corretamente a saída do eixo do Servomotor e para parafusar nas vigas. Utiliza-se também um plástico em formato de cantoneira que foi fixado na parte inferior da viga com o objetivo de parafusar na plataforma de madeira.

O rolamento que se colocou para parafusar e girar os elos veio de rodízio instalado para movimentar mobília, ou seja, aquelas rodinhas que ficam embaixo dos móveis.

Os plásticos da tampa e da cantoneira e o rolamento retirado do rodízio de móveis são refugos para reciclagem. Com a necessidade de materiais para adaptação, viu-se em estes objetos muita utilidade para o trabalho.

A figura 29 demonstra as vigas unidas entre si com o Servomotor acoplado no centro e também com a tampa de plástico parafusada, tendo um furo para a saída do eixo, que é fixado o rolamento da base para acomodação das próximas partes.

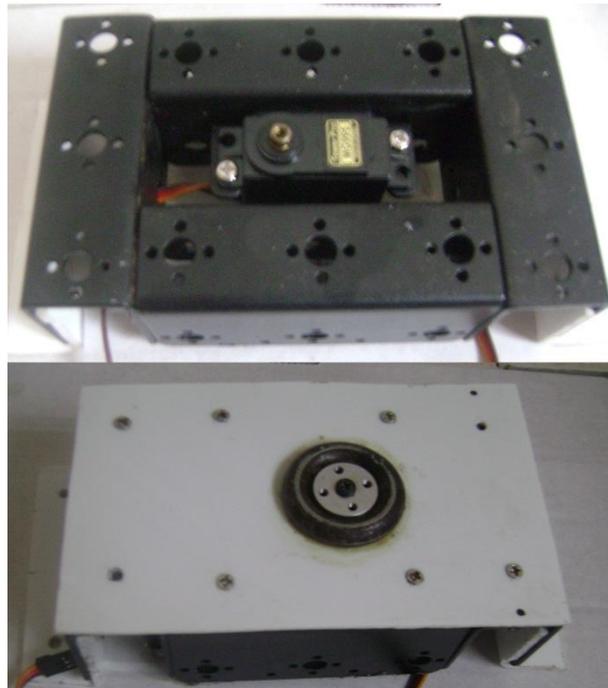


Figura 28 – Base do braço robótico
Fonte: Autorial Própria.

Com a finalização da base instalou-se os elos, e foi fixado mais um Servomotor através do seu suporte no rolamento da base, onde estão coladas duas hastes em oposição uma a outra, formando um “H”.

Com a instalação do primeiro elo, o braço robótico já se caracteriza em um pêndulo simples e também já possui o movimento rotativo da base.

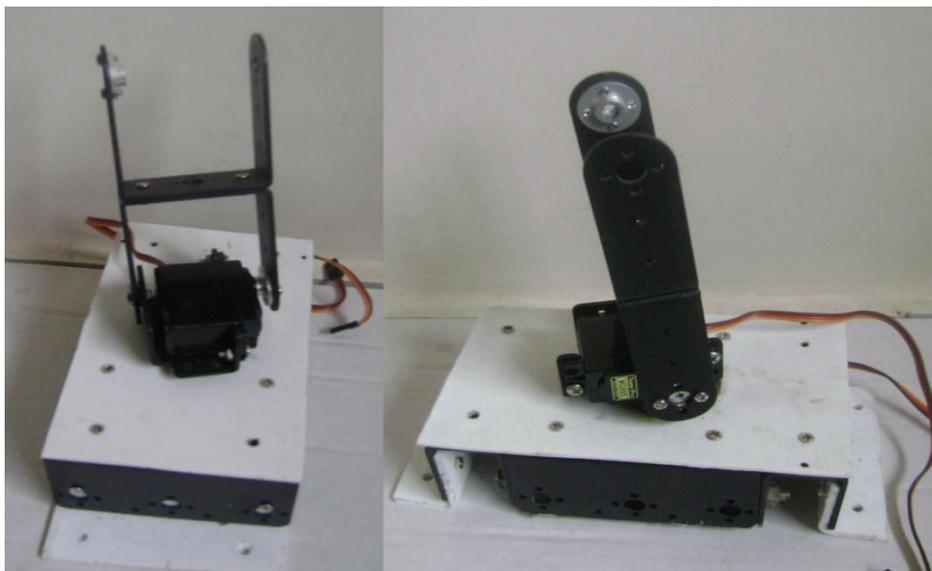


Figura 29 – instalação do primeiro elo
Fonte: Autorial Própria.

O segundo elo é instalado sobrepondo o primeiro, este será o último.

A junção com o primeiro elo é feita com Servomotor com o suporte e o rolamento oposto ao eixo. Na outra extremidade é parafusada uma haste invertida.

Neste ponto o braço robótico já possui seus 3 graus de liberdade, entretanto ainda falta a ferramenta manipuladora.

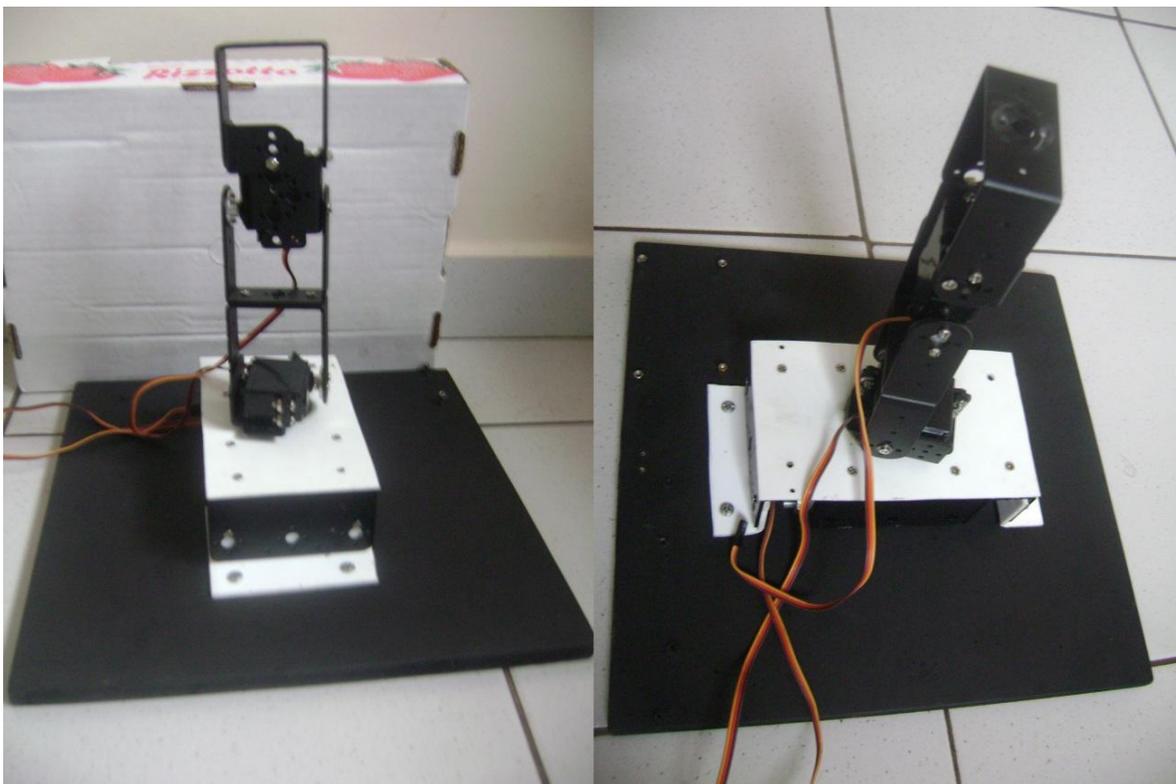


Figura 30 – instalação do segundo elo
Fonte: Autoria Própria.

Com o segundo elo instalado, é fixado à ferramenta manipuladora no centro de extremidade. Na garra é parafusado um Servomotor para movimentar os dedos.

Para melhor compreensão de cada elo e articulação, são nomeadas algumas partes do braço robótico com as do braço humano, facilitando para a construção da linguagem de programação e até mesmo para demonstrar a estrutura.

Por fim monta o braço robótico mecanicamente, com fixação da garra já com o Servomotor instalado, e demonstrado o resultado da final da construção mecânica.

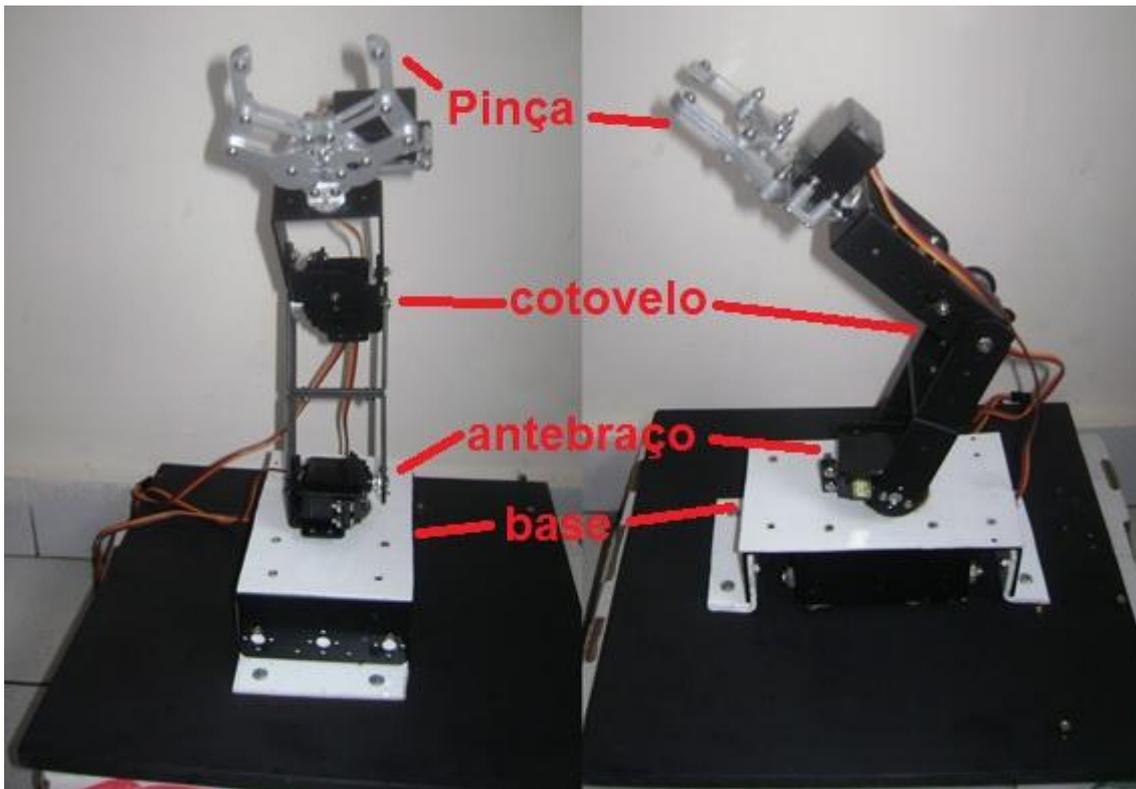


Figura 31 – Braço robótico completo
Fonte: Autoria Própria.

4.2 CONSTRUÇÃO ELÉTRICA

Com o *software Fritzing* plota-se o esquema elétrico do braço robótico, obtento desta forma uma melhor visualização e compreensão.

Na figura 32 visualiza a ligação do comando dos Servomotores (fio amarelo na figura), ligado aos pinos de PWM do Arduino. A alimentação dos Servomotores (fio preto 0 volts e fio vermelho +5 volts) vem de uma fonte externa, apesar do Arduino fornece a tensão, a corrente não suporta mais de dois ligados ao mesmo tempo.

A fonte utilizada no trabalho é de gabinete de computador adaptado, esta consegue fazer funcionar muito bem para a alimentação de todo sistema.

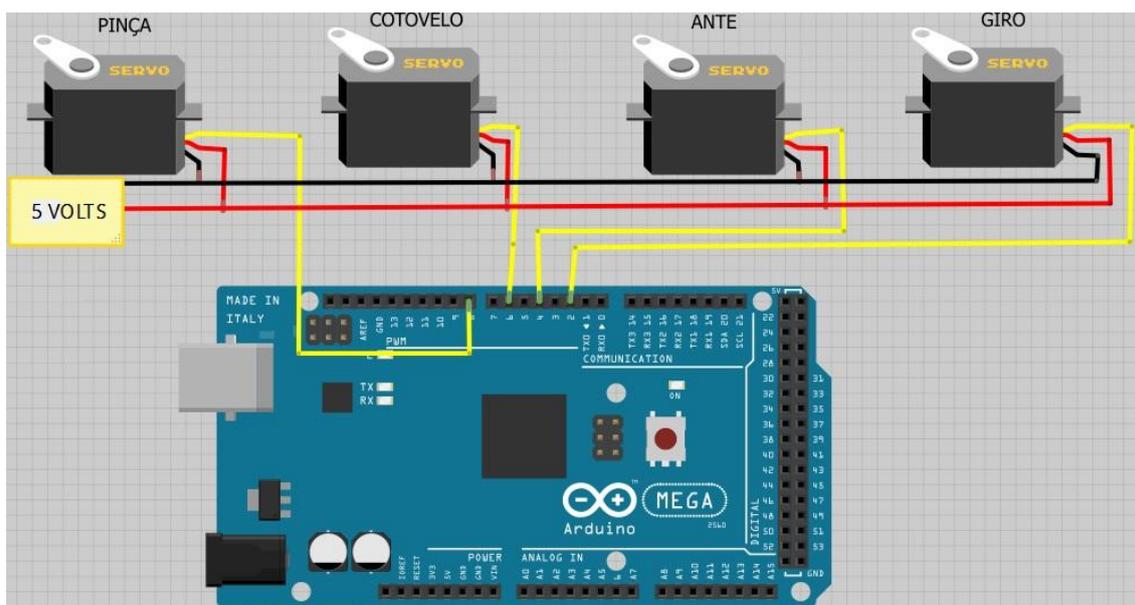


Figura 32 – Esquema de ligação Arduino - Servomotores
Fonte: Autoria Própria.

A sequência de ligação dos Servomotores para o Arduino segue conforme a tabela 3. Esse mapeamento facilita para depois para escrever o a linguagem de programação.

Tabela 3 - Ordem de ligação Arduino - Servomotores

Servomotor	Pinos PWM do Arduino
Pinça	8
Cotovelo	6
Antebraço	4
Base	2

Fonte: Autoria Própria.

O esquema de ligação de joystick ao Arduino plotado no *software Fritzing* (figura 30), mostra que as saídas dos potenciômetros que são conectados a entrada analógica do Arduino, ou seja, é comparado pela mudança resistiva na saída do potenciômetro.

Esse tipo de *joystick* possui botão em sua construção, que conforme vimos anteriormente seu tipo de ligação para obter I/O, é conectado aos pinos PWM do Arduino.

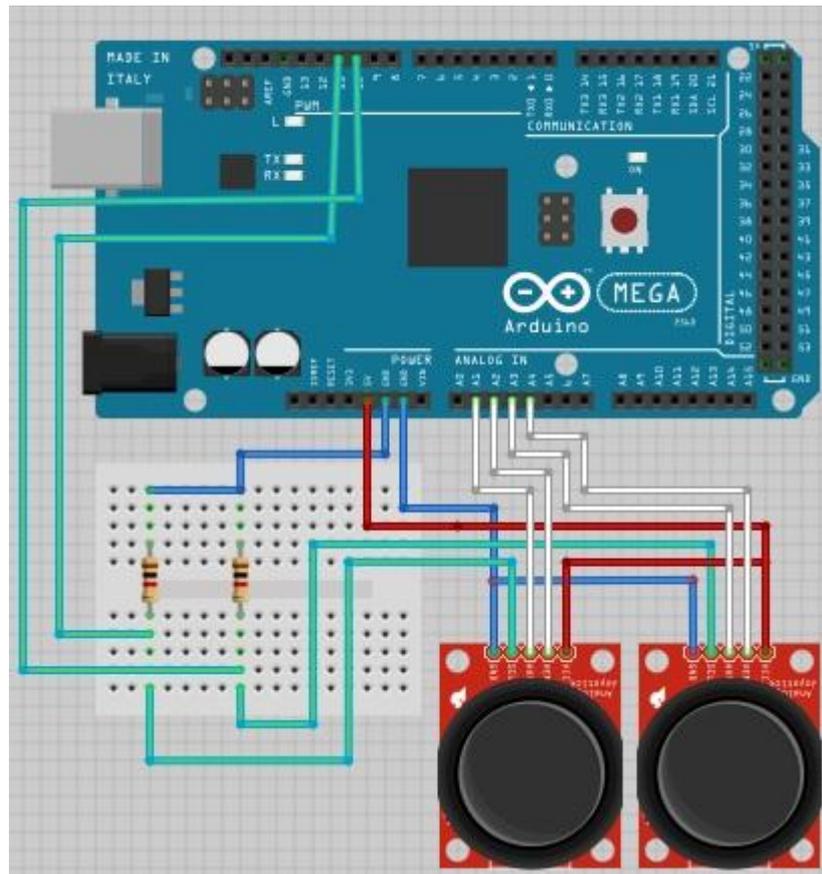


Figura 33 – Esquema de ligação Joystick - Arduino
Fonte: Autoria Própria.

A tabela 4 mostra o sequenciamento de ligação para ser utilizado na linguagem de programação.

Tabela 4 – Ligação do joysticks para o arduino

Joystick I e II	Pinos do Arduino
5 v – I e II	Power 5 v
GND – I e II	GND
Frente- atrás I	A1
Esquerdo-direito I	A2
Frente- atrás II	A3
Esquerdo-direito II	A4
Botão II	11 PWM
Botão I	10 PWM

Fonte: Autoria Própria.

4.3 RESULTADO

Após a montagem mecânica e elétrica do braço robótico, vislumbra o resultado na figura 34, onde são especificados os locais instalados os componentes:

- a) Braço mecânico;
- b) Arduino Mega 2560;
- c) Caixa de acoplamento e divisão de fiação;
- d) *Joystick I* com *push botom* embutido e,
- e) *Joystick II* com *push botom* embutido.

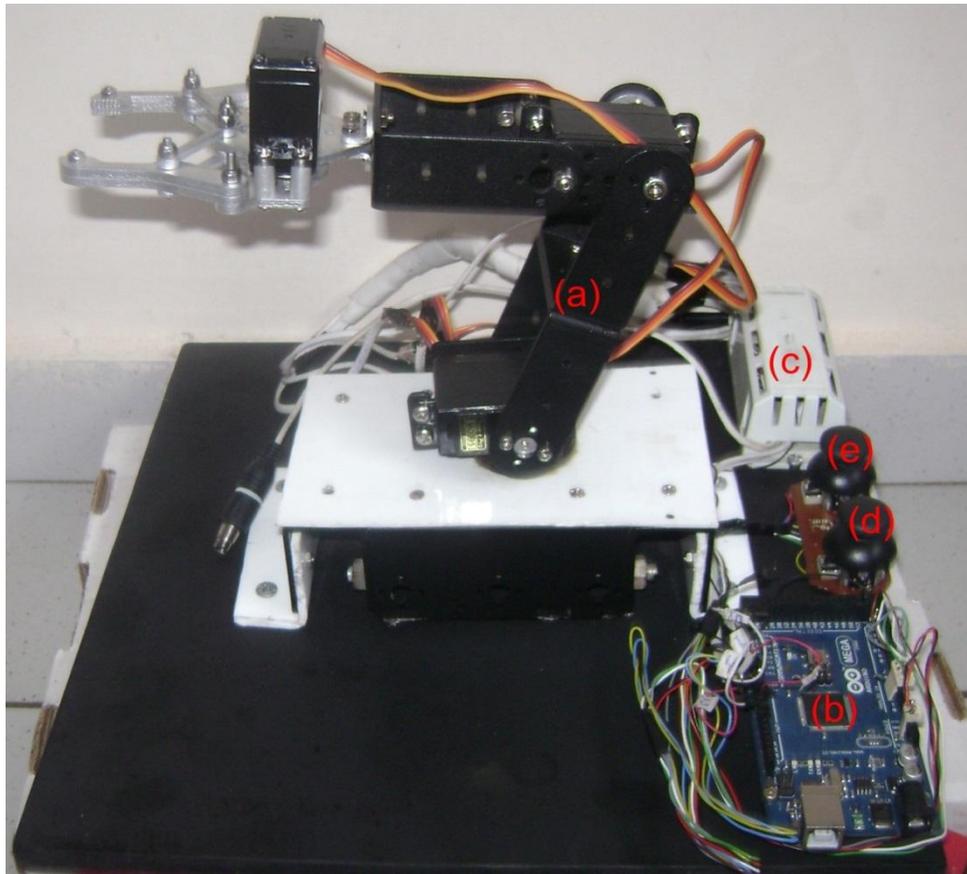


Figura 34 – Braço robótico completo
Fonte: Autoria Própria.

5 TRAJETÓRIA

A função principal do braço robótico é manipular objetos, ou seja, pegar um determinado objeto numa posição e levar para outro lugar (Pazos, 2002). Para isso deve-se planejar uma trajetória, fazer com que a manipulador vá ao objeto pegue e mova para o local desejado, evidentemente respeitando os graus de liberdade do braço robótico.

Niku (2011) em questão ao percurso, diz que é definido como uma sequência de trajetória que o braço robótico faz para se movimentar. Devem ser considerados alguns fatores como: velocidade, aceleração e desaceleração, além de disso a cinemática devem seguir através de passos, pois existem movimentos diferentes para que se chegue ao objetivo.

5.1 TRAJETÓRIA PLANEJADA

O planejamento de trajetória é um sequenciamento controlado de mover o braço robótico. Sabendo que deve sair do ponto inicial e chegar ao ponto determinado onde está o objeto, pegá-lo e remover para outro lugar, para isto consideramos pontos intermediários no plano cartesiano (Niku, 2011).

Para início da trajetória planejada foi compilado ao Arduino um código em que pressionando o botão do *Joystick* I, aciona o braço robótico, ou seja, é o “*start*” para começar. Também como piloto do acionamento, enquanto o braço se move o *LED* ligado ao pino 13 PWM fica acionado e terminando o processo todo ele apaga.

As tabelas 5, 6 e 7 mostram a evolução dos movimentos das articulações do braço robótico, utilizando 11 pontos de referência, em crescimento exponencial até a metade da trajetória, e na outra metade havendo um decrescimento também exponencial até o ponto final do objetivo da ferramenta manipulador. Os dados de referência são em porcentagem e a trajetória em ângulos.

Com isso consegue-se uma minuciosa exatidão em chegar ao ponto desejado, pois evita que há parada brusca nos Servomotores, diminuindo a futuros problemas nesses componentes.

Para teste de movimentação, utilizam-se cubos de madeira cortados de formas de que cabem na pinça e também são leves, sendo assim, não danificar os Servomotores.

A tabela 5 mostra os movimentos do ponto inicial até o ponto final, ou seja, ao objeto a ser movido:

Tabela 5–Trajeto ponto inicial - objeto

Referência	Base	Antebraço	Cotovelo	Pinça
0 %	90°	90	90°	90°
3.125%	90.94°	88.4	87.81°	-
6.25%	91.88°	86.88	85.63°	-
12.5%	93.75°	83.75	83.75°	-
25%	97.5°	77.5	72.5°	-
50%	105°	65	55°	-
75%	112.5°	52.5°	37.5°	-
87.5%	116.25°	46.25°	28.75°	-
93.75%	118.12°	43.1°	24.38°	-
96.875%	119.06°	41.6°	22.19°	-
100%	120°	40°	20°	43°

Fonte: Autorial Própria.

Na tabela 6 há a trajetória de movimentação do objeto, que é feita após a pinça pegá-lo, o braço leva a outro local determinado:

Tabela 6 – Trajeto ponto inicial objeto – ponto final objeto

Referência	Base	Antebraço	Cotovelo	Pinça
0 %	120°	40°	20°	43°
3.125%	118.12°	40.62°	21.56°	-
6.25%	116.25°	41.25°	23.12°	-
12.5%	112.5°	42.5°	26.25°	-
25%	105°	45°	31.5°	-
50%	90°	50°	45°	-
75%	75°	45°	31.5°	-

Referência	Base	Antebraço	Cotovelo	Pinça
87.5%	67.5°	42.5°	26.25°	-
93.75%	63.75°	41.25°	23.12°	-
96.875%	61.87°	40.62°	21.56°	-
100%	60°	40°	20°	90°

Fonte: Autorial Própria.

Na tabela 7 é demonstrado o trajeto de retorno do braço robótico para o ponto inicial, findando assim o ciclo de trajetória do braço robótico.

Tabela 7 – Trajeto ponto final objeto – ponto inicial

Referência	Base	Antebraço	Cotovelo	Pinça
0 %	60°	40°	20°	90°
3.125%	60.93°	41.6°	22.19°	-
6.25%	61.87°	43.1°	24.38°	-
12.5%	63.75°	46.25°	28.75°	-
25%	67.5°	52.5°	37.5°	-
50%	75°	65°	55°	-
75%	82.5°	77.5°	72.5°	-
87.5%	86.25°	83.75°	83.75°	-
93.75%	88.13°	86.88°	85.63°	-
96.875%	89.08°	88.4°	87.81°	-
100%	90°	90°	90°	90°

Fonte: Autorial Própria.

5.2 CONTROLE VIA JOYSTICK

Um dos desafios na idéia de construir o braço robótico didático era torná-lo operacional, ou seja, qualquer pessoa sem conhecimento de programação conseguisse manipular. Para isto, foi desmontado um controle de *Play Station II* e retirado o conjunto de *joystick* no intuito desse fim (MCROBERTS, 2011). Sabendo que cada manopla tem a capacidade de

comando para mover dois Servomotores, configura-se da forma ilustrada nas figuras 35 e 36.

Uma das vantagens do *joystick* é conseguir mover dois elementos ao mesmo tempo no plano cartesiano, somente alterando o ângulo de movimentação fora do seguimento do eixo X ou Y.

O Joystick I ficou responsável por movimentar no braço robótico da seguinte forma: base é movida no eixo X e o antebraço se move no eixo Y. (figura 35)

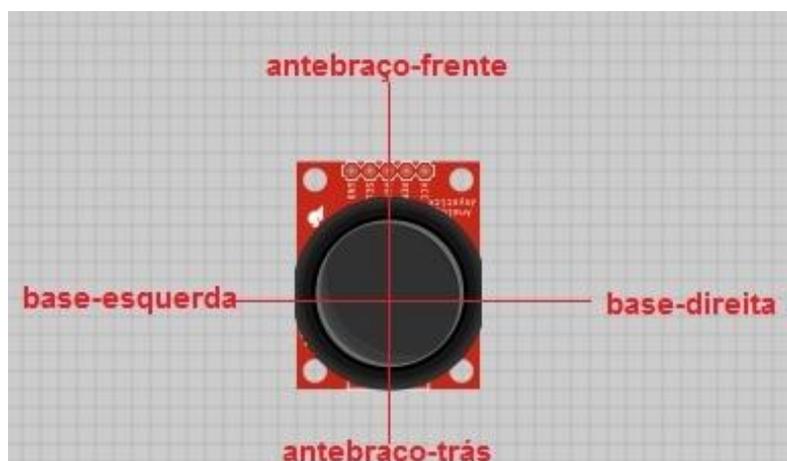


Figura 35 – controle do Joystick I
Fonte: Autoria Própria.

O Joystick II é responsável por articular a pinça que foi programada no eixo X e o cotovelo programado para mover no eixo Y. (figura 36)



Figura 36 – controle do Joystick II
Fonte: Autoria Própria.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho desenvolvido satisfaz aos objetivos iniciais do projeto, trajetórias programadas ou controle via joystick. Possui uma estrutura hardware e software compatível com microcontroladores Arduino, permitindo o funcionamento de um robô didaticamente.

O projeto prático confronta situações adversas de adaptações que necessitaram ser feitas, utilizando como exemplo o rolamento da base, contudo engrandece a criatividade para resolver futuros problemas prática que pode ocorrer no local de trabalho.

Com base nos resultados apresentados, mostra que Arduino torna um grande aliado em trabalhos pedagógicos práticos, pois além de seu aspecto construtivo colaborar para implementação de inúmeros projetos, sua linguagem de programação é amigável em relação a outros controladores compatíveis com nível de processamento, como por exemplo, controladores PIC.

Analisando o projeto, constata que o embasamento foi apreendido em sala de aula, utilizando os conteúdos das disciplinas ministradas pelos docentes na área de Robótica, Controle de processo, Eletrônica, Linguagem de programação entre outras, uma vez que estas foram imprescindíveis para o desenvolvimento do Braço Robótico Didático.

6.1 DIFICULDADES ENCONTRADAS

No decorrer deste trabalho, foram encontradas algumas dificuldades:

- Em compreender o modelo cinemático principalmente pela complexidade do movimento de um braço mecânico com várias juntas.
- A organização na linguagem de programação com relação à trajetória, devido à necessidade de aceleração e desaceleração para preservação do mecanismo e melhor desempenho do braço.
- Sintaxe da programação em relação ao funcionamento dos *joysticks*.
- Organização da trajetória ao aplicar na prática, havendo até danificação do Servomotor.

6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Após a conclusão do braço robótico didático, é possível sugerir alguns trabalhos que podem ser implementados para complementar e melhorar o projeto:

- Melhorar a construção das formas de trajetória não somente considerando o tempo, pode-se, por exemplo, incluir algoritmos computacionais inteligentes como *Fuzzy Cognitive Maps* (FCM) ou *Fuzzy Clássico* para trajetórias autônomas;
- Utilizar *software* de cálculos cinemático como *Matlab®* aplicação de sistemas computacionais inteligentes, como redes neurais artificiais;
- Novos métodos de controle, como por exemplo, aplicativo de celulares com aplicação dos acelerômetros dos mesmos, como por exemplo, comunicação entre Arduino-Andróide;
- Construir uma base móvel, a fim de desenvolver um manipulador táctico;
- Fechar a malha de controle, no intuito de localizar com maior precisão o objeto a ser manipulado.
- Aumentar a escala e conseqüentemente o tamanho para aplicações industriais.

REFERÊNCIAS

AGNIHOTRI, Nikhil. **Servomotor**. 2014. 5p. Artigo eletrônico. Disponível em: <<http://www.engineersgarage.com/articles/servo-motor?page=1>>. Acesso em: 11 de Out. 2014.

AGUIAR, C. E.; LAUDARES, F. **Aquisição de Dados Usando Logo e a Porta de Jogos do PC**. Revista Brasileira de Ensino de Física. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1806-11172001000400003&script=sci_arttext>. Acesso em: 12 abr. 2014.

ARDUINO mega 2560. **Arduino**. 2014. Disponível em: <<http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega2560>> Acesso em: 14 Abr. 2014.

ATMEL. **Atmel ATmega640/V-1280/V-1281/V-2560/V-2561/V8-bit Atmel Microcontroller with 16/32/64KB In-System Programmable Flash**. 2014. 435f. Datasheet, San Jose CA. ATMEL CORPORATION.

CARRARA, Valdemir. **Apostila de Robótica**. Departamento de Exatas. Universidade Braz Cubas. 95f. Disponível em: <http://www2.dem.inpe.br/val/homepage/cursos/rb_apostila.pdf>. Acesso em: 16 abr. 2014.

DINIZ, Gabriel; MONTEIRO, Nuno. **Controlo de um servo-motor**. 2001. 5f. Artigo académico- Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD), Vila Real.

GROOVER, Mikell P. **Automação industrial e sistema de manufatura**. 3^o ed. São Paulo: PEARSON, 2011.

MCROBERTS, Michael. **Arduino básico / Michael McRoberts**; [tradução Rafael Zanolli]. São Paulo: NOVATEC EDITORA, 2011.

NIKU, Saeed B. **Introdução à robótica. Análise, controle, aplicação**. 3^oed. São Paulo: LTC, 2011.

PAZOS, Fernando. **Automação de sistema & Robótica**. Rio de Janeiro: AXCEL BOOKS, 2002.

ROSÁRIO, João Mauricio. **Robótica industrial I: Modelagem, utilização e programação**. São Paulo: BARAÚNA, 2010.

SANTOS, Nuno Pessanha. **Arduino- Introdução e Recursos Avançados**. 2009.69f. Tutorial – Escola Naval, Lisboa.

SHHEIBIA, Tarig Ali Abdurrahman El. **Controle de um Braço Robótico Utilizando uma Abordagem de Agentes Inteligentes**. 2001.84f. Tese de mestrado -Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

SILVEIRA, João Alexandre da. **Arduino – Cartilha para programação em C**. Disponível em:<<http://www.revistadoarduino.com.br/>>. Acesso em: 28 out. 2013.