SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
CAMPUS IV – ARAXÁ
ENGENHARIA DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

# BRAÇO ROBÓTICO MICROCONTROLÁVEL

Adriano Wilker Ribeiro Lasmar

Araxá/MG
Dezembro de 2014

Adriano Wilker Ribeiro Lasmar

# BRAÇO ROBÓTICO MICROCONTROLÁVEL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Automação Industrial do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais Campus IV Araxá, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro em Automação Industrial.

.

Orientador: Mestre Herbert Radispiel Filho.

Araxá/MG
Dezembro de 2014

# FOLHA DE APROVAÇÃO

A minha família especialmente meu pai, minha mãe e meus avos e aos meus amigos que estão ou não presentes.

# AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que sempre me abençoou.

Agradeço aos nossos professores e equipe Cefet MG Araxá, pois são eles que nos guiaram durante esse período importante em nossas vidas.

Agradeço aos amigos que ganhei durante o curso e também a toda minha família que sempre me acompanhou e contribuiu para esse momento.

Agradeço também aos amigos colaboradores que contribuíram para a realização deste projeto.

*No meio da dificuldade encontra-se a oportunidade.*
Albert Einstein

# RESUMO

O cenário industrial apresenta uma importante característica em seu modo de produção, em que vários fatores devem ser levados em consideração para uma melhor otimização. Com a implantação de sistemas controláveis e manipuladores robóticos industriais houve uma grande transformação na fabricação de novos produtos. A necessidade de reduzir a intervenção humana para a preservação à vida, juntamente com realização de trabalhos produtivos especializados, possibilitou o desenvolvimento da robótica industrial. Nesse trabalho será apresentado um braço robótico microcontrolável de caráter didático que apresenta os mesmos princípios de funcionamento de um manipulador industrial.

**Palavras-chave**: Automação, robótica, manipulador industrial.

# ABSTRACT

The industrial scenario presents an important feature in their mode of production, several factors must be taken into account for better optimization. With the implementation of controllable systems and industrial robotic manipulators there was a major transformation in the manufacturing of new products. The need to reduce human intervention to preserve life along with providing specialized productive work, enabled the development of industrial robotics. This study presents a robotic arm microcontrolável didactic character that has the same principles of operation of an industrial manipulator will be presented.

**Keywords**: Automation, robotics, industrial manipulator.

# LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1: Distribuição dos processos de automação quanto a diversidade de produtos e volume de produção.....23
FIGURA 2: Ilustração de elos e juntas.....,.....24
FIGURA 3: Junta prismática.....25
FIGURA 4: Junta rotativa.....26
FIGURA 5: Junta esférica.....27
FIGURA 6: Junta cilíndrica.....27
FIGURA 7: Junta parafuso.....28
FIGURA 8: Junta planar.....28
FIGURA 9: Ilustração dos 3 tipos de movimento realizados pelo punho.....30
FIGURA 10: Representação em forma de letras dos 4 tipos de juntas.....31
FIGURA 11: Robô cartesiano tradicional.....32
FIGURA 12: Manipulador cilíndrico do tipo LVL.....33
FIGURA 13: Manipulador polar.....34
FIGURA 14: Manipulador *SCARA*.....34
FIGURA 15: Manipulador revoluto. .....35
FIGURA 16: Tela do Programa que controla o Braço.....39
FIGURA 17: Arduino Mega 2560.....40
FIGURA 18: Tipos de alimentação.....41
FIGURA 19: Circuito regulador de tensão.....41
FIGURA 20: Circuito de proteção da entrada USB da placa Arduino MEGA2560.....42
FIGURA 21: Placa reguladora de 3,3V. (U2- LP2985).....42
FIGURA 22: Conectores de alimentação para conexão de *shields* e módulo.....43
FIGURA 23: Microcontrolador ATMEL ATMEGA16U2.....44
FIGURA 24: Microcontrolador ATMEL MEGA 2560.....45
FIGURA 25: *Layout* Arduino ATMEL MEGA 2560.....45
FIGURA 26: Pinos do microcontrolador ATMEL MEGA 2560.....46

FIGURA 27: Largura de pulsos.....48
FIGURA 28: Partes que compõem um servo.....48
FIGURA 29: Vista em corte de um servo motor.....49
FIGURA 30: Detalhe servo motor.....49
FIGURA 31: Servo motor Metal-Gear.....50
FIGURA 32: Esquema de funcionamento de um motor corrente contínua.....50
FIGURA 33: Circuito ponte H.....51
FIGURA 34: Esquema de ligação dos motores.....52
FIGURA 35: Projeto inicial.....54
FIGURA 36: Força aplicada em um corpo.....55
FIGURA 37 Área de trabalho.....57
FIGURA 38: Projeto inicial da base.....58
FIGURA 39: Folha de alumínio cortada para montar a base.....58
FIGURA 40: Detalhe do suporte da Base.....59
FIGURA 41: Projeto inicial do braço.....60
FIGURA 42: Alumínio a ser cortado para fabricação do braço.....60
FIGURA 43: Base, braço e antebraço.....61
FIGURA 44: Modelo de garras de dois dedos.....62
FIGURA 45: Garra do manipulador.....62
FIGURA 46: Diagrama elétrico.....63
FIGURA 47: Fonte de Alimentação.....64
FIGURA 48: Ligação interna.....64
FIGURA 49: Testes finais.....65
FIGURA 50: Braço robótico microcontrolável finalizado.....65
FIGURA 51: Braço pintado de Preto.....66
FIGURA 52: Servo motor substituto de 13Kg.cm.....67
FIGURA 53: *Air cooler* de exaustão instalado na parte lateral da base.....68
FIGURA 54: *Air cooler* de ventilação instalado na parte traseira da base.....69
FIGURA 55: Tela do programa utilizando programação orientada à objeto.....70
FIGURA 56: Controlador FEZ Panda II.....70
FIGURA 57: Arduino ATMEL MEGA 2560.....71
FIGURA 58: Tela do programa baseado em linguagem C.....71

# LISTA DE QUADROS

QUADRO 1: Notação de configurações de braços manipuladores.....34
QUADRO 2: Notação de configurações de punhos de manipuladores.....34
QUADRO 3: Dimensionamento.....72
QUADRO 4: Orçamento

# LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

API- Interfaces de Programas Aplicativos

CC- Corrente Continua

CEFET-MG– Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

CNC- Comando numérico computadorizado

DC- *Direct Current*

DCE (*Data Communication equipment*)

DTE (*Data Terminal equipment*) *EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory)*

EVA– Etileno Acetato de Vinila

FTDI- *Future Technology Devices International*

GL- Graus de Liberdade

MDF- Fibra de Média Densidade

MLP- modulação por largura de pulso,

PWM- *Pulse Width Modulation*

RIA- Instituto de Robótica da América

TTL- Lógica Transistor-Transistor

USB- *Universal Serial Bus*

# SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....15

2 ROBÓTICA E AUTOMAÇÃO..... 17

2.1 Robôs ..... 18

2.2 Robótica ..... 19

2.3 Automação ..... 21

2.3.1 Automação fixa ..... 22
2.3.2 Automação flexível ..... 22
2.3.3 Automação programável ..... 23

3 MANIPULADORES ROBÓTICOS ..... 24

3.1 Tipos de juntas ..... 25

3.1.1 Prismática ou linear: ..... 26
3.1.2 Rotativa ou rotacional: ..... 26
3.1.3 Esférica ..... 27
3.1.4 Cilíndrica ou revolvente ..... 28
3.1.5 Parafuso ou torcional ..... 28
3.1.6 Planar ..... 29

3.2 Graus de liberdade ..... 30

3.2.1 Movimentos do braço ..... 31
3.2.2 Movimentos do punho ..... 32

3.3 Tipos de manipuladores robóticos ..... 33

3.3.1 Robô cartesiano ..... 34

**3.3.2 Robô cilíndrico ..... 35**
**3.3.3 Robô polar ..... 36**
**3.3.4 Robô *Selective Compliance Assembly Robot Arm (SCARA)* ..... 37**
**3.3.5 Robô revoluto ..... 38**

**3.4 Órgão terminal ..... 39**

**3.5 Motores Elétricos ..... 40**

**3.5.1 Servo motores ..... 40**

**4 INTERFACE DE CONTROLE ..... 41**

**4.1 Sistema de Controle ..... 41**

**4.2 Unidade de controle – Arduino Mega 2560 ..... 43**

**4.2.1 Alimentação ..... 44**
**4.2.2 Comunicação USB ..... 46**
**4.2.3 Microcontrolador ..... 47**

**4.3 Controlando servo motores ..... 49**

**4.3.1 Controle do ângulo de rotação dos servos ..... 51**

**4.4 Controlando motores de CC ..... 53**

**4.4.1 Circuito Integrado L293D ..... 53**
**4.4.2 Montagem do circuito ..... 55**

**5 A FABRICAÇÃO DO MANIPULADOR ..... 56**

**5.1 Arquitetura ..... 56**

**5.2 A Construção ..... 62**

**5.2.1 A Base ..... 62**
**5.2.2 O Braço ..... 65**
**5.2.3 O Antebraço ..... 66**
**5.2.4 O Punho ..... 67**
**5.2.5 A Garra ..... 68**

**5.3 Projeto eletrônico-digital ..... 69**

**5.4 O Manipulador finalizado ..... 72**

**6 MELHORIAS DO PROTÓTIPO..... 73**

**6.1 Estrutura e *design* ..... 73**

**6.2 Motores ..... 74**

**6.3 Elos e eixos ..... 75**

**6.4 Aquecimento e ventilação ..... 75**

**6.5 Microcontroladores ..... 77**

**6.5.1 Plataforma FEZ Panda II..... 77**
**6.5.2 Plataforma Arduino Mega 2560 ..... 78**

**7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....73**

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....75**

**ANEXO ..... 84**

# 1 INTRODUÇÃO

Os primeiros equipamentos de movimentação de materiais automatizados apareceram por volta de 1910, com a introdução dos veículos com plataformas. Durante a 1ª Guerra Mundial, grande parte dos homens foi para os campos de batalha, aumentando os esforços sobre os trabalhadores nas fábricas e encorajando a indústria a fazer maior uso da mecanização na movimentação de materiais.

Ao passar do tempo com o crescimento das indústrias, aumento da produção, aumento da concorrência e paralelamente maior necessidade de satisfação dos clientes, a robótica passou a desenvolver equipamentos que melhorassem a execução das atividades. Seu objetivo seria o de garantir que as metas sejam atendidas: que os produtos cheguem a um maior número de clientes possível nos mais diversos locais, aliado a um sistema ágil, eficiente. Assim, fez-se necessária a utilização de braços robóticos e outros produtos mecatrônicos.

Na América do Norte, houve muita adoção de equipamentos de robótica no início da década de 80, seguida de um breve decremento no final de 1980. Desde então, o mercado tem vindo a crescer, embora com oscilações econômicas, como são todos os mercados. (CRAIG 2005).

Atualmente, a maior parte dos robôs industriais desenvolvem atividades de soldagem, manipulação de peças e pintura. O braço robótico surge para suprir esta necessidade. Podendo ser construído para tarefas específicas, ele traz todas as particularidades que a produção em massa exige. Além disso, ele pode realizar tarefas perigosas, repetitivas, ou que requeiram muita atenção e precisão, de maneira mais eficaz do que o homem.

Com base nesses avanços tecnológicos, este trabalho foi desenvolvido apresentando a construção de um protótipo de um braço robótico microcontrolável de caráter didático, para aplicar o conhecimento adquirido durante o curso de Engenharia de Automação Industrial. Sendo assim, o texto está dividido da seguinte forma:

No capítulo 1 temos uma breve apresentação histórica do assunto abordado.

No capítulo 2, apresentamos um estudo introdutório sobre os conceitos de robótica e automação utilizados ao longo do trabalho. Dentre eles estão o conceito de robôs, robótica e os três tipos de automação.

Dedicamos o capítulo 3 exclusivamente aos tipos de manipuladores robóticos e a maneira de executarem movimentos.

Desenvolvemos no capítulo 4 todo o conteúdo relacionado à interface de controle, todo o processo que engloba as ferramentas necessárias para a manipulação dos parâmetros

No capítulo 5 mostramos todos os passos seguidos para construir o braço robótico de acordo com o plano original e todas as etapas do processo de fabricação foram abordadas.

No capítulo 6 apresentamos todas as modificações e melhorias do trabalho e todos os problemas que surgiram e que foram resolvidos.

Ao final do trabalho, no capítulo 7, temos as considerações finais e as perspectivas de trabalhos futuros.

O presente trabalho tem como objetivo geral estudar, programar e construir um braço robótico eficiente de pequeno porte com baixo custo de produção e uso didático, utilizando um sistema de controle de fácil manipulação.

Especificamente os objetivos do projeto são:

- Desenvolver o protótipo de um braço mecânico microcontrolado com ampla capacidade de manipulação de objetos diversos
- Calcular e dimensionar as peças mecânicas
- Demonstrar a aplicabilidade de braços robóticos

- Demonstrar a capacidade dos microcontroladores no controle de sistemas autônomos.

Após a fixação do tema abordado neste trabalho de conclusão de curso, definiram-se os objetivos gerais e específicos para início das pesquisas e desenvolvimento do trabalho proposto. Dessa maneira foi realizada uma revisão bibliográfica utilizando várias fontes de informação, tais como pesquisas sobre as tecnologias na área de automação industrial, internet, livros didáticos, apostilas e manuais. Desta forma etapas como criar um modelo de projeto e exemplificar com a prática foram fundamentais para alcançar os objetivos com uma boa conclusão de natureza teórica e técnica.

# 2 ROBÓTICA E AUTOMAÇÃO

## 2.1 Robôs

Um robô pode ser considerado simplesmente como um conjunto de dispositivos eletromecânicos, eletro-hidráulicos e biomecânicos, capazes de realizar tarefas de maneira autônoma ou também pode ser controlado por seres humanos. Na indústria, os robôs são frequentemente utilizados para a realização de trabalhos em locais mal iluminados e insalubres, ou na realização de serviços considerados perigosos para os seres humanos. Tais robôs industriais são a forma mais comum que existe, porém essa situação vem sendo mudada atualmente devido à popularização dos robôs domésticos e comerciais que executam tarefas como limpadores de pisos e cortadores de gramas. Outras novas aplicações de grande importância incluem tratamento de lixo tóxico, exploração submarina e espacial, cirurgias, mineração, além de localização de minas terrestres. Nos últimos anos, os robôs também tiveram um grande desenvolvimento nas áreas do entretenimento e das tarefas do lar.

Nas duas últimas décadas, tivemos várias tendências que garantiram a evolução dos robôs. Devido ao constante aumento dos níveis salariais e ao elevado avanço tecnológico no ramo da microeletrônica, houve redução dos preços de robôs e uma significativa melhoria em seu desempenho.

A palavra robô (“robot”) tem sua origem da palavra tcheca robotnik, que denota servo. O termo robô foi utilizado primeiramente por Karel Capek em 1923 e o grande escritor americano de ficção cientifica Isaac Asimov estabeleceu quatro leis muito simples para a robótica:

- **Primeira lei**: "Um robô não pode ferir um ser humano ou, permanecendo passivo, deixar um ser humano exposto ao perigo".

- **Segunda lei** "O robô deve obedecer às ordens dadas pelos seres humanos, exceto se tais ordens estiverem em contradição com a primeira lei".

- **Terceira lei**: "Um robô deve proteger sua existência na medida em que essa proteção não estiver em contradição com a primeira e a segunda lei".

- **Quarta lei**: "Um robô não pode causar mal a humanidade nem permitir que ela própria o faça".

A quarta e última lei foi escrita por Asimov em 1984. (SALANT,1990)

A construção de robôs começou a tomar força no início do século XX com a necessidade de melhorar os modos de produção. Foi nessa época que o robô industrial encontrou suas primeiras aplicações. Recentemente, devido aos inúmeros recursos que os sistemas microcontrolados apresentam, a robótica atravessa um momento de contínuo crescimento que nos permite, em um curto espaço de tempo, desenvolver robôs cada vez mais inteligentes.

## 2.2 Robótica

Podemos definir robótica como sendo o controle de dispositivos eletroeletrônicos através de um computador, transformando-o em uma máquina capaz de interagir com o meio ambiente e executar ações decididas por um programa criado pelo programador a partir destas interações (AMIROUCHE, 93).

Podemos exemplificar o uso da robótica em diversas áreas de conhecimento. Na engenharia temos os robôs que mergulham a grandes profundidades para auxiliar em reparos nas plataformas de petróleo; na medicina, os robôs já auxiliam nas cirurgias de alto risco. Outras aplicações podem ser menos percebidas, tal como a atividade da impressora que também é um robô (SALANT, 1990).

No cinema existem diversos filmes de ficção científica mostrando robôs produzidos com a forma e comportamento de seres humanos, o que leva as pessoas a criarem certa cultura robótica e a incentivarem muitos jovens a pesquisarem e

desenvolverem robôs para aplicação no mundo real. Após o desenvolvimento dos computadores, na metade do século XX, iniciaram-se reflexões em relação à capacidade que um robô pode desenvolver para “pensar” e agir como um ser humano. Entretanto, os robôs dessa nossa época foram criados especialmente para executarem tarefas difíceis, perigosas e impossíveis para o homem. Sendo assim, eles não foram projetados com a capacidade de desenvolver habilidades que não lhes foram atribuídas ou programadas. Dessa maneira a indústria moderna se beneficiou muito com o desenvolvimento da robótica, aumentando então a produção e evitando a relação de humanos com as tarefas perigosas, antes executadas somente pelos homens.

Na robótica moderna, existem pesquisas em desenvolvimento de robôs que são denominados humanóides ou antropomórficos. Esses são criados com a semelhança humana e com a capacidade de interagirem com o ambiente, além de desenvolverem tarefas exclusivas de seres humanos. O Asimo é um grande exemplo de humanóide com várias gerações desenvolvidas pela montadora japonesa Honda Motor Co[1]**.** Citam-se ainda múltiplos brinquedos articulados com aparências que lembram animais de estimação como cães, gatos e aves, por exemplo, que se destinam ao entretenimento e ao uso doméstico. No entanto, tais robôs são incapazes de realizar quaisquer tipos de tarefas, e apenas respondem aos estímulos externos.

Atualmente discute-se muito a respeito da evolução dos robôs em relação aos seus benefícios; todavia não podemos nos esquecer dos impactos sociais que os mesmos podem gerar para a sociedade. Assim sendo, o desemprego é o primeiro fator que é colocado em discussão. De um modo geral, as indústrias investem em robôs e computadores por uma necessidade crucial para a sobrevivência no mercado. O principal objetivo é conquistar uma maior produtividade com melhor qualidade para seus produtos, com um menor custo, assegurando a competitividade frente aos concorrentes. Nesse contexto, os trabalhadores ficam preocupados com a possibilidade de perderem seus empregos, devido aos impactos que os robôs exercem sobre o nível de trabalho.

---

[1]Asimo Disponível em: http://asimo.honda.com/ Acesso 06 ago. 2013.

Não há dúvidas de que os robôs se instalaram na sociedade em grande concorrência com os homens, em alguns casos um robô pode substituir dezenas ou até mesmo centenas de trabalhadores em uma linha de produção. A verdade maior ainda é que existem modelos de produção tão específicos e complexos que são impossíveis de serem desenvolvidos por seres humanos.

Podemos afirmar ainda que houvesse uma queda nos custos dos robôs, tornando-os acessíveis para muitos setores da indústria. Dessa forma, as máquinas poderiam competir com a mão de obra barata, como aquela existente nos países em desenvolvimento, ameaçando então o emprego de muitos trabalhadores. Uma questão importante que devemos considerar em um país como o Brasil é a questão política, pois a educação de um país tem relação direta com o nível de desemprego.

Dessa maneira, percebemos países com uma educação de qualidade e um alto nível de robotização na indústria que não apresentam um número expressivo de desemprego, dentre os quais citamos Japão, Alemanha e Estados Unidos, por exemplo, que possuem uma economia equilibrada, pois desenvolvimento tecnológico e educação possuem sempre prioridade na política de desenvolvimento social e econômico.

## 2.3 Automação

Os sistemas autônomos estão gradualmente se tornando uma parte do nosso modo de vida, se nós conscientemente percebê-lo ou não. O aumento do uso de inteligente sistemas robóticos em aplicações internas e externas atuais é um testemunho aos esforços realizados por pesquisadores em todas as frentes (SECCHI e. LEWIS, 2006).

A Automação deve ser entendida como um conjunto de sistemas que podem ser: mecânicos, elétricos, eletrônicos, pneumáticos e hidráulicos os quais, por meio da tecnologia da informação, efetua o controle de processos produtivos. Alguns

exemplos de processos de automação nas indústrias são: linhas de montagem automotiva, integração de motores – linha “transfer”, máquinas operatrizes do tipo CNC e robôs. Podemos identificar três formas distintas de automação industrial: automação fixa, automação flexível e automação programável.

### 2.3.1 Automação fixa

Na Automação fixa, as máquinas são sempre específicas para o tipo de produto que vai ser produzido, por isso esse nome. Elas produzem grandes quantidades de um único produto e/ou produtos com nenhuma ou pequenas variações. O volume de produção é sempre elevado, e o custo da máquina também, pois é projetada especificamente para aquele tipo de produto. Por outro lado, como o volume de produção é bastante alto e a qualidade constante, sem perdas, o custo final do produto em geral é baixo.

Essas máquinas são encontradas em linhas transfer de motores, produção de lâmpadas, fabricação de papel e de garrafas, qualquer manufatura que é de simples produção e de grande volume. Todavia deve-se ter muito cuidado com o preço final do produto, pois, como o investimento de compra da máquina é elevado, a amortização só irá acontecer com vendas elevadas. Além disso, se o produto sair do mercado por algum motivo perde-se o investimento.

### 2.3.2 Automação flexível

Na automação do tipo flexível o volume de produção é considerado médio e, geralmente, a máquina pode ser programada para fabricar outro produto, o que se denomina *setup*. Essa automação possui características da automação fixa e da automação programável. A máquina deve ser adaptável a um número grande de produtos similares e, neste sentido, ela é mais flexível que a automação fixa, pois

produz artefatos diferentes em grandes quantidades. A automação flexível é muito empregada, por exemplo, em linhas de montagem automotiva.

### 2.3.3 Automação programável

Nessa automação, o volume de produção é considerado baixo, mas a variedade de produtos é alta. Ela pode ser adaptável por meio de programação. Os principais exemplos de automação programável são as máquinas do tipo CNC e os robôs industriais. De todos os tipos de automação, a robótica mais se aproxima da automação programável. Dessa forma, os volumes de produção de um robô industrial não são considerados elevados, mas ele é extremamente adaptável a produtos diferentes. Embora robôs industriais sejam produzidos em diversas configurações, algumas delas se assemelham muito à morfologia dos humanos e, portanto, são propícios para substituir operações realizadas pelo homem. Os robôs são totalmente programáveis, possuem braços móveis, e são empregados em várias atividades, dentre as quais se destacam: carregamento e descarregamento de máquinas, soldagem a ponto ou em outra forma, pintura ou jateamento e processo de conformação ou usinagem.

Embora haja uma tendência de dotar os robôs industriais de mais habilidade humana, ainda assim eles não possuem forma humana. A FIG.1 ilustra a relação entre o volume de produção e a diversidade de produtos para os processos de automação descritos anteriormente.

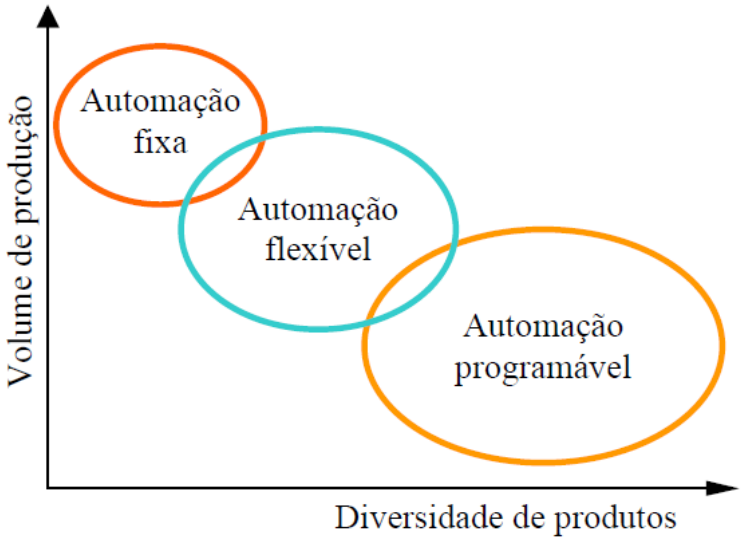


Figura 1: Distribuição dos processos de automação quanto à diversidade de produtos e volume de produção.
Fonte: CARRARA, V. Apostila de Robótica.

# 3 MANIPULADORES ROBÓTICOS

Segundo o *Robotics Institute of America*[2] (RIA - Instituto de Robótica da América) "Um robô industrial é um manipulador reprogramável e multifuncional, projetado para mover materiais, peças, ferramentas ou dispositivos específicos em movimentos variáveis, programados para a realização de uma variedade de tarefas".

Para se realizar movimentos propostos pelo manipulador, são empregados atuadores, que são dispositivos mecânicos que agem sobre a estrutura do mesmo, para proporcionar a interação com o meio.

A estrutura não móvel do manipulador é conhecida como elo e a junção de um atuador com um elo é chamada junta. A FIG.2 ilustra ambas as estruturas.

[2] RIA - Robotics Institute of America. Disponível em <http:// http://www.robotics.org/> Acesso 06 ago. 2013.

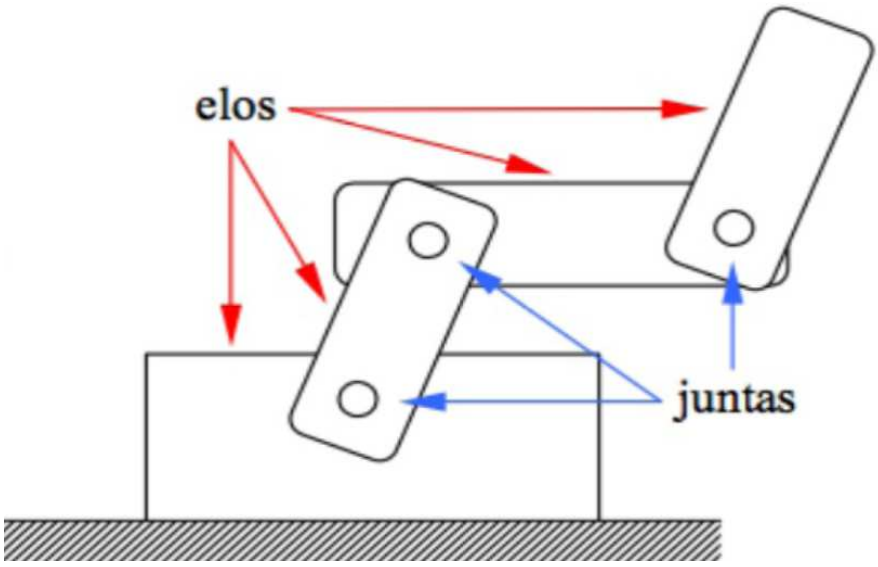


Figura 2: Ilustração de elos e juntas.
Fonte: CARRARA, V. Apostila de Robótica.

De uma maneira geral, os manipuladores são montados sobre uma plataforma ou base fixa, a qual se encontra o primeiro atuador para criar uma junta. Após a primeira junta, o restante do manipulador será montado seguindo uma arquitetura previamente definida. No final da última junta temos o punho do manipulador, no qual será montado o tipo de efetuador adequado para sua aplicação.

## 3.1 Tipos de juntas

As juntas podem ser consideradas como a parte de maior atrito no manipulador robótico. Elas que possibilitam tanto a ligação dos dois elos quanto a liberdade de movimentação do braço. Existem seis tipos de juntas e podemos dividi-las da seguinte forma. Para melhor interpretar os tipos de juntas considere a parte mais escura das figuras a seguir como sendo a posição inicial e a mais clara a posição final do movimento.

### 3.1.1 Prismática ou linear:

A junta prismática ou linear tem movimentação em linha reta, composta geralmente de duas hastes deslizantes, estando uma encaixada dentro da outra (Fig. 3). No âmbito da mecânica clássica possui diversas áreas de aplicação, sendo comumente usada em aplicações hidráulicas e pneumáticas. Possibilita apenas 1 grau de liberdade.

Figura 3: junta prismática.
Fonte: LAZZARIM. J. C. Construção de um manipulador robótico de baixo custo.

### 3.1.2 Rotativa ou rotacional:

Essa junta gira em torno de uma linha imaginária denominada de eixo rotacional (FIG. 4). As dobradiças de portas são um exemplo simples de seu funcionamento. Possibilita apenas 1 grau de liberdade.

Figura 4: junta rotativa.
Fonte: LAZZARIM. J. C. Construção de um manipulador robótico de baixo custo.

### 3.1.3 Esférica

Possibilita rotação em torno dos três eixos x,y e z. Composta por um elo contendo uma parte esférica na ponta e outro elo contendo uma formação côncava para encaixe da parte esférica (FIG. 5). O ombro humano é um ótimo exemplo de seu funcionamento. Essa junta possibilita 3 graus de liberdade.

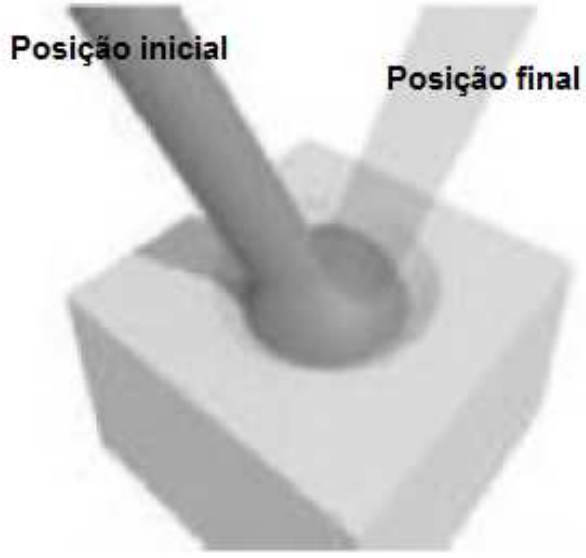


Figura 5: junta esférica.
Fonte: LAZZARIM. J. C. Construção de um manipulador robótico de baixo custo

### 3.1.4 Cilíndrica ou revolvente

Consiste de uma junção das juntas Rotativa e Prismática, possibilitando ambas as movimentações (FIG. 6). Possui 2 graus de liberdade.

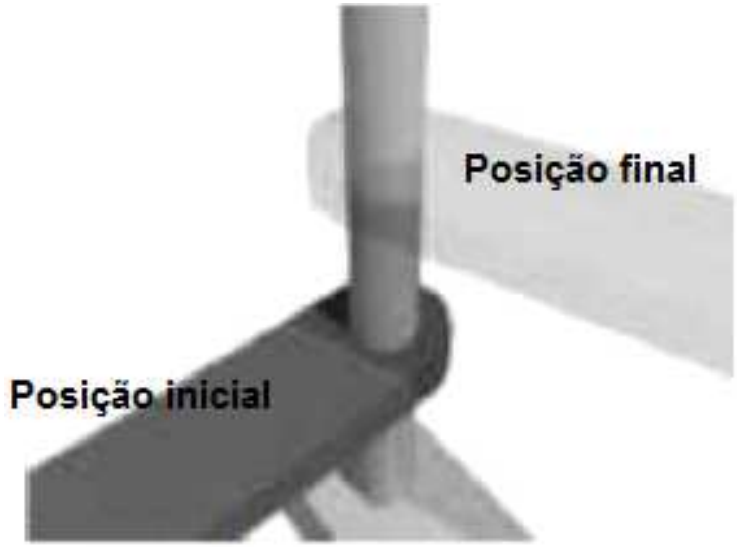


Figura 6: junta cilíndrica.
Fonte: LAZZARIM. J. C. Construção de um manipulador robótico de baixo custo.

### 3.1.5 Parafuso ou torcional

Essa junta é composta por um parafuso e por uma porca que faz movimentos lineares (FIG. 7). Possibilita 1 grau de liberdade.

Figura 7: junta parafuso.
Fonte: LAZZARIM. J. C. Construção de um manipulador robótico de baixo custo

### 3.1.6 Planar

Composta por duas juntas prismáticas (FIG. 8). Possui 2 graus de liberdade.

Figura 8: Junta planar.

Fonte: LAZZARIM. J. C. Construção de um manipulador robótico de baixo custo.

## 3.2 Graus de liberdade

A expressão Graus de Liberdade é usada em mecânica geral, para determinar um número independente de parâmetros que irão definir uma configuração qualquer. Para os manipuladores robóticos, temos que os graus de liberdade são os delimitadores do movimento de um manipulador, seja em um espaço bidimensional ou tridimensional. Contamos os graus de liberdade em um manipulador de acordo com a configuração de todas suas juntas, em que, a quantidade total de graus de liberdade é igual à somatória dos graus de liberdade concedidos por todas as juntas.

Os manipuladores convencionais possuem cerca de 5 a 6 graus de liberdade, sendo uns para posicionamento do punho dentro da área de trabalho, e os demais para a movimentação do restante do manipulador. O braço robótico que foi construído para este trabalho tem seis graus de liberdade (FIG 9), sendo GL1 para a movimentação do punho, três deles (GL2, GL3 e GL4) para movimentação do braço e GL5 e GL6 para movimentar a base.

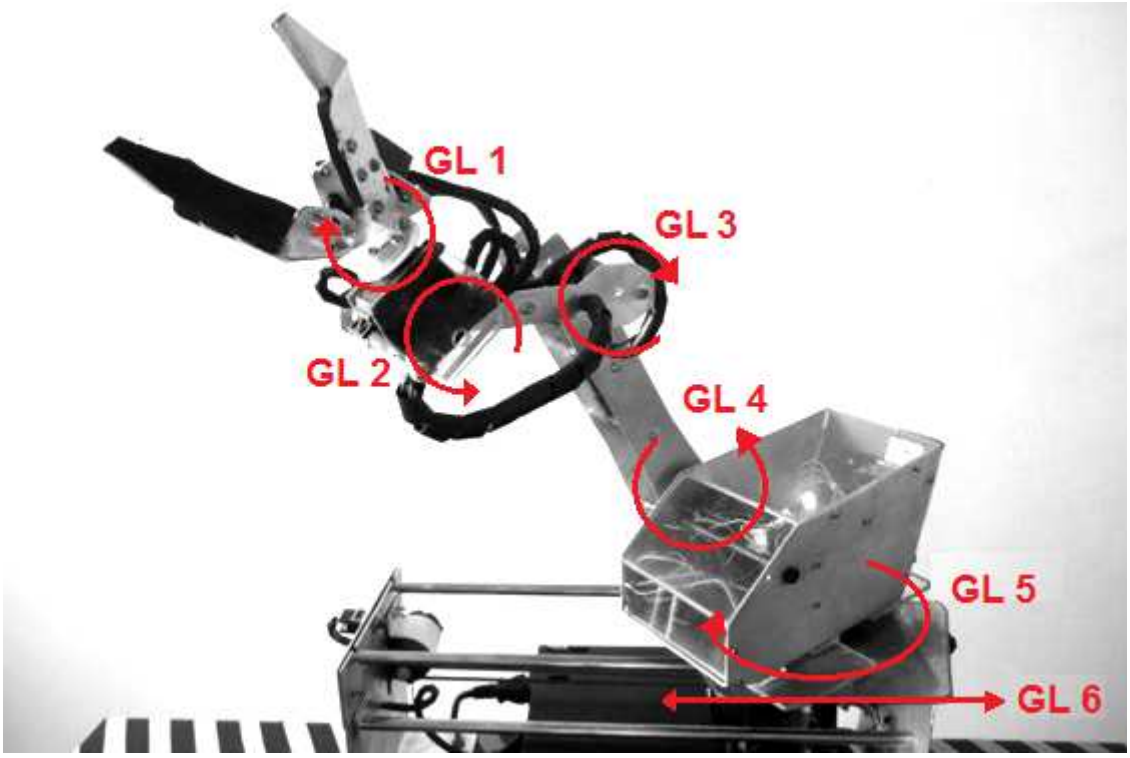

Figura 9: Graus de Liberdade.
Fonte: Acervo pessoal do autor.

### 3.2.1 Movimentos do braço

Este grupo pode ser subdividido em três outros itens para melhor descrever o movimento, sendo que todos os movimentos têm como finalidade o posicionamento do punho.

- **Vertical transversal**: movimenta o punho verticalmente para cima e para baixo.
- **Rotacional transversal**: movimenta o punho horizontalmente para esquerda ou para direita.
- **Radial transversal**: movimenta o punho afastando-o ou o aproximando da área de trabalho.
-

### 3.2.2 Movimentos do punho

Este grupo também deve ser dividido em três outros itens que melhor descrevem a forma do movimento.

- ***Roll* (Rolamento)**: consiste na rotação do punho em torno de um eixo central, posicionado no centro do punho.
- ***Pitch* (Arfagem)**: É a rotação do punho na vertical. É posicionado um atuador ligado na lateral do punho para a realização deste movimento.
- ***Yaw* (Guinada)**: Rotação do punho na horizontal.

A FIG 10 apresenta uma arquitetura com 3 graus de liberdade e ilustra os três tipos de movimento efetuado pelo punho.

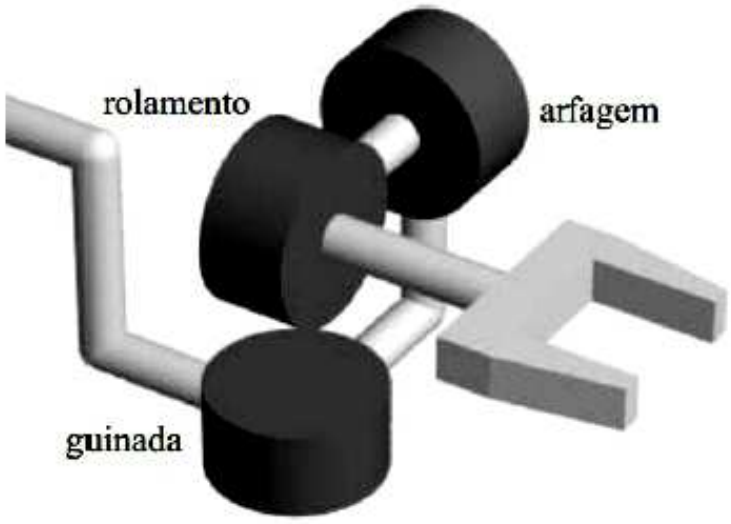


Figura 10: Ilustração dos três tipos de movimento realizados pelo punho.
Fonte: CARRARA, V. Apostila de Robótica.

## 3.3 Tipos de manipuladores robóticos

A arquitetura dos manipuladores robóticos está diretamente relacionada com os diferentes tipos de juntas que possuem. Cada tipo de configuração de juntas pode ser representado por um esquema de letras. É importante lembrar que sempre consideramos como primeiro, o grau de liberdade mais próximo da base e seguindo a ordem até as juntas do punho. Veja FIG. 11.

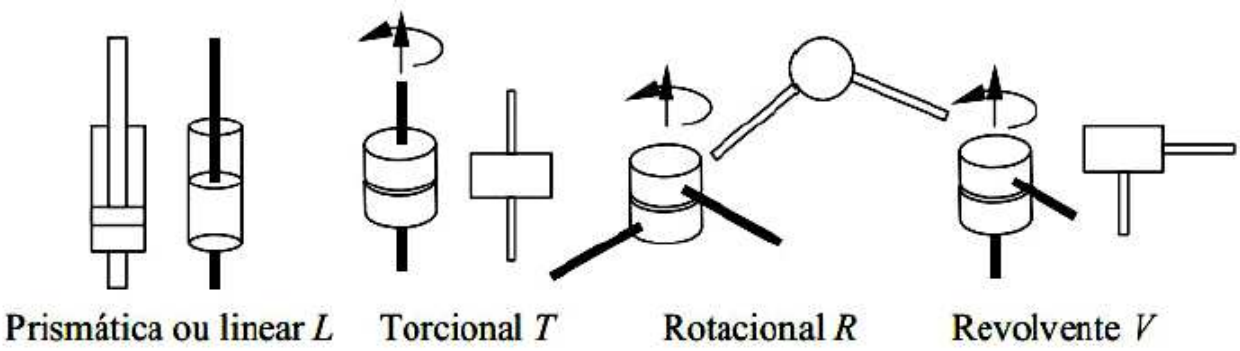


Figura 11: Representação em forma de letras dos 4 tipos de juntas.
Fonte: CARRARA, V. Apostila de Robótica.

Um manipulador com três juntas e configuração TVR teria a junta torcional mais próxima à base, a junta do meio seria uma revolvente e por fim uma junta rotacional. O esquema para a notação das juntas do punho é o mesmo, sendo este separado do esquema do braço pelo símbolo “:”, por exemplo, LVR:TR.

Os QUADROS 1 e 2 apresentam configurações clássicas de braços e punhos robóticos:

| Configuração do Robô - braço e corpo | Símbolo |
|---|---|
| Configuração cartesiana | LLL |
| Configuração cilíndrica | LVL ou TLL |
| Configuração articulada ou revoluta | TRR |
| Configuração polar | TRL |
| Configuração SCARA | VRL |

Quadro 1: Notação de configurações de braços manipuladores
Fonte: CARRARA, V. Apostila de Robótica.

| Configuração do Robô - pulso | Símbolo |
|---|---|
| Configuração Pulso de 2 eixos | RT |
| Configuração Pulso de 3 eixos | TRT |

Quadro 2: Notação de configurações de punhos de manipuladores.
Fonte: CARRARA, V. Apostila de Robótica.

### 3.3.1 Robô cartesiano

Robôs do tipo cartesianos são os mais simples de todos (FIG.. 12). Eles possuem 3 juntas lineares, e sempre deslocam suas juntas uma em relação à outra.

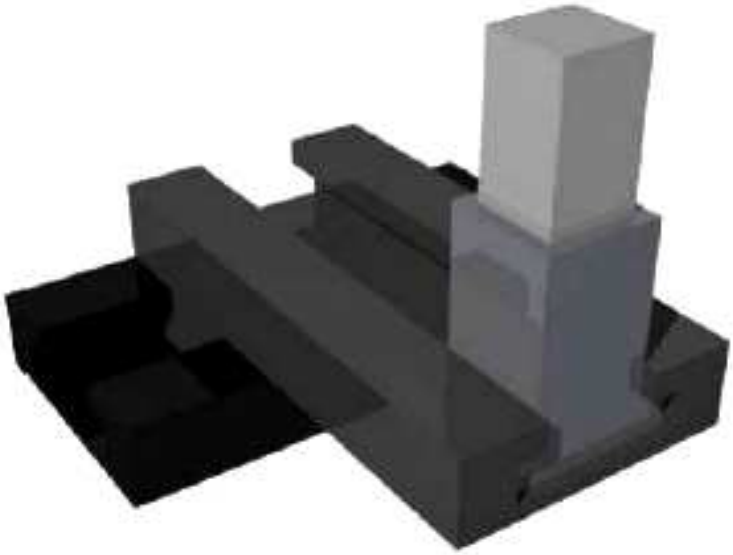

Figura 12: Robô cartesiano tradicional
Fonte: CARRARA, V. Apostila de Robótica.

- **Área de Operação**: Envoltórios euclidianos.
- **Configuração**: LLL.
- **Graus de Liberdade**: 3.

### 3.3.2 Robô cilíndrico

Manipuladores do tipo cilíndrico possuem duas configurações distintas, mas que possibilitam a mesma funcionalidade (FIG. 13). A mais utilizada e importante é LVL.

Figura 13: Manipulador cilíndrico do tipo LVL.
Fonte: CARRARA, V. Apostila de Robótica.

- **Área de Operação**: Envoltórios cilíndricos.
- **Configuração:** LVL
- **Graus de Liberdade:** 3 em ambas as configurações.

### 3.3.3 Robô polar

Essa é uma configuração projetada para suportar grandes cargas, geralmente usada em máquinas de carga e descarga (FIG. 14). Possui 2 juntas rotativas que caracterizam coordenadas angulares e uma junta prismática caracterizando coordenadas radiais.

Figura 14: Manipulador polar.
Fonte: CARRARA, V. Apostila de Robótica.

- **Área de Operação**: envoltórios esféricos.
- **Configuração**: TRL.
- **Graus de Liberdade**: 3.

### *3.3.4 Robô Selective Compliance Assembly Robot Arm (SCARA)*

Devido a sua grande precisão e pequeno tamanho, a configuração *SCARA* é uma das mais usadas (FIG. 15). Possui grande usabilidade em trabalhos de montagem e desmontagem, tanto mecânica quanto eletrônica, que exigem uma grande precisão. Seu nome é *Selective Compliance Assembly Robot Arm*, ou Braço Robótico de Montagem com Flexibilidade Seletiva.

Figura 15: Manipulador *SCARA*
Fonte: CARRARA, V. Apostila de Robótica.

- **Área de Operação**: envoltórios cilíndricos.
- **Configuração**: VRL.
- **Graus de Liberdade**: 3.

### 3.3.5 Robô revoluto

São os robôs mais utilizados pela indústria (FIG. 16), devido ao fato de sua configuração se assemelhar ao braço humano, possuindo braço, antebraço e pulso, para tanto possui 3 juntas rotativas

Figura 16: Manipulador revoluto.
Fonte: CARRARA, V. Apostila de Robótica.

- **Área de Operação**: envoltórios esféricos.
- **Configuração**: TRR.
- **Graus de Liberdade**: 3.

## 3.4 Órgão terminal

O órgão terminal de um braço robótico é uma terminologia utilizada para apresentar a ferramenta conectada ao pulso do braço, como exemplo, uma garra para segurar objetos ou até mesmo um eletroímã. O manipulador que foi construído para este trabalho utilizará como órgão terminal uma garra de dois dedos. Este tipo de garra

tem como característica movimentos paralelos, porém não existe a possibilidade de manipular objetos grandes, devido à limitação na abertura da garra.

## 3.5 Motores Elétricos

É muito comum robôs de médio e pequeno porte utilizarem acionadores elétricos. Embora se utilizem acionadores do tipo hidráulicos ou pneumáticos para a realização de seus movimentos, tais acionadores geralmente são motores de corrente contínua (DC), motores de passo e servos-motores. Tais motores não conseguem proporcionar velocidade ou potência equivalentes aos acionadores hidráulicos, entretanto permitem maior precisão sobre as demais classes de acionadores, sendo que geralmente possuem algum tipo de redução mecânica de velocidade para aumento de torque.

### 3.5.1 Servo motores

Os servos motores são motores pertencentes à classe dos acionadores elétricos. Sua construção é sobre um motor DC que inclui um redutor mecânico de velocidade em conjunto com um sensor de posicionamento juntamente com um sistema de controle realimentado, ou seja, por esses motivos tais motores podem ser controlados através de comandos de posição, tanto angular quanto linear. Seu mecanismo de posicionamento consegue controlar e ajustar a posição angular por meio de um sinal enviado a ele. O servo motor mantém a posição angular enquanto receber o sinal, que é do tipo PWM (*Pulse Width Modulation*), que significa que a posição angular do motor dependerá da largura do pulso.

# 4 INTERFACE DE CONTROLE

O conceito de Interface pode ter muitos significados, em robótica pode considerado pela presença de uma ou mais ferramentas para o uso e movimentação de qualquer sistema de informações, seja ele material ou virtual. O Novo Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa define interface como:

> O conjunto de meios planejadamente dispostos sejam eles físicos ou lógicos com vista a fazer a adaptação entre dois sistemas para se obter certo fim cujo resultado possui partes comuns aos dois sistemas, ou seja, o objeto final possui características dos dois sistemas.

É o ponto em que há o controle entre dois dispositivos *hardwares*, entre um usuário e um programa, ou entre suas aplicações. No *hardware*, a interface descreve as conexões lógicas e físicas utilizadas, como no RS-232 que é um padrão de protocolo para troca serial de dados binários entre um DTE (*Data Terminal equipment*) e um DCE (*Data Communication equipment*). É comumente usado nas portas seriais dos PCs., sendo considerado em geral sinônimo de porta. A interface com o usuário se compõe dos meios pelos quais um programa se comunica com o usuário, incluindo uma linha de comandos, menus, caixas de diálogos, sistema de ajuda *on line* etc.

As interfaces com os usuários podem ser classificadas como baseadas em caracteres (texto), baseados em menus ou baseadas em elementos visuais. As interfaces de *software* são *APIs* ( *Application Program Interfaces* ou Interfaces de Programas Aplicativos) e consistem em códigos e mensagens utilizadas pelos programas para se comunicarem de forma transparente com o usuário.

## 4.1 Sistema de Controle

O sistema de controle de qualquer robô é realizado por meio de um sistema de *software* e *hardware*. Tal sistema processa os sinais de entrada e converte estes sinais em uma ação ao qual foi programado. O *software* pode ser desenvolvido em um computador pessoal ou num microcontrolador. Nesse aspecto, devem-se levar em consideração os pontos fortes e fracos de cada possibilidade.

O microcontrolador reduz o custo, é rápido, dedica-se apenas ao controle do robô, porém possui limitações em relação ao tamanho do *software*. Já o computador pessoal possui alta taxa de processamento e maior espaço para a alocação do software. Pode-se ainda aplicar uma solução mista, em que a parte mais leve do *software* fica no microcontrolador e a parte de maior processamento fica no computador pessoal. O sistema de *hardware* pode constituir, por exemplo, de motores de passos, cabos, dispositivo de entrada, sensores e amplificadores de potência. Um dos fatores mais importantes é a utilização de sensores, pois podem ser dispositivos de um sistema de malha fechada, ou seja, consiste em verificar o estado atual do dispositivo a ser controlado e comparar essa medida com um valor predefinido. Essa comparação resultara num erro, ao qual o sistema de controle fará os ajustes necessários para que o erro seja reduzido a zero.

A plataforma de implementação dos programas em Arduino é baseada nas linguagens C/C++, preservando sua sintaxe na declaração de variáveis, na utilização de operadores, na manipulação de vetores, na conservação de estruturas, bem como é uma linguagem sensível ao caso (*case-sensitive*) Contudo, ao invés de uma função *main*( ), o Arduino necessita de duas funções elementares: *setup*( ) e *loop*( ).( MINAKAWA, TIOSSO , 2012)

Para que possamos comandar os motores responsáveis pela movimentação das juntas do manipulador foi necessário a elaboração de uma interface de controle representada na FIG. 17. Tal interface tem de ser robusta o suficiente para promover sinais de controle para sete servo motores, utilizados no “corpo” do manipulador, e responsáveis pela movimentação da garra, ou seja, seu órgão terminal. Levando em conta a proposta original do trabalho em apresentar a construção de um manipulador robótico de baixo custo, foi decidida a não utilização da abordagem de controle sem fio devido ao elevado custo de seus receptores e controladores.
O programa utilizado para fazer o software de controle é o Real Term que é projetado para capturar , controlar e depurar fluxos de dados binários e outros . É muito melhor para a depuração do que o *Hyperterminal* . Ele não tem suporte para modems de discagem , BBS etc.

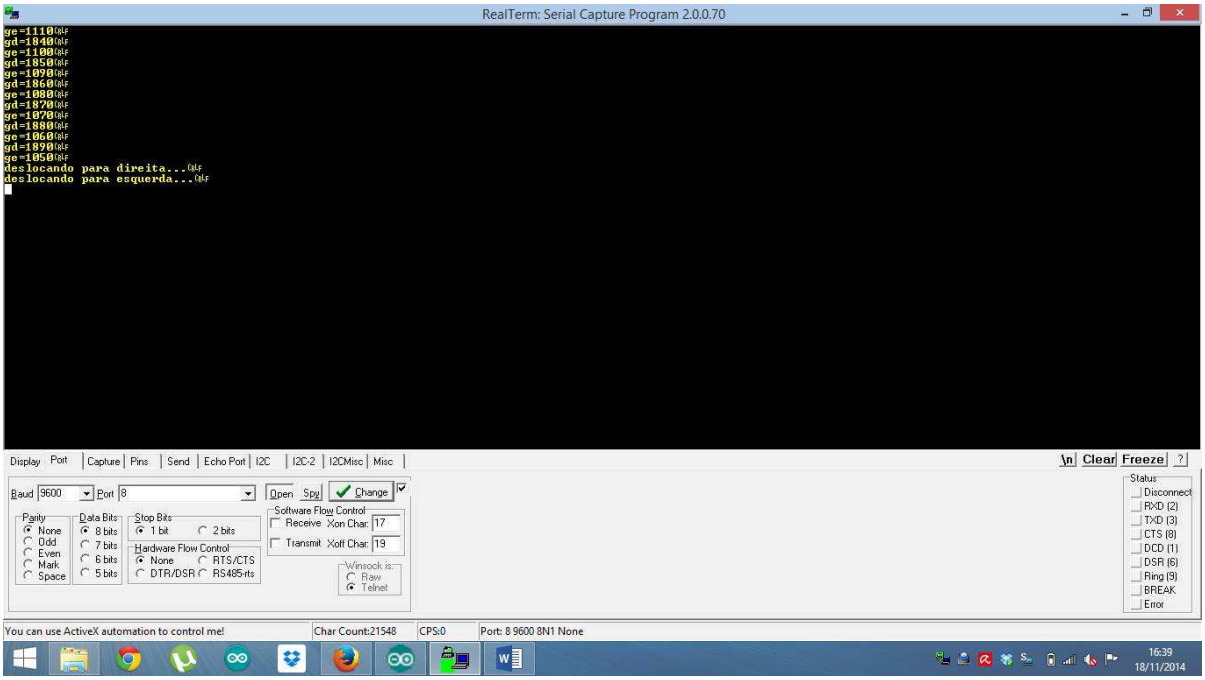


Figura 17: Tela do Programa que controla o Braço.
Fonte: Acervo pessoal do autor.

## 4.2 Unidade de controle – Arduino Mega 2560

A placa Arduino Mega 2560 (FIG. 18) é uma plataforma de prototipagem eletrônica de *hardware* livre que possui recursos bem interessantes para prototipagem e projetos mais elaborados. Baseia-se no microcontrolador ATmega 2560 e possui 54 pinos de entradas e saídas digitais e 15 destes podem ser utilizados como saídas PWM. Possui também 16 entradas analógicas, 4 portas de comunicação serial. Além da quantidade de pinos, possui uma maior memória que Arduino UNO, sendo uma ótima opção para quem necessita de muitos pinos de entrada e saída além de memória de programa com maior capacidade.

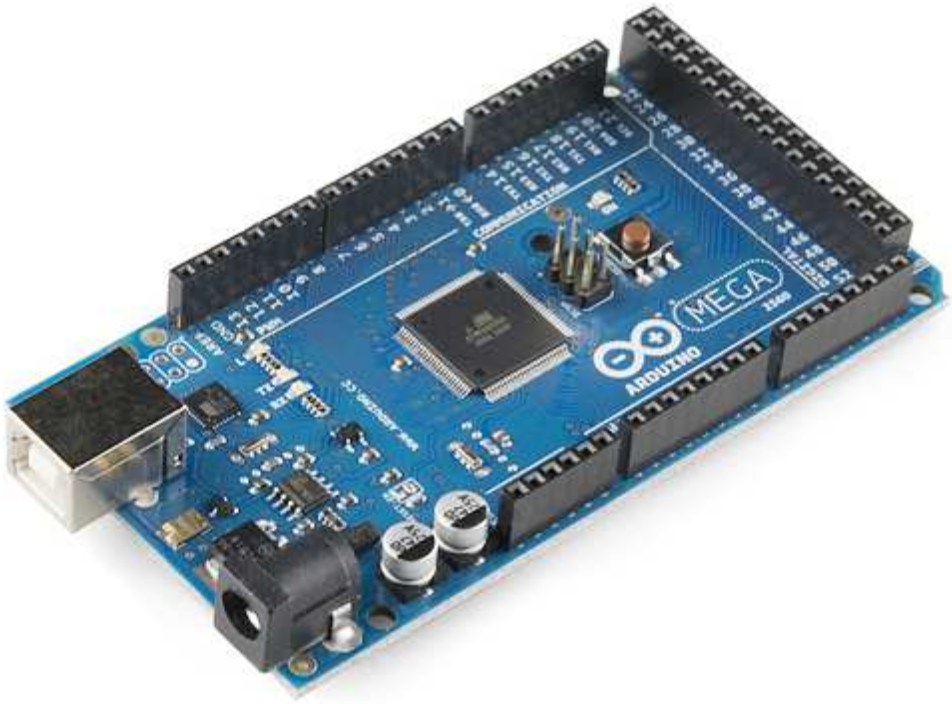


Figura 18: Arduino Mega 2560
Fonte: Disponível em: < http://www.embarcados.com.br/arduino-mega- 2560/>. Acesso em 30 outubro. 2014

.

### 4.2.1 Alimentação

A alimentação da placa Arduino Mega, pode ser feita de duas maneiras, pela entrada USB ou por uma alimentação externa. Veja na FIG.19.

Figura 19: tipos de alimentação
Fonte: Disponível em: < http://www.embarcados.com.br/arduino-mega- 2560/>. Acesso em 30 outubro. 2014

A alimentação externa é feita por meio do conector Jack e recomenda-se para tensões da fonte externa valores entre 7V e12V. NA alimentação por cabo USB a tensão não precisa ser estabilizada pelo regulador de tensão, dessa forma a placa é alimentada diretamente pela porta USB.

O Arduino Mega 2560 possui muitos recursos para serem utilizados, podemos destacar  também um circuito comutador para a alimentação da placa entre a tensão da *USB* e a tensão da fonte externa. Se ao mesmo tempo tensão no conector DC e a *USB* é conectada, a tensão de 5V será proveniente da fonte externa e *USB* servirá apenas para comunicação com o *PC*. Além disso, um dos fatores determinantes para a enorme versatilidade e popularidade da plataforma Arduino são os *Shields*, que são placas de circuito que contém *displays* de *LCD*, sensores, módulos de comunicação, relês etc. Eles podem ser conectadas ao Arduino, perfeitamente por cima dele, e expandindo suas capacidades (FIG. 20).

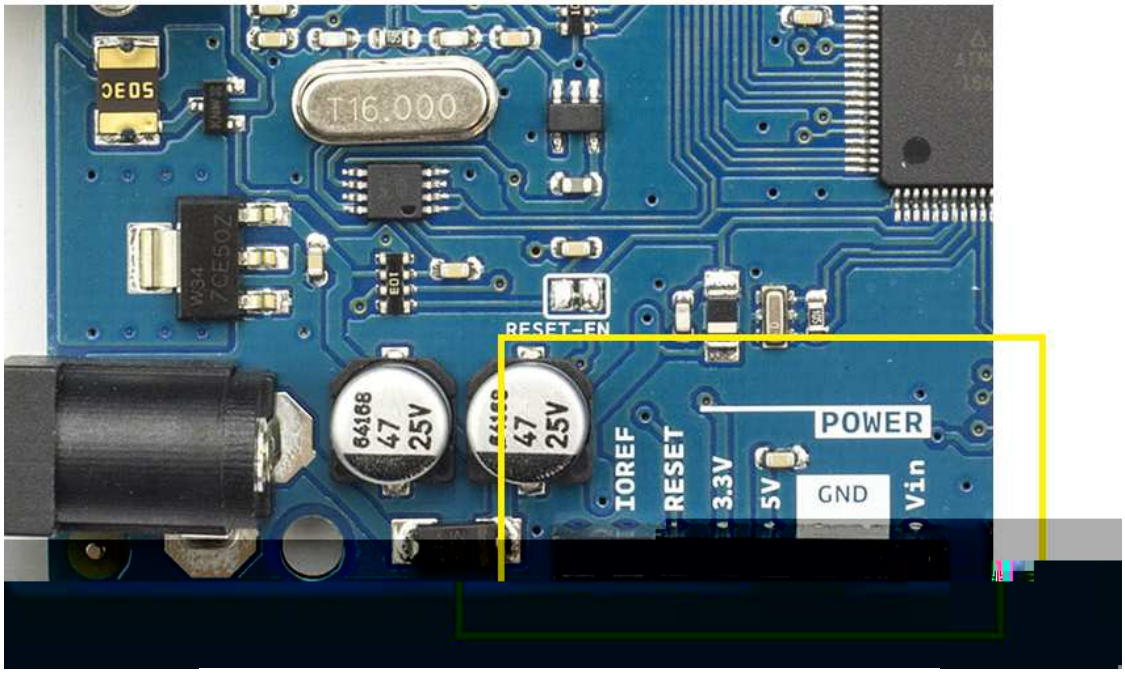


Figura 20: Conectores de alimentação para conexão de *shields* e módulos.
Fonte:  Disponível em: < http://www.embarcados.com.br/arduino-mega-2560/>. Acesso em 30 outubro. 2014

Conectores e funções:

- ***IOREF***– Fornece uma tensão de referência de 3,3V. podem ser adaptar para ser utilizados em 5V. e vice-versa.

- ***RESET***– Utilizado para um reset externo da placa Arduino.

    - ***3,3 V***. – Fornece tensão de 3,3V. para alimentação de shield e módulos externos.

- ***5 V***– Fornece tensão de 5 V para alimentação de circuitos externos.

- ***GND***- Ground, terra.

- ***VIN***– Pino para alimentar a placa através de shield ou bateria externa.

### 4.2.2 Comunicação USB

A interface de comunicação via *USB* possui um microcontrolador ATMEL ATMEGA16U2 (FIG. 21), que é o responsável pelos *uploads* de códigos binários gerados após a compilação do programa feito pelo usuário. Possui um conector *ICSP* para gravação de *firmware* através de um programador ATMEL, para atualizações futuras. A indicação de envio e recepção de dados da placa para o computador é feita por dois *leds* (TX, RX). Outra vantagem para o uso da placa Arduino é a conexão do pino 13 do ATMEGA16U2 ao circuito de *RESET* do ATMEGA2560, possibilitando a entrada no modo *bootloader* automaticamente quando é pressionado o botão *Upload*. Assim não necessário pressionar o botão de *RESET* antes de fazer o *Upload* na Placa.

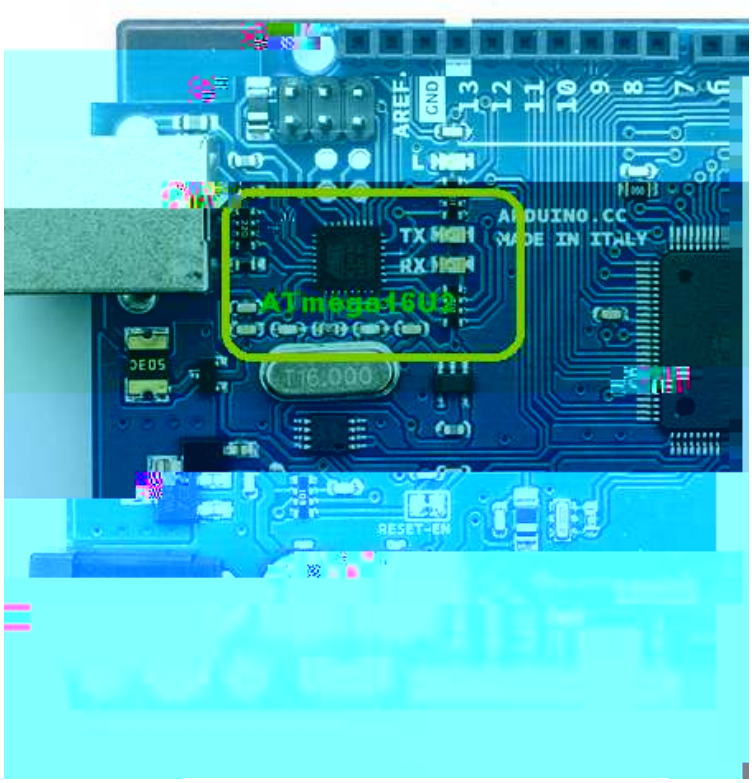


Figura 21: Microcontrolador ATMEL ATMEGA16U2.Fonte: Disponível em: < http://www.embarcados.com.br/arduino-mega-2560/>. Acesso em 30 outubro. 2014

### 4.2.3 Microcontrolador

Para um bom desempenho utiliza-se o microcontrolador MEGA 2560 (FIG. 22), que possui 8 bits de arquitetura, 256 KB de *Flash* e mais 8 KB são utilizados para o *bootloader*. Além disso possui 8 KB de RAM e 4 KB de *EEPROM* (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory), operando em 16 *MHz*. Possui multiplicador por *hardware* e diversos periféricos que aumentam as possibilidades da plataforma possui também 4 canais de comunicação serial, 16 entradas analógicas e 15 saídas PWM. Possui ainda comunicação SPI, I2C e 6 pinos para executar interrupções externas. Veja FIG. 23 e FIG. 24.

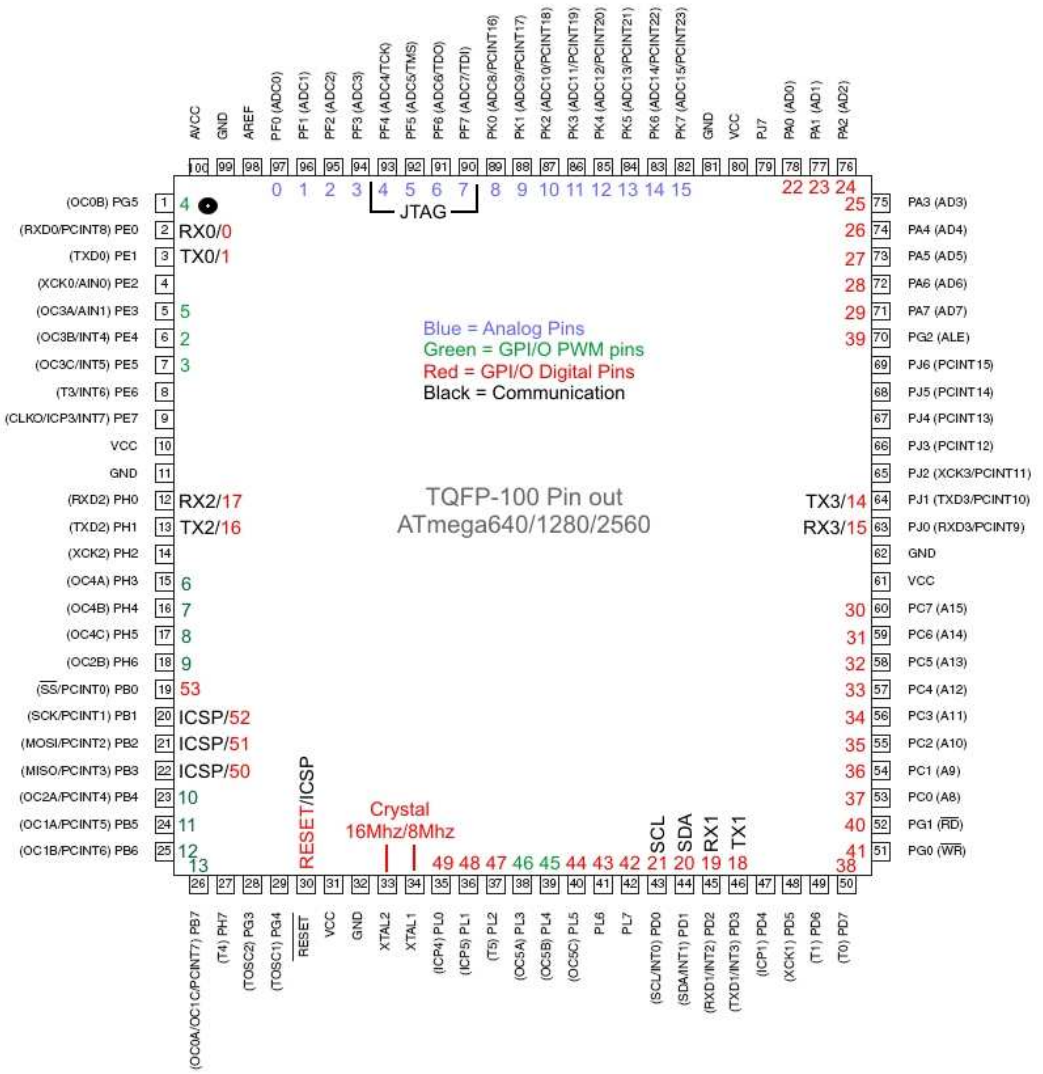


Figura 24: Pinos do microcontrolador ATMEL MEGA 2560.
Fonte: Disponível em: < http://forum.arduino.cc/index.php/topic,66597.0.html>.
Acesso em 30 outubro. 2014

## 4.3 Controlando servo motores

Um circuito eletrônico de controle junto a um potenciômetro formam um sistema interno de realimentação *(feedback)* para controle da posição do eixo do servo (FIG 25).

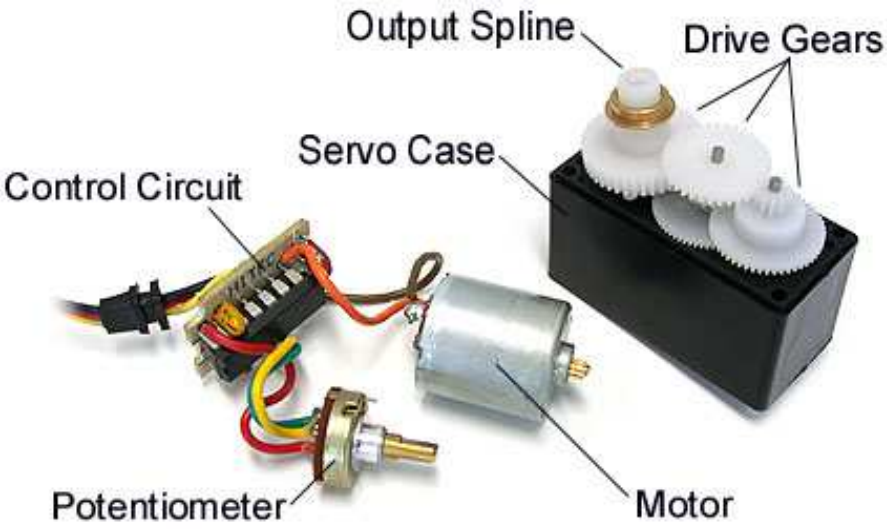


Figura 25: Partes que compõem um servo.
Fonte: Disponível em http://www.pictronics.com.br Acesso em 20 fev. 2013.

Tipicamente, o eixo de um servo roda entre 0º e 180º e pode ser posicionado, entre estes dois valores angulares, pela aplicação de um sinal na entrada de controle. Aplicado e mantido o sinal, o servo manterá a posição angular do seu eixo. Se o sinal mudar, então a posição angular do eixo também muda. Caso não seja aplicado sinal, só as forças de atrito mantêm o servo na sua posição angular.

O sistema interno de realimentação faz com que o servo gire para uma determinada posição em resposta a um determinado pulso. O potenciômetro de *feedback*, que está conectado mecanicamente ao eixo do servo, funciona como sensor que indica a posição do eixo. A divisão de tensão no potenciômetro produz uma tensão proporcional ao ângulo do eixo do servo, uma vez que a sua resistência varia em função do ângulo de rotação do motor.

O circuito eletrônico compara o valor da resistência do potenciômetro com os pulsos que recebe pela linha de controle, acionando o motor para corrigir qualquer diferença que exista entre ambos. Isto é, o potenciômetro permite ao circuito de controle verificar a todo o momento o ângulo de rotação do servo. Se o eixo está no ângulo correto, o motor não roda. Se o circuito verifica que o ângulo não é o correto, o motor roda, no sentido adequado, até alcançar o ângulo correto. A comparação entre o valor do potenciômetro e a amplitude dos pulsos, e as correções que origina, são as componentes de um processo de controle designado por controle em malha

fechada. A tensão aplicada ao motor do servo é proporcional à distância que o eixo necessita de rodar. Logo, se o eixo precisa rodar muito, o motor roda à velocidade máxima. Se precisa rodar pouco, o motor roda a uma velocidade mais baixa. A isso se chama controle proporcional.

### 4.3.1 Controle do ângulo de rotação dos servos

O ângulo de rotação do motor dos servos é determinado pela duração do pulso (tempo *ON*) (FIG. 26) que se aplica na entrada de comando.

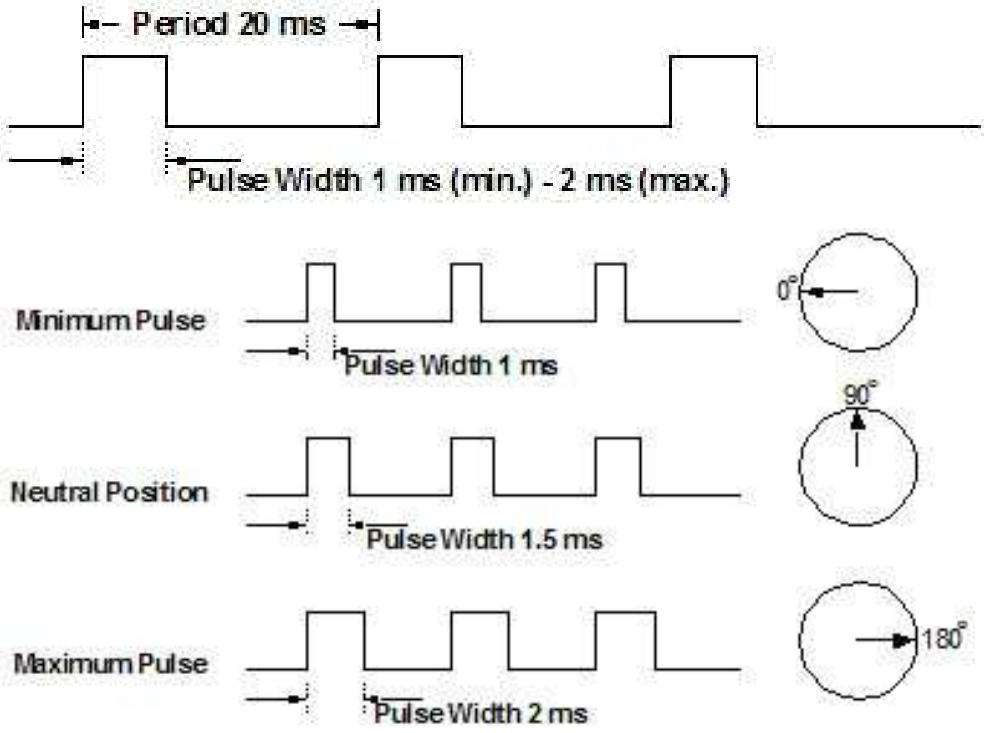


Figura 26: Largura de pulsos.
Fonte: Disponível em http://www.pictronics.com.br Acesso em 20 fev. 2013.

O servo funciona em PWM (*Pulse Width Modulation*, modulação por largura de pulso), sistema que consiste em gerar uma onda quadrada em que se varia a duração do pulso, mantendo o período da onda. A largura mínima e máxima do pulso depende do tipo de servo. No entanto, e no caso geral, se o servo receber na sua entrada pulsos com a duração de 1.5ms, o seu eixo roda até ficar estável no centro do intervalo de rotação, a que corresponde o ângulo de 90º. Se receber pulsos com a duração de 1ms, roda, no sentido anti-horário, até atingir o limite do intervalo de rotação correspondente a 0º. Se receber pulsos com a duração de 2ms, roda, no sentido horário, até atingir o outro limite do intervalo de rotação correspondente a 180º ou um pouco mais pulsos ente 1ms e 1.5ms farão com que o servo rode para posições intermédias entre 0º e 90º, enquanto pulsos entre 1.5ms e 2ms farão com que o servo rode para posições intermédias entre 90º e 180º. Os elementos de um servomotor são:

- ***Control Cicuit*** - Circuito de Controle: Responsável por receber os sinais e energia do receptor, monitorar a posição do potenciômetro e controlar o motor de acordo com o sinal do receptor e a posição do potenciômetro.

- ***Potenciometer*** – Potenciômetro: Ligado ao eixo de saída do servo, monitora a posição do mesmo. .

- **Moto**r: Movimenta as engrenagens e o eixo principal do servo.

- ***Drive Gears*** – Engrenagens: Reduzem a rotação do motor, transferem mais força ao eixo principal de saída e movimentam o potenciômetro junto com o eixo.

- ***Servo Case***: Caixa do servo.

## 4.4 Controlando motores de CC

A máquina de corrente contínua de forma simplificada (FIG. 27) é formada por um campo (estático) e uma armadura (girante). O campo é formado pelos enrolamentos do estator sendo o responsável pela geração do fluxo magnético principal.

A armadura é formada pelo rotor, seus enrolamentos e o conjunto de escovas e coletor. Durante a operação, o motor é percorrido por duas correntes respectivamente no campo e na armadura. A corrente elétrica é fornecida para a armadura através das escovas e do coletor. Enquanto a corrente de excitação aplicada diretamente ao campo, temos a corrente responsável pela produção do fluxo magnético principal.

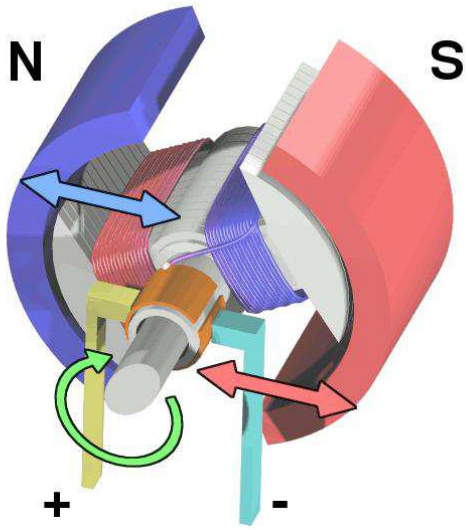


Figura 27: Esquema de funcionamento de um motor corrente contínua.
Fonte: Disponível *www.siemens.com.br.* Acesso em 20 fev. 2013.

### 4.4.1 Circuito Integrado L293D

O L293D é um circuito integrado que contém duas pontes H (FIG.28) que são circuito compostos de alguns transistores, diodos para barrar a corrente reversa, e alguns resistores para não queimar os transistores.O que ele faz é rodar e reverter motores DC. Para fazer um circuito de ponte H na mão seria mais ou menos assim:

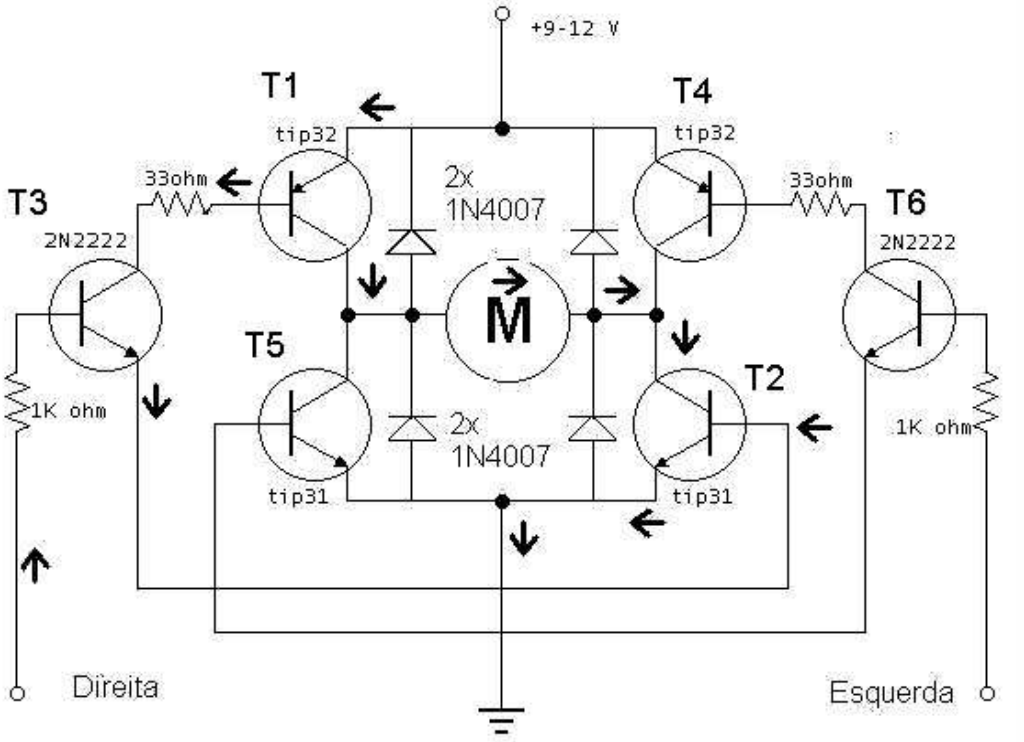


Figura 28: Circuito ponte H
Fonte: Data sheet

Quando queremos que o motor gire para um lado, fecha-se T1 e T2 e abre-se T4 e T5. Nesse caso a corrente correrá desde o *input* 9-12V até o terra (*ground*) passando pelo motor no caminho. Para revertê-lo, fecha-se T4 e T5, fazendo a corrente passar no caminho contrário pelo motor. Nesse caso, T3 e T6 são usados para diminuir a quantidade de *inputs* necessários de 4 (um para cada transistor) para 2 (um para cada par de transistores). Observe os quatro diodos perto do motor, eles fazem com que a corrente não volte pelo caminho reverso. Resumindo o CI L293D tem dois circuitos iguais ao da FIG.29.

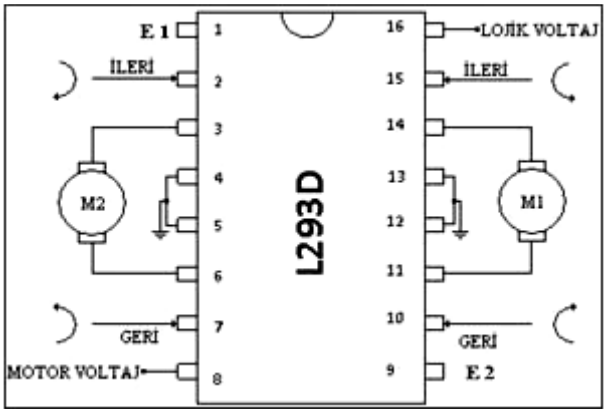

Figura 29: Esquema de ligação dos motores
Fonte: *Data sheet*

### 4.4.2 Montagem do circuito

Esse CI possui 16 pinos, mas veja como é simples. Precisamos de 4 pinos para fazer os *inputs* a partir do nosso Arduino, dois para cada canal do circuito. Alternando o valor para *HIGH* ou *LOW* nesses pinos dizemos para girar para um lado ou para o outro. São eles os pinos 2 e 7 para um motor e 15 e 10 para o outro. Precisa-se de 4 pinos para ligar nos motores, dois para cada, que são os *outputs*, pinos 3 e 6 para um motor e pinos 14 e 11 para o outro. Quatro pinos são apenas dissipadores de calor, portanto 4, 13, 5 e 12 vão para *ground*. 1 e 9 dizem se o canal está ligado ou desligado, para usar dois motores liga-se os dois em 5V. Sobram os pinos 8 que é a entrada de energia para os motores, pode-se passar até 36V nele, e o pino 16 que é a entrada de energia para os circuitos lógicos.

# 5 A FABRICAÇÃO DO MANIPULADOR

Este capítulo aborda conceitos sobre o projeto original, sendo assim todas as modificações e melhorias serão abordadas no capítulo seis (Melhorias do Protótipo). Dessa forma o trabalho aqui apresentado é composto por braço, antebraço e pulso e consiste de elementos denominados elos, unidos por juntas de movimento relativo, onde são acoplados acionadores para realizarem esses movimentos individualmente, instruídos por um sistema de controle. O braço é fixado à base por um lado e ao punho pelo outro. O punho consiste de várias juntas próximas entre si, que permitem a orientação do órgão terminal, nas posições as quais correspondem à tarefa a ser realizada. Na extremidade do punho existe um órgão terminal (mão ou ferramenta) destinada a realizar a tarefa exigida pela aplicação.

## 5.1 Arquitetura

Para desenvolver o braço robótico foi necessária a escolha de uma configuração para ser usada como base, a do tipo articulada foi então escolhida. A arquitetura e o *design* deve ser de fácil compreensão e de rápida manutenção, para possibilitar o seu uso em disciplinas de robótica e para auxiliar na didática das aulas práticas, além de possibilitar a elaboração de novos projetos e estudos voltados para a área. A arquitetura em questão é dividida em 20 partes as quais, em conjunto, formam o braço robótico. Resolveu-se por mensurar todo o projeto tomando como ponto de referência a área de trabalho do manipulador, que possui 90 centímetros de comprimento por 60 de largura. O braço possui seis graus de liberdade e para a movimentação do braço são utilizados servo motores com diferentes torques (força que age em um objeto e faz com que o mesmo gire em torno de seu eixo). A FIG. 30 apresenta o projeto inicial.

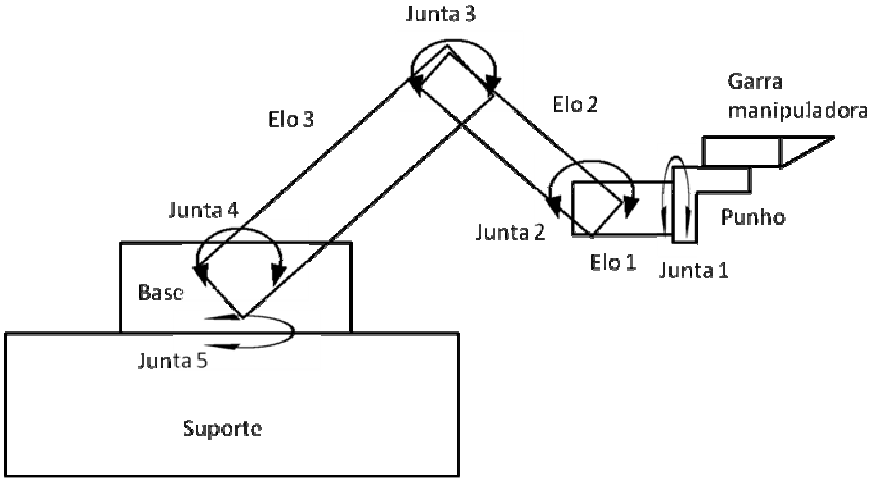


Figura 30: Projeto inicial
Fonte: Acervo pessoal do autor.

Medidas:

- Garra manipuladora: 10 x 3 x 0,1 cm (comprimento x altura x espessura);
- Punho: 3 x 3 x 3 (lado 1 do L x lado 2 do L x largura);
- Elo 1: 6 x 6 x 3 cm (comprimento x altura x largura);
- Elo 2: 18 x 4 x 4 cm;
- Elo 3: 29 x 5 x 4 cm;
- Base: 23 x 11 x 10 cm;
- Suporte: 40 x 16 x 15 cm.

Robôs articulados minimizam a intrusão da estrutura do manipulador em um espaço de trabalho, tornando-os capazes de chegar em espaços confinados. Eles exigem menos estrutura global do que os robôs cartesianos, tornando-os menos caros para aplicações que necessitam de espaços de trabalho menores. (CRAIG 2005).

Um manipulador articulado FIG.31, pode também ser chamado de manipulador com juntas**,** com cotovelo ou antropomórfico. Consiste de duas juntas no que pode ser chamado “ombro”, uma localizada na base para rotação em torno de um eixo vertical e outra de elevação do “braço” no plano horizontal, uma junta que une o braço ao antebraço que é o “cotovelo” e duas juntas no punho, na extremidade do manipulador.

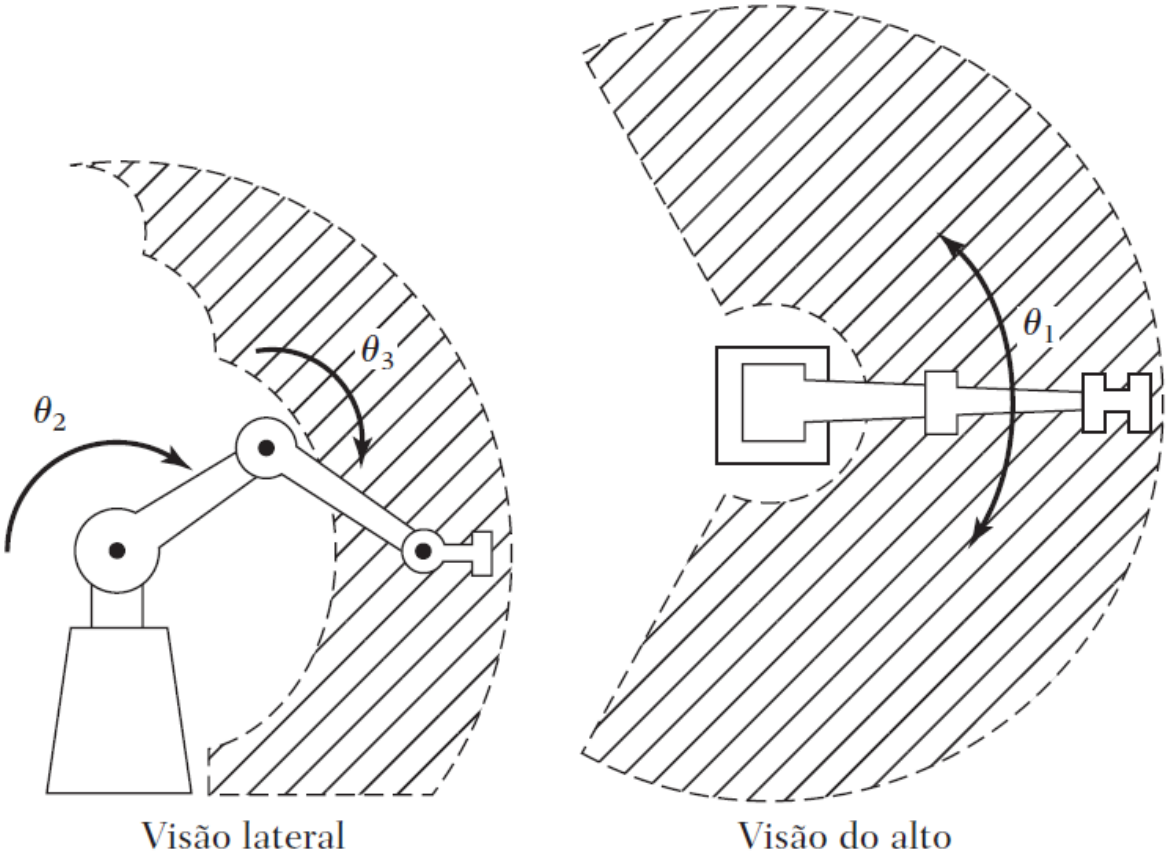


**Figura 8.4:** Manipulador articulado.

Figura 31: manipulador articulado
Fonte: **CRAIG 2005**

Saber bem dos detalhes e conhecer os aspectos exigidos pelas cargas é o básico para um correto equacionamento. Todavia a construção de um manipulador robótico de alta tecnologia e precisão não é objetivo deste trabalho, uma vez que os recursos financeiros e técnicos são limitados.

## Espaço de trabalho

Foi escolhido como material para a confecção da estrutura do braço e da base o alumínio, chapas de espessura 1,5 milímetros, devido à sua leveza e resistência; o elo 1 e a proteção superior da base foram feitos de policarbonato, para visualização do circuito interno; e a área de trabalho é de fibra de média densidade (MDF)

(FIG.32). Todo o material foi cortado, furado e lixado a partir das placas e chapas utilizadas.

Para realizar tarefas, um braço robótico precisa alcançar uma quantidade de peças de trabalho ou instrumentos. O posicionamento de cada elo ou junta ocorre de acordo com a necessidade de manipular determinado objeto, assim deve ocorrer uma adequação ao espaço de trabalho do manipulador. Área de trabalho é o local ou base onde o manipulador se encontra, espaço de trabalho ou volume de trabalho é o espaço ou volume percorrido pelo manipulador em todas as suas posições possíveis.

Figura 32: Área de trabalho
Fonte: Acervo pessoal do autor.

**Capacidade de carga**

A capacidade de carga de um manipulador depende do dimensionamento de seus membros estruturais, sistema de transmissão de força e dos atuadores. A carga colocada nos atuadores e no sistema acionador é uma função da configuração do robô, da porcentagem de tempo suportando a carga e carregamento dinâmico devido a forças inerciais e relacionadas à velocidade. (CRAIG 2005).

A FIG. 33 mostra como uma força aplicada em um corpo pode fazer o mesmo girar em torno do seu eixo.

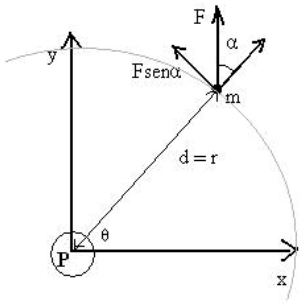


Figura 33: Força aplicada em um corpo.
Fonte HIBBELER, R.C. Mecânica para Engenharia

Matematicamente, o vetor torque $\overrightarrow{T}$ é dado pelo produto vetorial entre os vetores $\overrightarrow{r}$ $\overrightarrow{F}$ e:

$$\overrightarrow{T} = \overrightarrow{r} \times \overrightarrow{F} \quad \text{(I) ou}$$

$$\overrightarrow{T} = \overrightarrow{r} \times \overrightarrow{F} \; \text{xsenα (II)}$$

Em que:

- T é o torque;
- d é o braço de alavanca;
- r é a distância da força aplicada até o ponto fixo;
- F é a força aplicada;
- senα é o seno do ângulo entre a força e o braço de alavanca d.

Quando α é 90º senα = 1 então a equação se reduz a:

$$\overrightarrow{T} = \overrightarrow{r} \times \overrightarrow{F} \quad \text{(I)}$$

Se considerarmos um braço de alavanca d com comprimento r, teremos T = rxF em N.m ou Kg.cm observe que é a mesma dimensão de energia, porém a unidade de energia é o joule e é simbolizada por J, no SI.

Esta é uma expressão corriqueira no meio mecânico e se traduz por exatamente o seu sentido. O torque ou binário é caracterizado por uma força que produz rotação, com seu ponto de aplicação a certa distância do centro do eixo de giro.

Sendo assim após a montagem de cada elo os mesmos foram pesados, as massas (forças) levadas em consideração no dimensionamento, são aplicadas no ponto médio de cada junta uma somada a outra para se obter o movimento de todos os elos, dessa forma pode-se chegar aos valores de torque nas juntas de acordo com a fórmula (I) e (II):

- Junta 1: T1=150g x 2 cm = 0,3Kg x cm;
- Junta 2: T2=300 g x 4,5 cm = 1,350 Kg x cm;
- Junta 3: T3=450 g x 14 cm = 6,3 Kg x cm;
- Junta 4: T=500 g x 24 cm = 12,0 Kg x cm;

- Junta 5: T=1 kg x 7 cm = 7 Kg x cm.

Baseando-se nesses valores, foi feito o dimensionamento e a escolha dos servo motores responsáveis pelo movimento da junta.

| JUNTA | TORQUE | SERVO MOTOR |
|---|---|---|
| **JUNTA 1** | **0,3Kg x cm;** | **1,4 kg x cm** |
| **JUNTA 2** | **1,350 Kg x cm;** | **4,3 kg x cm** |
| **JUNTA 4** | **12,0 Kg x cm;** | **13kg x cm** |
| **JUNTA 3 E JUNTA 5** | **6,3 Kg x cm;/ 7 Kg x cm.** | **8 kg x cm** |

Quadro 4: Dimensionamento motores

**Fonte: Acervo pessoal do autor**

O Dimensionamento de todas a juntas foi elaborado com base em um peso máximo de cinquenta gramas para ser manipulado pela garra, ou seja, qualquer peso acima disso força os motores provocando assim a queima dos mesmos. Todo o conjunto final do braço robótico ficou com uma massa de aproximadamente nove quilogramas.

## 5.2 A Construção

### 5.2.1 A Base

A base (FIG. 34) é formada por uma única folha de alumínio cortada (FIG. 35), dobrada e parafusada. Em sua parte inferior e na lateral direita, essa possui suportes para acoplar os servo motores. É uma base do tipo giratória e possui um ângulo de abertura de aproximadamente 170 graus. A mesma está instalada sobre uma plataforma que possui movimento linear (FIG.36). A base do braço também serve

como alojamento do microcontrolador e do circuito eletrônico, com o intuito de proteger esses componentes. A plataforma linear foi projetada para promover movimentos na horizontal para a base, por meio de correias movimentadas por motores de corrente contínua. Também foi projetado para ser o alojamento da fonte, que alimenta os motores e o circuito.

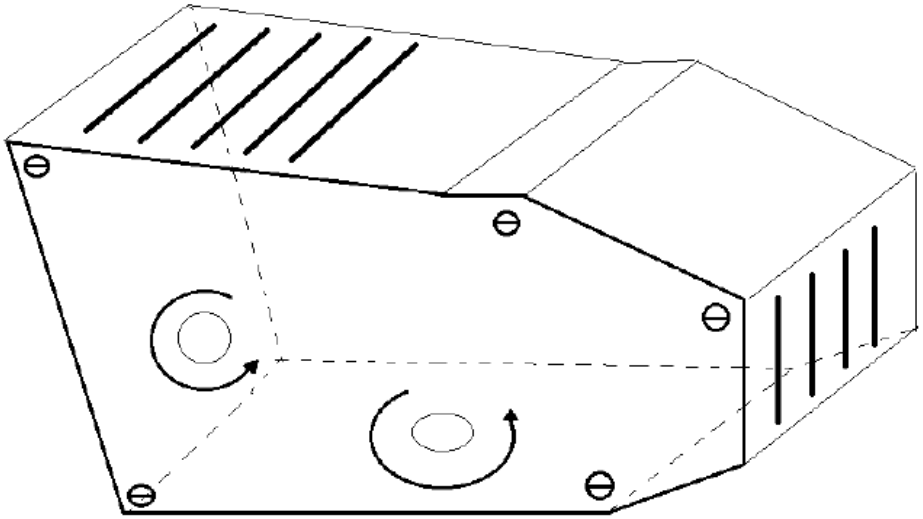

Figura 34: Projeto inicial da base.
Fonte: Acervo pessoal do autor.

Figura 35: Folha de alumínio cortada para montar a base.
Fonte: Acervo pessoal do autor.

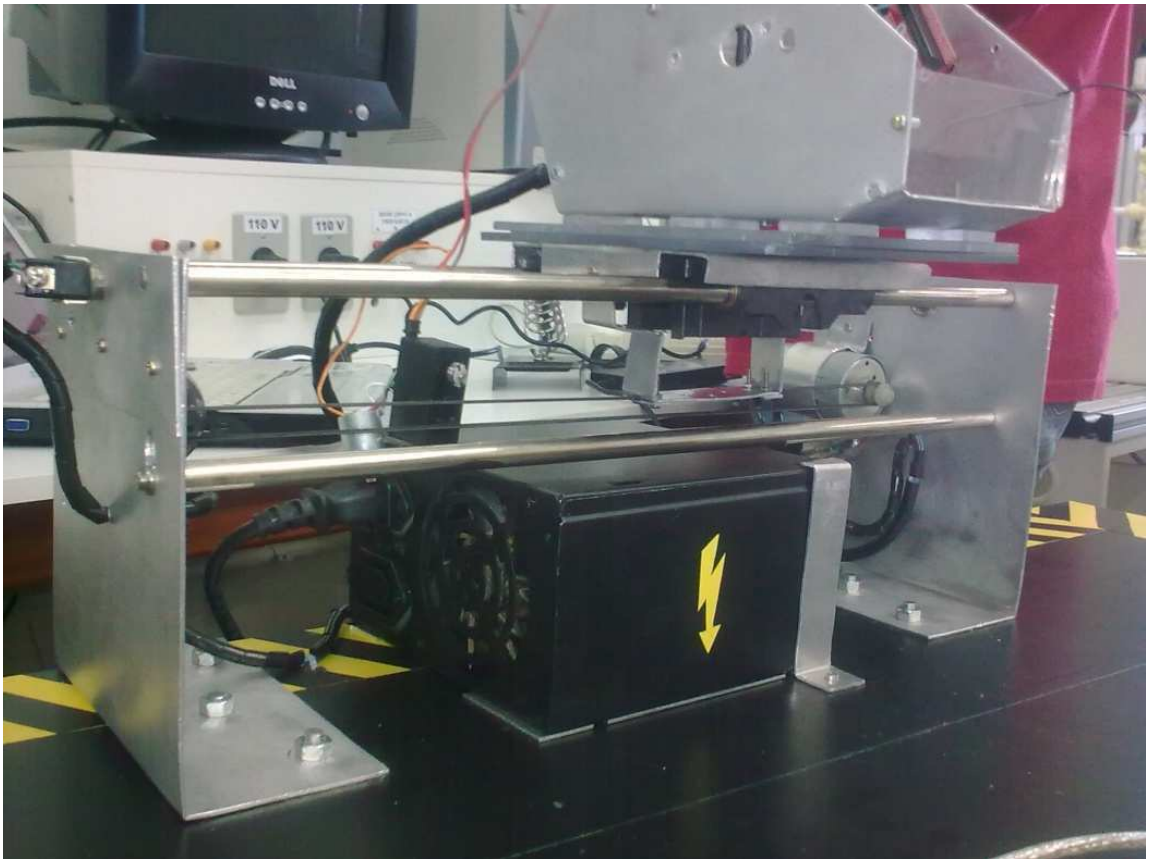


Figura 36: Detalhe do suporte da Base.
Fonte: Acervo pessoal do autor.

### 5.2.2 O Braço

O braço do manipulador (FIG. 37) é composto por duas placas de alumínio (FIG. 38) em paralelo, cujas dimensões são 29 x 5 x 4 cm. Ele é o elo número 3 do manipulador e, por meio da junta número 4, faz a ligação com a base. Esse braço possui um ângulo de abertura de aproximadamente 170 graus.

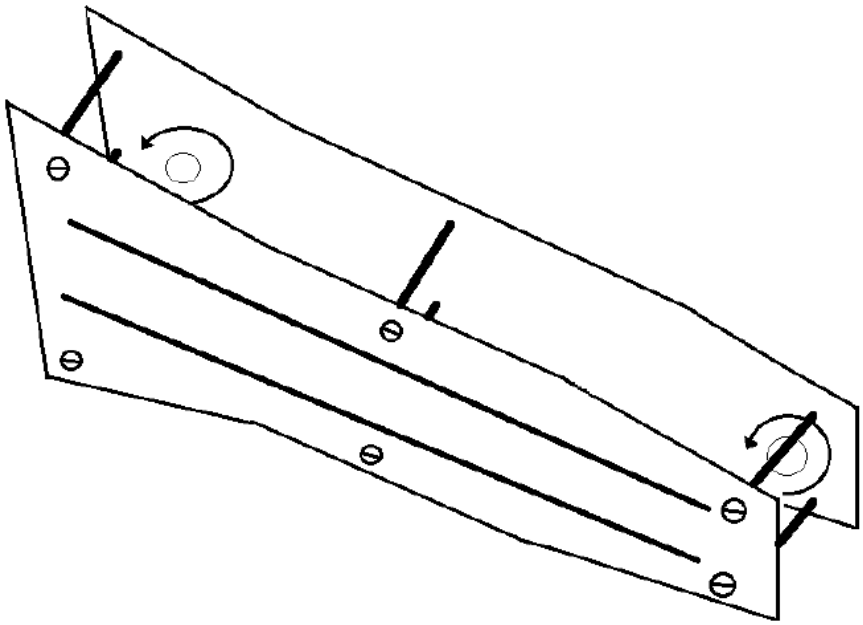

Figura 37: Projeto inicial do braço.
Fonte: Acervo pessoal do autor.

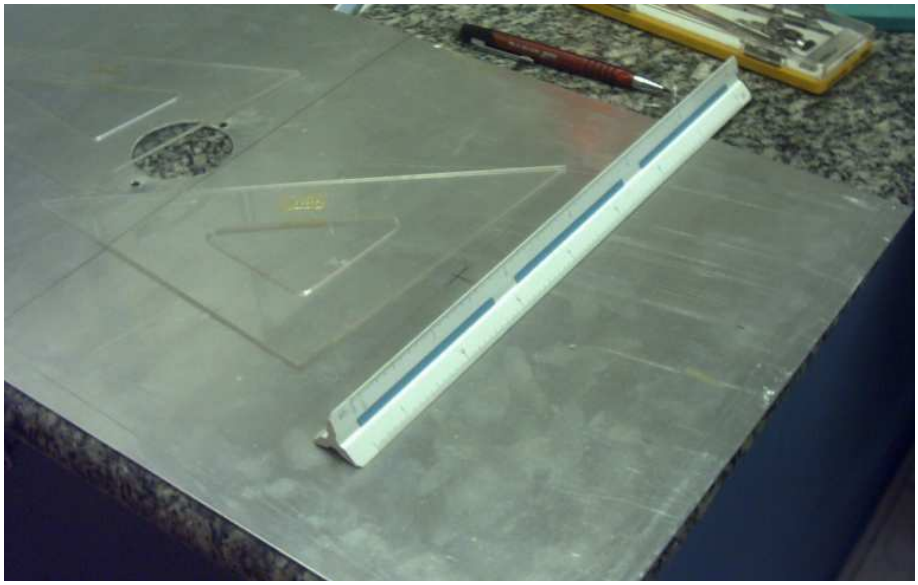

Figura 38: Alumínio a ser cortado para fabricação do braço.
. Fonte: Acervo pessoal do autor.

### 5.2.3 O Antebraço

O antebraço (FIG. 39) é uma estrutura montada logo após o braço e antes do punho, muito semelhante ao braço, porém possui uma dimensão menor de 18 x 4 x 4 cm. Contém um servo-motor acoplado que faz a união com o braço através da junta número 3 e possui um ângulo de abertura de aproximadamente 170 graus.

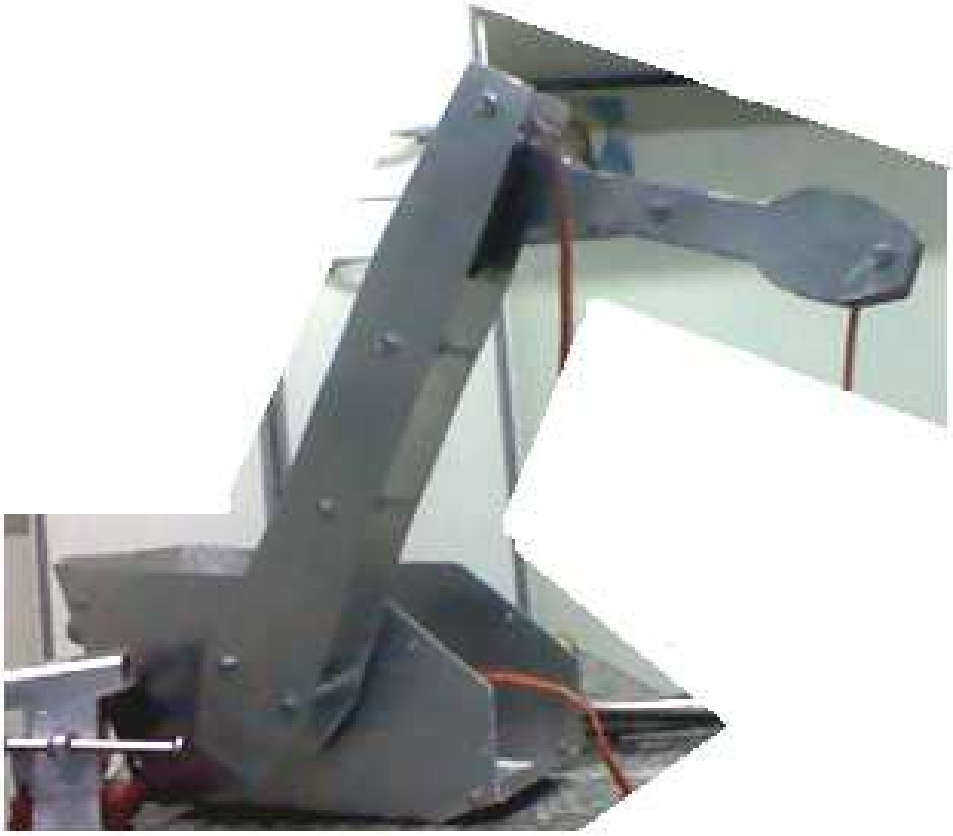

Figura 39: Base, braço e antebraço
Fonte: Acervo pessoal do autor.

### 5.2.4 O Punho

O punho (FIG 40) é feito de policarbonato e é acoplado ao antebraço através da junta 1, possui um servo motor para fazer o movimento de rolamento da garra e suas dimensões são: 6 x 6 x 3 cm.

Figura 40: Punho em acrílico.
Fonte: Acervo pessoal do autor.

### 5.2.5 A Garra

Na robótica, órgão terminal é usado para descrever a mão ou ferramenta que está conectada ao pulso, como por exemplo, uma pistola de solda, garras, pulverizadores de tintas, dentre outros. O órgão terminal é o responsável por realizar a manipulação de objetos em diferentes tamanhos, formas e materiais, porem essa manipulação depende da aplicação a qual se destina. É valido ressaltar que os órgãos terminais requerem cuidados ao serem projetados, pois é necessário controlar a força que está sendo aplicada em um objeto. Para isso, alguns órgãos terminais são dotados de sensores que fornecem informações sobre os objetos

A garra de dois dedos, como pode ser visualizada na FIG 41, é um modelo simples e com movimentos paralelos ou rotacionais. Esse modelo de garra proporciona pouca versatilidade na manipulação dos objetos, pois existe limitação na abertura dos dedos. Dessa forma, a dimensão dos objetos não pode exceder essa abertura.

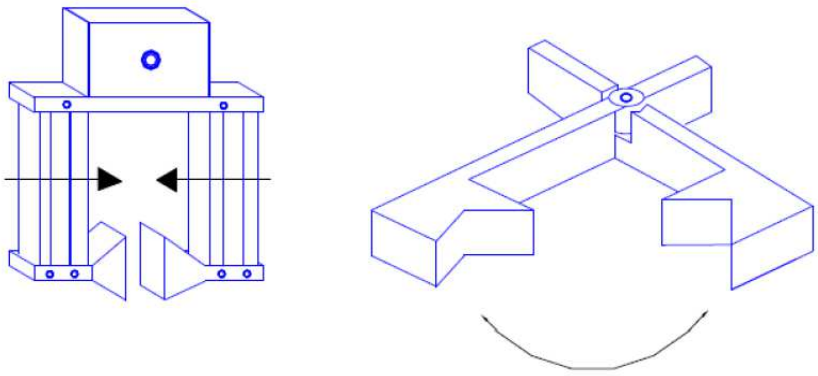

Figura 41: Modelo de garras de dois dedos
Fonte: CARRARA, V. Apostila de Robótica. Notas de Aula.

A garra usada (FIG. 42) é composta por dois servo motores que atuam em duas pinças fazendo o movimento de abrir e fechar. Além disso, ela possui um movimento de rolamento em torno de um eixo normal ao punho.

Figura 42: Garra do manipulador.
Fonte: Acervo pessoal do autor.

## 5.3 Projeto eletrônico-digital

O micro controlador utilizado foi Arduino Mega 2560 que é uma plataforma de prototipagem eletrônica de *hardware* livre, que fornece circuitos adicionais para que o módulo processador possa funcionar. Através do *software Proteus*, foi projetado o circuito elétrico (FIG. 43) para o controle dos motores.

Foi escolhido para controlar a movimentação do braço o uso do teclado de um computador, com um programa em execução. O programa foi feito utilizando a linguagem própria do Arduino baseada na linguagem C, a comunicação é feita em tempo real, através de conexão *USB* com a placa. Para a alimentação do circuito foi escolhido uma fonte para computadores (FIG.44) com entrada 110V/220V com 500 W de potência e diversas saídas de 5V e 12V, visto que essa é a alimentação padrão dos servo motores, motores de corrente contínua e circuito de comando (FIG.45).

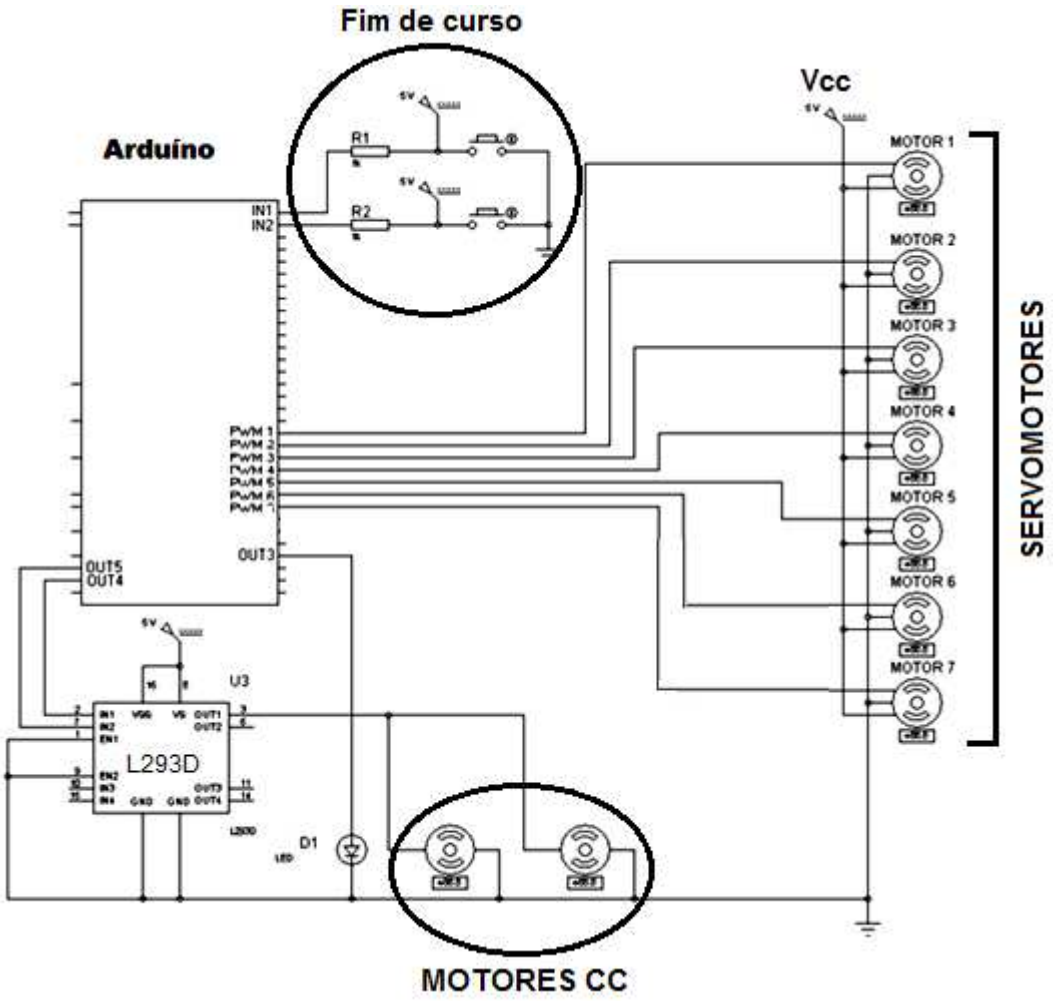


Figura 43: Diagrama elétrico dos motores.
Fonte: Acervo pessoal do autor.

Figura 44: Fonte de Alimentação.
Fonte: Acervo pessoal do autor.

Figura 45: Circuito de comando.
Fonte: Acervo pessoal do autor.

## 5.4 O Manipulador finalizado

Elaborado o projeto, foi feita listagem de todo material necessário para execução, com o objetivo de realizar o orçamento. Esse foi feito com pesquisa de campo.

Após o dimensionamento, foi levantado o material necessário e feito um orçamento para sua compra. O manipulador, após passar por todos os ajustes necessários e alterações, segue em sua forma finalizada de acordo com a FIG. 46.

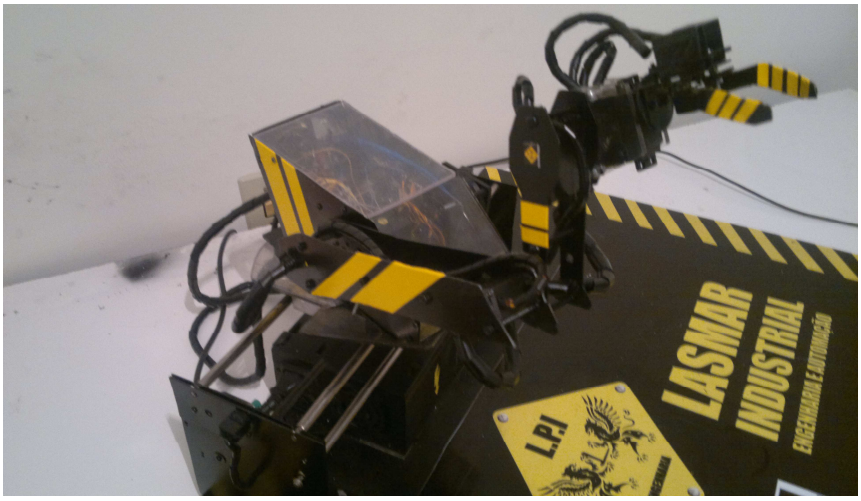


Figura 46: Braço robótico microcontrolável finalizado.
Fonte: Acervo pessoal do autor

# 6 MELHORIAS DO PROTÓTIPO

Houve necessidade de realizar várias adaptações durante a construção do braço microcontrolável, sempre visando um eficiente funcionamento. Tais modificações surtiram grande impacto no decorrer da construção, pois houve necessidade de gastar um período considerável de tempo para encontrar formas de ajustar o protótipo original. Essas mudanças são desde ajustar o encaixe de um simples parafuso até mesmo a complexa tarefa de ajustar corretamente alguns motores para a correta movimentação. Além disso, fatores importantes como a estética e até mesmo um eficiente controle foram levados em consideração.

## 6.1 Estrutura e *design*

Um projeto bonito e sofisticado é o objetivo de todo engenheiro projetista, estilo aliado à versatilidade é sempre bem vindo. Sendo assim o projeto inicial continha placas de alumínio sem nenhuma camada de tinta protetora. Dessa forma foi escolhida a cor preto fosco para pintar todo o braço, detalhes em amarelos foram inseridos na estrutura para harmonizar os movimentos. O que se obteve após a

pintura foi um requinte que enriqueceu o trabalho como esperado (FIG. 47). As placas de alumínio foram mantidas sem acrescentar outro tipo de material mantendo, assim, um padrão estrutural.

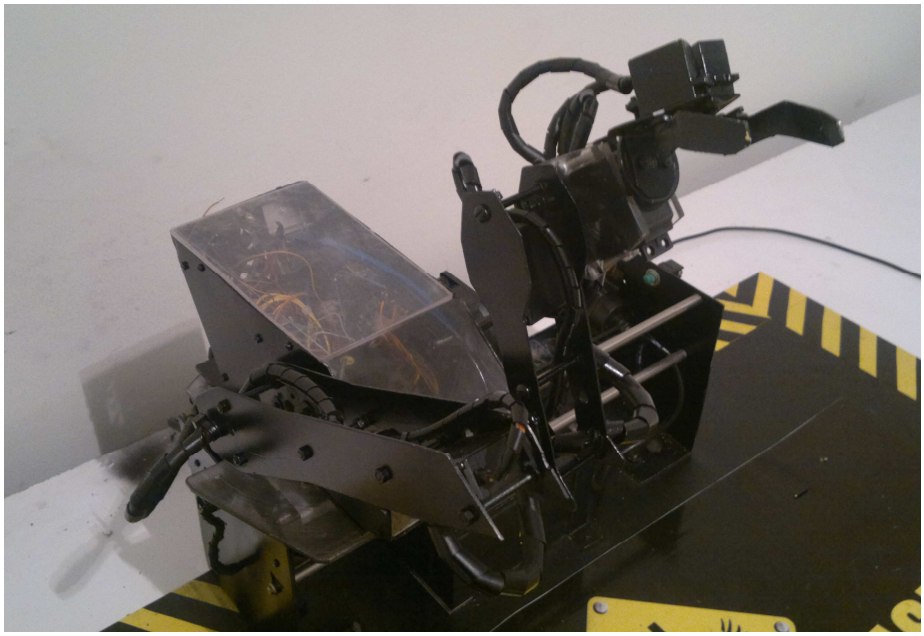

Figura 47: Braço pintado de Preto.

Fonte: Acervo pessoal do autor.

## 6.2 Motores

O trabalho original foi elaborado com base na utilização de 7 servo motores, sendo que dois dos motores, um acoplado ao braço (FIG. 48) e outro ao antebraço tiveram que ser substituídos, pois não foram corretamente dimensionados e queimaram por não suportarem a carga exigida. Dessa maneira um novo motor de 13Kg.cm e outro de 8 Kg.cm foram instalados para um correto funcionamento, com uma margem de quase 40% de torque a mais que o exigido.

.

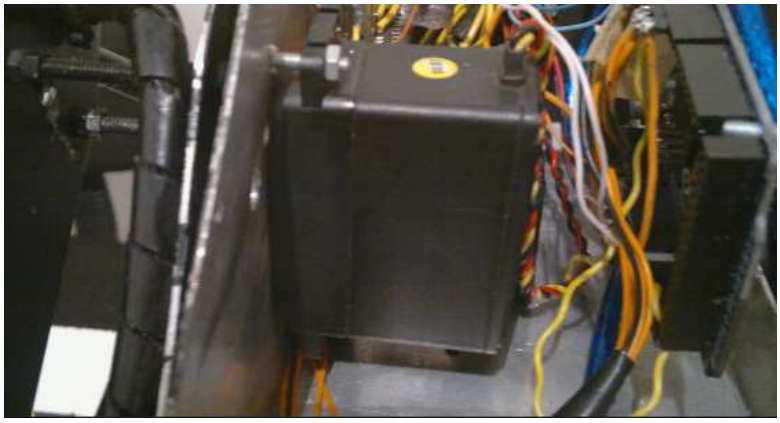

Figura 48: Servo motor substituto de 13Kg.cm.
Fonte: Acervo pessoal do autor.

## 6.3 Elos e eixos

Os servo motores possuem fácil acoplamento à estrutura, sendo que as juntas eram formadas pelo encaixe do eixo do motor com a estrutura seguinte. Algumas delas precisaram ser reforçadas para um melhor desempenho. Além disso, para diminuir o momento linear foi necessário diminuir o tamanho e o peso do braço e do antebraço para diminuir o torque aplicado. Sendo assim, o elo 3 passou de 29 x 5 x 4 cm para 23 x 5 x 4e o elo 2 passou de 18 x 4 x 4 cm para 14 x 4 x 4 cm, com uma diminuição de 85 gramas do peso original. Junta 3: T3=365 g x 11 cm = 4,0 Kg x cm; e Junta 4: T=415 g x 19 cm = 7,8 Kg x cm;

## 6.4 Aquecimento e ventilação

A base giratória do braço que também serve de gabinete para alojar componentes eletrônicos, começou a apresentar certo aquecimento ao logo do tempo de funcionamento, tal situação começou a travar o programa em determinados momentos em que se percebia um considerado aumento da temperatura em seu

interior. Sendo assim, os chamados *Air Coolers* existem para resolver o problema de superaquecimento de determinados componentes de um computador ou outra máquina característica. O *air cooler* comum é basicamente um mini ventilador colocado de modo a controlar a temperatura em determinadas situações. Em nosso caso foram acoplados 2 *coolers* de maneira a criar uma corrente de convecção no interior da base proporcionando uma queda considerável na temperatura interna, o primeiro e menor foi instalado na parte traseira da base (FIG. 50) e puxa o ar de fora para dentro, o segundo e maior está localizado no lado esquerdo da base (FIG. 49) e suga o ar de dentro para fora, dessa maneira o uso dos dois *collers* em conjunto contribui para resolver o problema do aquecimento.

Figura 49: *Air cooler* de exaustão instalado na parte lateral da base.
Fonte: Acervo pessoal do autor.

Figura 50: *Air cooler* de ventilação instalado na parte traseira da base.
Fonte: Acervo pessoal do autor.

## 6.5 Microcontroladores

A escolha de um bom microcontrolador e sua plataforma de prototipagem são essenciais para se ter bons resultados em qualquer projeto. Para o braço robótico microcontrolável em questão, foi elaborado um plano com uma proposta de se usarem duas plataformas possíveis, a primeira seria O FEZ Panda II e a segunda o Arduino Mega 2560.

### 6.5.1 Plataforma FEZ Panda II

A primeira opção foi utilizar o microcontrolador ARM-7, montado na placa FEZ-PANDA II (FIG. 52), que fornece circuitos adicionais para que o módulo processador possa funcionar. Foi escolhido, para controlar a movimentação do braço, o uso de um computador, para a execução do *software* que foi feito utilizando a linguagem C# (“C *Sharp*”) e o programa da *Microsoft* Visual Studio (FIG. 51) (Programação orientada a objetos) e a comunicação é feita em tempo real, através de conexão *USB* com a placa. Para a alimentação do circuito foi escolhida uma fonte com entrada 110V/220V e diversas saídas de 5V, visto que esta é a alimentação padrão dos servo motores, motores de corrente contínua e do circuito de comando.

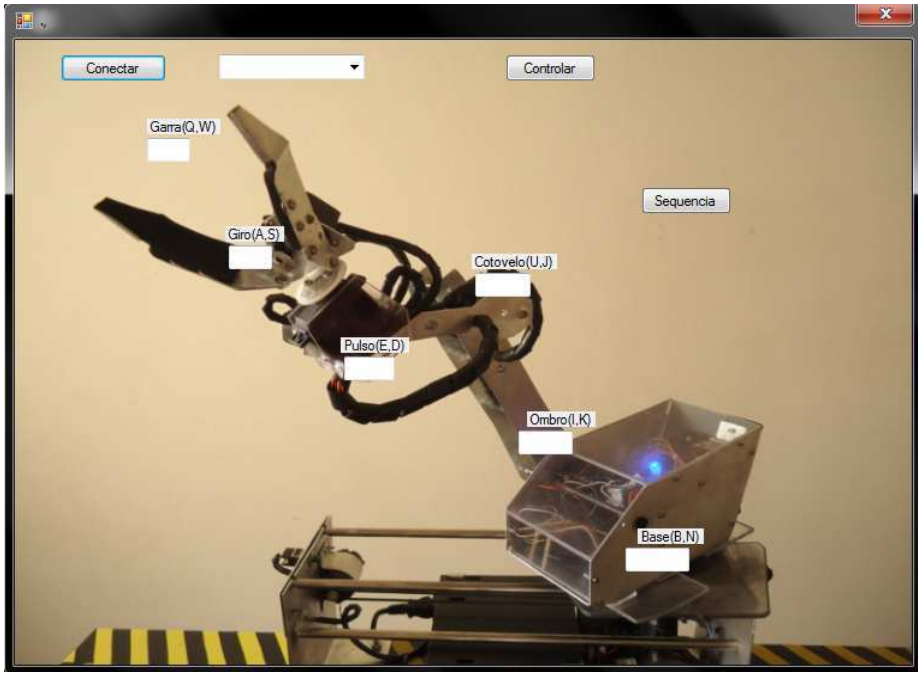


Figura 51: Tela do programa utilizando programação orientada à objetos.
Fonte: Acervo pessoal do autor.

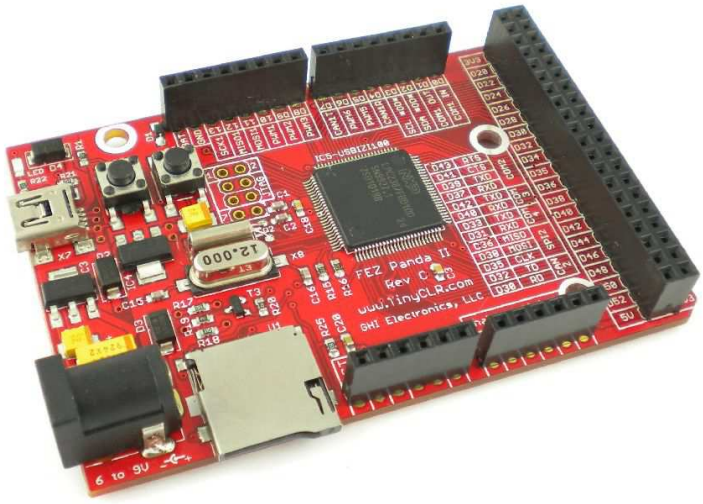

Figura 52: Controlador FEZ Panda II.
Fonte: GHI Electronics. Disponível em: <http://www.ghielectronics.com/catalog/product/256>. Acesso em 22 setembro 2014.

### 6.5.2 Plataforma Arduino Mega 2560

A segunda opção foi utilizar o microcontrolador  Arduino Mega 2560 (FIG. 53) que é uma plataforma de prototipagem eletrônica de *hardware* livre que possui recursos bem interessantes para prototipagem e trabalhos mais elaborados.

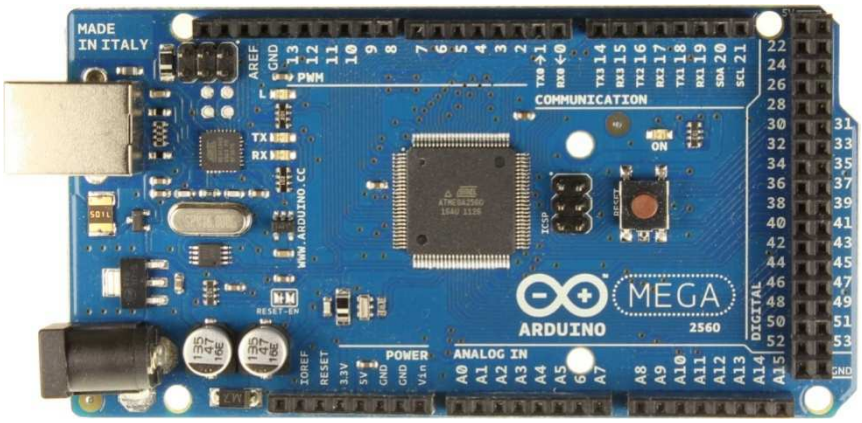


Figura 53: Arduino ATMEL MEGA 2560.
Fonte:Disponível em: < http://www.embarcados.com.br/arduino-mega-2560/>. Acesso em 22 setembro. 2014

Após os testes com as duas plataformas conclui-se que o Arduino ATMEL MEGA 2560 oferece melhores vantagens em seu uso, além de possuir mais memória e mais velocidade com um melhor desempenho, proporciona mais entradas e saídas como também um grande número de pinos para controle de PWM em um total de 15 saídas contra seis do Arm 7. O trabalho foi, então, finalizado utilizando o Arduino ATMEL MEGA 2560 como melhor opção. O QUADRO 3 mostra o custo de cada componente utilizado.

| Produto | Quantidade | Preço Unitário | Preço Total |
|---|---|---|---|
| Placa de alumínio (e=1,5 mm) | 2 | R$ 15,00 | R$ 30,00 |
| Parafusos diversos | Vários | - | R$ 25,00 |
| Base MDF (e=1,5 cm) | 1 | R$ 50,00 | R$ 50,00 |
| Placa de acrílico (e=3 mm) | 1 | R$ 60,00 | R$ 60,00 |
| Placa controladora Arduino | 1 | R$ 80,00 | R$ 80,00 |
| Placa controladora Fez Panda | 1 | R$ 60,00 | R$ 60,00 |
| Servo motor (torque= 8 kg x cm) | 4 | R$ 35,09 | R$ 105,27 |
| Servo motor (torque= 4,3 kg x cm) | 2 | R$ 31,50 | R$ 63,00 |
| Servo motor (torque= 1,4 kg x cm) | 2 | R$ 11,25 | R$ 22,50 |
| Servo motor (torque 13kg x cm | 1 | R$ 270,00 | R$ 270,00 |
| Papel contact | 3 metros | R$ 5,90 / m | R$ 17,70 |
| Acabamento espiral para cabos | 2 metros | R$ 4,00 / m | R$ 8,00 |
| Conector DB 9 | 4 | R$ 1,50 | R$ 6,00 |
| Capa para DB 9 | 4 | R$ 3,00 | R$ 12,00 |
| Cabeamento do circuito | - | - | R$ 21,75 |
| LED alto brilho | 1 | R$ 2,00 | R$ 2,00 |
| Push Button NA | 4 | R$ 4,50 | R$ 18,00 |
| CI 74LS293 | 1 | R$ 24,00 | R$ 24,00 |
| Conector DB 15 | 2 | R$ 3,00 | R$ 6,00 |
| Capa para DB 15 | 1 | R$ 3,00 | R$ 3,00 |
| Resistores diversos | 3 | R$ 0,10 | R$ 0,30 |
| Cabo extensor USB | 1 | R$ 8,00 | R$ 8,00 |
| CI 7408 | 1 | R$ 1,00 | R$ 1,00 |
| Conjunto escova p/ furadeira | 1 | R$ 13,50 | R$ 13,50 |
| Tinta spray | 1 | R$ 18,00 | R$ 18,00 |
| TOTAL | | | R$ 960.11 |

Quadro 4 : Orçamento
Fonte: Acervo pessoal do autor

# 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar das dificuldades encontradas e dos ajustes necessários no projeto original do manipulador, o objeto de estudo foi rigorosamente desenvolvido. Os resultados obtidos foram satisfatórios, pois atenderam aos requisitos do trabalho. O projeto eletrônico e digital foi atendido e os testes em bancada demonstraram grande capacidade no controle do processo, já que o que difere estes da realidade é a dimensão dos componentes estruturais e motores. A sua parte estrutural atende a proposta desejada desde o começo, juntamente com o *software* (interface) e o sistema de controle do mesmo, assim como esperado, possibilitou ao usuário uma utilização bastante simplificada.

Para o desenvolvimento do trabalho, foi necessário realizar estudos relacionados ao mercado e tecnologias utilizadas atualmente. Assim após fazer o levantamento de todos os componentes necessários, o plano e a bibliografia foram revisados para concluir a construção do braço, o que nos permitiu aprofundar nossos conhecimentos em algumas ferramentas computacionais bastante utilizadas na engenharia. Dessa maneira, houve um aprimoramento dos conhecimentos teóricos e práticos nas áreas relacionadas.

Baseado nos resultados obtidos, afirmamos que o trabalho desenvolvido atendeu às expectativas criadas acerca da construção de um braço robótico de baixo custo, e o funcionamento do braço demonstrou sua ampla capacidade de manipulação de objetos. Além disso, o uso de microcontroladores comprova uma eficiente plataforma de controle. Todavia ocorreu durante alguns testes a queima de dois motores responsáveis por transmitir força para o braço e antebraço, pois os mesmos não haviam sido corretamente dimensionados e a queima se deu por um grande aquecimento no motor devido a forças além das suportadas pelo mesmo. A troca dos mesmos foi realizada com sucesso.

Para trabalhos futuros sugere-se modificar a arquitetura de controle do manipulador para uma interface de comunicação sem fio. A não utilização da abordagem sem fio

foi devido ao elevado custo de seus receptores e controladores (*joysticks*). Outra implementação seria instalar um sensor na extremidade da garra para fechamento automático da mesma juntamente com a simplificação e otimização da interface de controle.

# REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

.

AMIROUCHE, F. M. L. **Computer – Aided Design and Manutacturing**. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1993.35p

CARRARA, V. **Apostila de Robótica. Universidade Braz Cubas**. São Paulo

CRAIG, John J. **Introduction to Robotics: Mechanics and Control**. 3 rd ed. Upper Saddle River-New Jersey: Pearson Education Hall, 2005.235P.

FERREIRA, A B H. **Miniaurélio: o dicionário da língua portuguesa**. 8. ed. Curitiba: Positivo, 2010. 895 p. ISBN 978-85-385-4240-7.

GROOVER, M. P. **Robótica. Tecnologia e Programação**. [s.l.]: McGraw-Hill, 1989.

HIBBELER, R.C. **Mecânica para Engenharia.** Estática. São Paulo. Ed. Pearson Prentice Hall. 12ª edição. 2011.

**LAZZARIM. J. C.** Construção de um manipulador robótico de baixo custo**. Apostila, 2012.**

MINAKAWA R, TIOSSO L.E - **Introdução ao Arduino**. Universidade Federal do Mato Grosso do Sul. Apostila 2012. 20p

SALANT, M. A. **Introdução à Robótica**. São Paulo: McGraw-Hill, 1990. 29p

SECCHI, C Frank L. Lewis**. Autonomous Mobile Robots** Taylor & Francis Group, LLC,2006.7p.

**<http://www.embarcados.com.br/arduino-mega-2560/> Acesso em 22 set. 2014.**

**<www.ghielectronics.com/catalog/product/256>. Acesso em 22 set. 2014.**

# ANEXO

Programa desenvolvido baseado em linguagem c

```
#include <Servo.h>
//////////////////////////////////////////////////////
intprecisao=20;
//////////////////////////////////////////////////////
int c1;//540->2400
int c1_standard=1470;
int c1_min=540;
int c1_max=2400;
Servo corpo_1;
boolean corpo_1_ativado;

//////////////////////////////////////////////////////
int c2;//540->2400
int c2_standard=1450;//definido
int c2_min=540;//definido
int c2_max=1450;//definido
Servo corpo_2;
boolean corpo_2_ativado;

//////////////////////////////////////////////////////
int b1;//540->2400
int b1_standard=2300;
int b1_min=540;
int b1_max=2400;
Servo braco_1;
boolean braco_1_ativado;

//////////////////////////////////////////////////////
int b2;//540->2400
int b2_standard=540;//definido
int b2_min=540;//definido
int b2_max=2400;//definido
Servo braco_2;
boolean braco_2_ativado;

//////////////////////////////////////////////////////
int b3;//540->2400
int b3_standard=2400;
int b3_min=540;
int b3_max=2400;
Servo braco_3;
```

```
boolean braco_3_ativado;

//////////////////////////////////////////////////////
intgd;//540->2400
intgd_standard=2400;
intgd_min=540;
intgd_max=2400;
Servo garra_d;
booleangarra_d_ativado;

//////////////////////////////////////////////////////
intge;//540->2400
intge_standard=540;
intge_min=540;
intge_max=2400;
Servo garra_e;
booleangarra_e_ativado;

//////////////////////////////////////////////////////
boolean manual=true;
boolean sequencia_1=false;

void setup()
{
definir_portas();
definir_servos();
ativar_servos();
digitalWrite(13, LOW);
Serial.begin(9600);
}


void loop()
{

comunicacao();
desligar_motores();

if(manual)      {controlar_servos();}
if(sequencia_1)  {auto_1();}

}
voidativar_servos(){

corpo_1_ativado=true;
c1=c1_standard;
corpo_2_ativado=true;
```

```
c2=c2_standard;

braco_1_ativado=true;
b1=b1_standard;
braco_2_ativado=true;
b2=b2_standard;
braco_3_ativado=true;
b3=b3_standard;

garra_d_ativado=true;
gd=gd_standard;
garra_e_ativado=true;
ge=ge_standard;

}
void auto_1(){
while(sequencia_1){
abrir_garras();
deslocar_esquerda();
c1=c1_standard;
while(c2!=540){  if(c2<540){c2++;}  if(c2>540){c2--;}  delay(2);  controlar_servos();}
b1=b1_standard;
while(b2!=2400){  if(b2<2400){b2++;}  if(b2>2400){b2--;}  delay(2);  controlar_servos();}
while(b3!=540){  if(b3<540){b3++;}  if(b3>540){b3--;}  delay(2);  controlar_servos();}
fechar_garras();

while(b3!=2400){  if(b3<2400){b3++;}  if(b3>2400){b3--;}  delay(2);  controlar_servos();}
while(b2!=540){  if(b2<540){b2++;}  if(b2>540){b2--;}  delay(2);  controlar_servos();}
b1=b1_standard;
while(c2!=1300){  if(c2<1300){c2++;}  if(c2>1300){c2--;}  delay(2);  controlar_servos();}
c1=c1_standard;
deslocar_direita();
fechar_garras();

comunicacao();}

}

voidcomunicacao(){

if(Serial.available() > 0){
intmudanca=char(Serial.read());
switch(mudanca){

      //deslocar//
case(','):{Serial.println("deslocando para direita...");  deslocar_direita();  break;}
case('.'):{Serial.println("deslocando para esquerda..."); deslocar_esquerda(); break;}
```

```
      //corpo_1//
case('q'):{c1=c1+precisao;  if(c1>c1_max){c1=c1_max;}
Serial.print("c1=");Serial.println(c1);break;}
case('a'):{c1=c1-precisao;  if(c1<c1_min){c1=c1_min;}
Serial.print("c1=");Serial.println(c1);break;}

      //corpo_2//
case('w'):{c2=c2+precisao;  if(c2>c2_max){c2=c2_max;}
Serial.print("c2=");Serial.println(c2);break;}
case('s'):{c2=c2-precisao;  if(c2<c2_min){c2=c2_min;}
Serial.print("c2=");Serial.println(c2);break;}

      //braco_1//
case('e'):{b1=b1+precisao;  if(b1>b1_max){b1=b1_max;}
Serial.print("b1=");Serial.println(b1);break;}
case('d'):{b1=b1-precisao;  if(b1<b1_min){b1=b1_min;}
Serial.print("b1=");Serial.println(b1);break;}

      //braco_2//
case('r'):{b2=b2+precisao;  if(b2>b2_max){b2=b2_max;}
Serial.print("b2=");Serial.println(b2);break;}
case('f'):{b2=b2-precisao;  if(b2<b2_min){b2=b2_min;}
Serial.print("b2=");Serial.println(b2);break;}

      //braco_3//
case('t'):{b3=b3+precisao;  if(b3>b3_max){b3=b3_max;}
Serial.print("b3=");Serial.println(b3);break;}
case('g'):{b3=b3-precisao;  if(b3<b3_min){b3=b3_min;}
Serial.print("b3=");Serial.println(b3);break;}

      //garras//
case('y'):{gd=gd+precisao;  if(gd>gd_max){gd=gd_max;}  Serial.print("gd=");Serial.println(gd);
ge=ge-precisao;  if(ge<ge_min){ge=ge_min;}  Serial.print("ge=");Serial.println(ge);break;}

case('h'):{gd=gd-precisao;  if(gd<gd_min){gd=gd_min;}  Serial.print("gd=");Serial.println(gd);
ge=ge+precisao;  if(ge>ge_max){ge=ge_max;}  Serial.print("ge=");Serial.println(ge);break;}

case('z'):{Serial.println("Modo manual ativado...");  sequencia_1=false;  manual=true;  break;}

case('x'):{Serial.println("Modo automático 1 ativado...");  sequencia_1=true;  manual=false;
break;}

    }

   }
 }
```

```
voidcontrolar_servos(){

if(corpo_1_ativado){
corpo_1.writeMicroseconds(c1);}

if(corpo_2_ativado){
corpo_2.writeMicroseconds(c2);}

if(braco_1_ativado){
braco_1.writeMicroseconds(b1);}

if(braco_2_ativado){
braco_2.writeMicroseconds(b2);}

if(braco_3_ativado){
braco_3.writeMicroseconds(b3);}

if(garra_d_ativado){
garra_d.writeMicroseconds(gd);}

if(garra_e_ativado){
garra_e.writeMicroseconds(ge);}

}

voiddefinir_portas(){

pinMode(11, OUTPUT);
pinMode(12, OUTPUT);
pinMode(13, OUTPUT);

pinMode(A0, INPUT);
pinMode(A1, INPUT);

}
voiddefinir_servos(){

corpo_1.attach(2);
corpo_2.attach(3);

braco_1.attach(4);
braco_2.attach(5);
braco_3.attach(6);

garra_d.attach(7);
```

```
garra_e.attach(8);

}
voiddeslocar_direita(){
booleanmovimentando_para_direita=true;
while(movimentando_para_direita){
digitalWrite(11, 0);
digitalWrite(12, 255);
digitalWrite(13, HIGH);
if(((analogRead(A0))<300)&&((analogRead(A1))>900)){movimentando_para_direita=false;de
sligar_motores();}
   }
}
voiddeslocar_esquerda(){
booleanmovimentando_para_esquerda=true;
while(movimentando_para_esquerda){
digitalWrite(12, 0);
digitalWrite(11, 255);
digitalWrite(13, HIGH);
if(((analogRead(A1))<300)&&((analogRead(A0))>900)){movimentando_para_esquerda=false
;desligar_motores();}
   }
}
voiddesligar_motores(){
digitalWrite(11, 0);
digitalWrite(12, 0);
digitalWrite(13, LOW);
}
voidfechar_garras(){

while((gd!=1470)&&(ge!=1470)){  if(gd>1470){gd--;}
if(gd<1470){gd++;}
if(ge>1470){ge--;}
if(ge<1470){ge++;}
delay(2);
controlar_servos();}
}
voidabrir_garras(){

while((gd!=2400)&&(ge!=540)){   if(gd>2400){gd--;}
if(gd<2400){gd++;}
if(ge>540){ge--;}
if(ge<540){ge++;}
delay(2);
controlar_servos();}
```