

Unioeste - Universidade Estadual do Oeste do Paraná
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
Colegiado de Ciência da Computação
Curso de Bacharelado em Ciência da Computação

Construção de um manipulador robótico de baixo custo para ensino

Julio Cesar Lazzarim

CASCAVEL
2012

JULIO CESAR LAZZARIM

**CONSTRUÇÃO DE UM MANIPULADOR ROBÓTICO DE BAIXO
CUSTO PARA ENSINO**

Monografia apresentada como requisito parcial
para obtenção do grau de Bacharel em Ciência da
Computação, do Centro de Ciências Exatas e Tec-
nológicas da Universidade Estadual do Oeste do
Paraná - Campus de Cascavel

Orientador: Prof. Josué Pereira de Castro

CASCADEL
2012

*“Quis Custodiet Ipsos Custodes” - Decimus Iunius
Iuvenalis*

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Cesar e Vandelucia, e todos os meus familiares, que me ofereceram todo o apoio que puderam, me aconselhando nos momentos difíceis e me incitando a não desistir dos meus sonhos.

Ao professor Josué Pereira de Castro, que me orientou neste trabalho, pelas suas sugestões valiosas, pela paciência e cooperação.

À professora Adriana Postal, por todo o apoio para que este trabalho fosse entregue da melhor maneira possível e sem erros de português.

Ao professor Anibal Mantovani Diniz e Hamilton Pereira da Silva , os quais me ajudaram muito durante a grande fase de erros na parte eletrônica e mecânica deste trabalho.

À minha querida amiga Alexandra Ferrari, pela grande ajuda durante a parte de soldagem de componentes deste trabalho.

Aos meus professores, pela dedicação e compartilhamento de conhecimento.

Aos meus colegas de classe e de curso, pela amizade e ajuda quando precisei.

Aos colegas do PETComp, pela amizade e o trabalho em grupo.

Lista de Figuras

2.1	Ilustração de elos e juntas.	5
2.2	Ilustrações dos tipos de Juntas.	6
2.3	Ilustração dos 3 tipos de movimento realizados pelo punho.	9
2.4	Representação em forma de letras dos 4 tipos de juntas.	9
2.5	Ilustrações dos tipos de robos.	12
3.1	Peças da arquitetura escolhida.	19
3.2	Ilustrações dos componentes da base do manipulador.	19
3.3	Ilustrações dos componentes do braço do manipulador.	20
3.4	Ilustrações dos componentes do antebraço do manipulador.	20
3.5	Ilustrações dos componentes do órgão terminal do tipo garra do manipulador.	21
3.6	Manipulador finalizado.	22
4.1	Ilustração do esquema eixo-engrenagem utilizado na base do manipulador.	24
4.2	Partes do manipulador que contém ajustes de encaixe, para o eixo dos motores, feitos com resina <i>Epóxi</i>	25
5.1	Motor de passo com 5 fios utilizado na base do manipulador construído.	30
5.2	Ilustração do circuito interno do componente ULN2003.	30
5.3	Esquema de pulso invertido para motor de passo de 4 fios.	31
5.4	Ilustração do circuito interno do componente L298.	32

5.5	Ilustração do circuito auxiliar composto pelo L298 e 8 diodos 1N4004.	32
5.6	Ilustração do circuito completo para controle dos motores de 4 fios composto pelo L298 e 8 diodos 1N4004.	33
5.7	Ilustração do circuito completo para controle dos servo motores e do motor de passo com 5 fios.	34

Lista de Tabelas

2.1	Notação de configurações de braços manipuladores.	10
2.2	Notação de configurações de punhos de manipuladores.	10
2.3	Sequência lógica de operação do modo <i>Full-Step 1</i>	15
2.4	Sequência lógica de operação do modo <i>Full-Step 2</i>	15
2.5	Sequência lógica de operação do modo <i>Half-Step</i>	15
3.1	Tabela com a quantidade de todas as peças presentes no manipulador.	18
4.1	Tabela contendo a localidade dos motores empregados no projeto original e na adaptação construída.	23
5.1	Relação de PIC de 8 bits suportados pela plataforma Pinguino.	27
5.2	Relação de PIC de 32 bits suportados pela plataforma Pinguino.	27
5.3	Sequência lógica de operação do motor de passo de 5 fios utilizado na construção do manipulador.	28
6.1	Relação de materiais adquiridos para o desenvolvimento deste trabalho.	44
6.2	Relação de materiais e serviços disponibilizados gratuitamente para o desenvolvimento deste trabalho.	45

Lista de Abreviaturas e Siglas

DC	<i>Direct Current</i>
GL	Graus de Liberdade
PIC	<i>Programmable Interrupt Controller</i>
PVC	<i>PolyVinyl Chloride</i>
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
RIA	<i>Robotics Institute of America</i>
SCARA	<i>Selective Compliant Assembly Robot Arm</i>
USB	<i>Universal Serial Bus</i>

Sumário

Lista de Figuras	v
Lista de Tabelas	vii
Lista de Abreviaturas e Siglas	viii
Sumário	ix
Resumo	xii
1 Introdução	1
1.1 Objetivos	1
1.2 Trabalhos Relacionados	2
1.3 Organização do Trabalho	2
2 Manipuladores Robóticos	4
2.1 Tipos de Juntas	4
2.2 Graus de Liberdade	7
2.2.1 Movimentos do braço	8
2.2.2 Movimentos do punho	8
2.3 Tipos de Manipuladores Robóticos	8
2.3.1 Robôs Cartesianos	10
2.3.2 Robô Cilíndrico	10
2.3.3 Robô Polar	11
2.3.4 Robô SCARA	11

2.3.5	Robô Revoluto	11
2.4	Órgão Terminal	13
2.5	Motores Elétricos	13
2.5.1	Motores de Passo	13
2.5.2	Estados dos Motores de Passo	14
2.5.3	Modos de Operação dos Motores de Passo	14
2.5.4	Servo Motores	15
2.6	O Manipulador Proposto	16
3	O Projeto do Manipulador	17
3.1	Arquitetura	17
3.2	A Construção	17
3.2.1	A Base	19
3.2.2	O Braço	20
3.2.3	O Antebraço	20
3.2.4	A Garra	21
3.3	O Manipulador Finalizado	21
4	Adaptações do Projeto	23
4.1	Motores	23
4.2	Eixo e Engrenagem	24
4.3	Encaixes	24
5	Interface de Controle	26
5.1	Unidade de controle - Pinguino	26
5.2	Controlando Servo Motores	27
5.3	Controlando Motores de Passo	27
5.3.1	Motores de Passo com 5 Fios	27

5.3.2	Motor de Passo com 4 Fios	30
5.4	Circuito Final	31
5.5	Algoritmos de Controle	34
6	Considerações Finais	43
6.1	Dificuldades Encontradas	43
6.2	Custos	44
6.3	Trabalhos Futuros	45
	Referências Bibliográficas	46

Resumo

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um manipulador robótico do tipo braço, de baixo custo, voltado para ensino. Durante os capítulos deste trabalho, será apresentado e discutido todo um conjunto básico de conhecimentos necessários para a construção de um manipulador. Neste conjunto serão apresentados os tipos de juntas existentes, e será explicado sobre os graus de liberdade dos movimentos de um manipulador. Serão mostrados alguns tipos de manipuladores robóticos, bem como suas características. Será apresentado projeto escolhido para a construção do manipulador proposto por este trabalho, bem como as alterações feitas sobre tal projeto, relatando também as mudanças necessárias para a conclusão do manipulador. Logo após se apresenta a interface de controle desenvolvida, e por fim, tem-se as considerações finais a cerca deste trabalho, bem como propostas para execução em trabalhos futuros utilizando o manipulador construído.

Palavras-chave: Manipulador, Robótica, Pinguino, Robô Revoluto, Servo Motor, Motor de Passo.

Capítulo 1

Introdução

O termo robô [1] apareceu pela primeira vez em 1920 na peça teatral *Rossum's Universal Robots*, criada por Karel Capek, como “*robota*”, a qual originou a palavra em inglês “*robot*” traduzido para o português como “*robô*”. Diversos pesquisadores, inspirados por filmes de ficção científica da época, começaram a projetar e construir robôs para variados fins.

Logo após o surgimento do computador, iniciaram-se pesquisas acerca da capacidade de um robô pensar, sentir e até mesmo adquirir conhecimentos assim como os humanos. Mesmo com várias pesquisas sendo realizadas com tais máquinas, em geral, os robôs eram designados a tarefas que continham um risco muito elevado para um humano. As indústrias da época foram as maiores beneficiadas com as pesquisas sobre robôs e o desenvolvimento da robótica, pois puderam aumentar drasticamente a produção além de eliminar tarefas perigosas que antes eram executadas por humanos.

A robótica é a ciência e estudo da tecnologia associada com o projeto, fabricação, teoria e aplicação dos robôs. Dentro deste vasto campo que é a robótica, destacam-se os chamados manipuladores robóticos [2]. Estes manipuladores são encontrados nos mais diversos campos de aplicações desde áreas industriais, onde desempenham papéis como manipulação de materiais, soldagem, pintura, etc., até a área médica, onde são utilizados para fazer tele cirurgias [3].

1.1 Objetivos

Objetivando auxiliar nas práticas laboratoriais de disciplinas na área de robótica, propomos construir um manipulador de baixo custo e de fácil manutenção para ajudar na didática da

disciplina, pois a realização de atividades práticas envolvendo o manipulador pode ser uma ferramenta útil para melhorar o rendimento dos alunos na disciplina e também servir como um elemento motivador para manter o interesse dos alunos pela área. Com isso esperamos que o manipulador robótico a ser construído sirva não somente para auxílio na disciplina de robótica, melhorando o entendimento da dinâmica envolvida nos atuadores, mas também possibilite o desenvolvimento de outras pesquisas na área de robótica.

1.2 Trabalhos Relacionados

Podemos citar como trabalho relacionado ao tema, a monografia apresentada no Instituto de Estudos Superiores da Amazônia em 2008 [4], a qual consistiu na construção de um manipulador robótico, do tipo braço, juntamente com um software de controle para auxílio em trabalhos perigosos. Outro exemplo pode ser encontrado em Bajerski e Abella [5] onde um de seus objetivos previa suprir a carência do mercado por manipuladores de baixo custo, que possam ser empregados tanto no ensino quanto no entretenimento. Também podemos citar a monografia de Martins [6] e seu manipulador do tipo SCARA teleoperado.

1.3 Organização do Trabalho

O Capítulo 2 trata dos manipuladores robóticos, será descrito sua definição, apresentando e exemplificando os vários tipos de juntas, as várias formas de movimentação, explicando o que são graus de liberdade, sobre os motores envolvidos no projeto e, por fim, definindo o manipulador que foi construído para este trabalho.

O Capítulo 3, descreve o projeto escolhido, apresentando sua forma, explicando quais os motivos que fomos levados a tal escolha, descreveremos também todo o processo de montagem e apresentamos o manipulador em sua forma final.

No Capítulo 4, estão descritas as adaptações realizadas no projeto durante sua execução. Estas adaptações variam desde troca de motores até ajustes na estrutura física do projeto escolhido.

No Capítulo 5, é apresentada a interface controladora do manipulador construído, é mostrado a plataforma Pinguino, bem como descrita algumas de suas bibliotecas com exemplo de algo-

ritmos. Também é apresentado os componentes eletrônicos que compõem a interface controladora. E por final tem-se o esquema do circuito montado da interface e também os algoritmos de controle presentes nas plataformas Pinguino.

Por fim, no Capítulo 6, são discutidas algumas conclusões e considerações finais relativas ao manipulador construído. Também são apresentados propostas para trabalhos futuros relacionados à criação de projetos para manipuladores bem como mudanças na interface controladora do manipulador construído para este trabalho.

Capítulo 2

Manipuladores Robóticos

Segundo o *Robotics Institute of America* (RIA - Instituto de Robótica da América) [7] “*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 a realização do movimento proposto pelo manipulador, são utilizados atuadores, que são artefatos mecânicos que agem sobre a estrutura do manipulador para proporcionar a interação com o meio. Qualquer estrutura não móvel do manipulador pode ser chamado de elo e a junção de um atuador com um elo é chamado junta (Figura 2.1)¹.

De uma forma geral, os manipuladores robóticos são montados sobre uma base fixa, a qual encontra-se o primeiro atuador para criar uma junta. Após a primeira junta criada, o restante do manipulador será montado seguindo uma arquitetura previamente definida. Na extremidade da última junta tem-se o punho, no qual são montados os efetadores, ou seja, ferramentas adequadas à realização de trabalhos específicos para os quais o manipulador foi construído [8].

2.1 Tipos de Juntas

As juntas são a parte de maior atrito no manipulador robótico. São elas que possibilitam tanto a ligação de dois elos quanto a liberdade de movimentação do braço, chamado de Graus de Liberdade (GL) [1], [9]. Podemos dividir os tipos existentes de juntas em 6 conjuntos [8]:

¹As imagens presentes neste capítulo foram retiradas da apostila redigida por Carrara, da Universidade Braz Cubas [8].

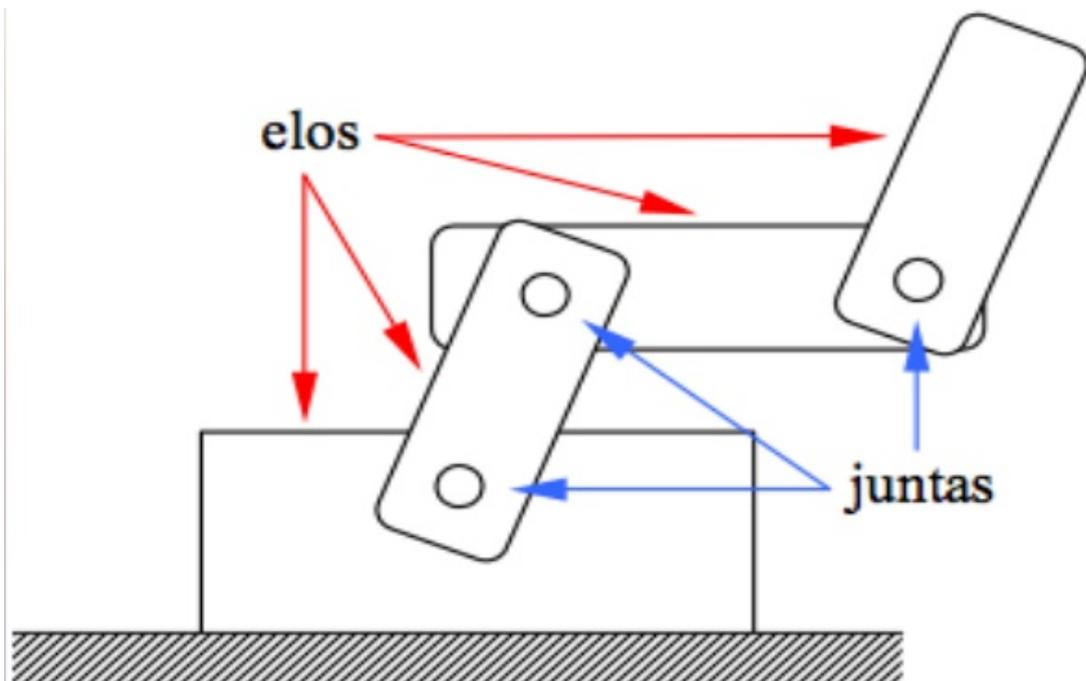


Figura 2.1: Ilustração de elos e juntas.

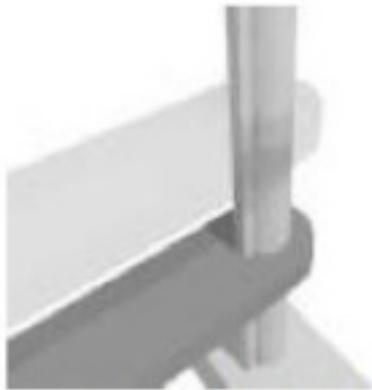
Prismática ou Linear: possui movimentação em linha reta, composta geralmente de duas hastes deslizantes, sendo uma encaixada dentro da outra. Possui diversas áreas de aplicação no âmbito da mecânica clássica, sendo comumente usada em aplicações hidráulicas e pneumáticas. Possibilita 1 grau de liberdade (Figura 2.2(a)).

Rotativa ou Rotacional: a junta rotativa gira em torno de uma linha imaginária fixa denominada eixo rotacional. Um exemplo simples de seu funcionamento são as dobradiças. Este é o tipo de junta utilizado no protótipo criado para este trabalho. Possibilita 1 grau de liberdade (Figura 2.2(b)).

Esférica: possibilita rotação em torno de 3 eixos. Composta por um elo contendo uma parte esférica na ponta e outro elo contendo uma formação côncava para encaixe da parte esférica. Um exemplo de funcionamento são os ombros humanos. É a junta que possibilita maior grau de liberdade: 3 (Figura 2.2(c)).

Cilíndrica ou Revolvente: é a junção das juntas Rotativa e Prismática, possibilitando ambas movimentações, com 2 graus de liberdade (Figura 2.2(d)).

Planar: composta por duas juntas Prismáticas, o que permite 2 graus de liberdade (Figura



Prismática (1 GL)

(a) Exemplo de junta prismática.



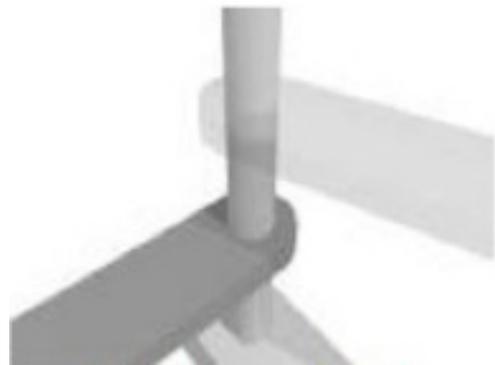
Rotativa (1 GL)

(b) Exemplo de junta rotativa.



Esférica (3 GL)

(c) Exemplo de junta esférica.



Cilíndrica (2 GL)

(d) Exemplo de junta cilíndrica.



Fuso (1 GL)

(e) Exemplo de junta parafuso.



Planar (2 GL)

(f) Exemplo de junta planar.

Figura 2.2: Ilustrações dos tipos de Juntas.

2.2(f)).

Parafuso ou Torcional: composta por um parafuso e por uma porca que faz movimentos que se assemelham à junta prismática, porém com movimentos elípticos no eixo central. Possibilita 1 grau de liberdade (Figura 2.2(e)).

2.2 Graus de Liberdade

Na área da mecânica geral, segundo Carrara [8], a expressão Graus de Liberdade é usada para determinar um número independente de parâmetros que definem uma configuração qualquer. Reduzindo o escopo para os manipuladores robóticos, temos que os graus de liberdade são os delimitadores de movimentos de um manipulador em um espaço bidimensional ou tridimensional.

Contamos os graus de liberdade em um manipulador de acordo com a configuração de todas suas juntas, o que pode variar de 1 a 3 graus de liberdade dependendo da junta conforme visto na seção 2.1, ou seja, a quantidade total de graus de liberdade de um manipulador é igual a somatória dos graus de liberdade concedidos pelas juntas.

Segundo Carrara [8], os manipuladores convencionais possuem cerca de 6 graus de liberdade, sendo 3 para posicionamento do punho dentro do espaço de trabalho, e os outros 3 para a movimentação do restante do manipulador, ou seja, para obter a orientação do efetuador em uma direção arbitrária. O manipulador que está sendo construído para este trabalho terá 4 graus de liberdade, sendo 3 deles para movimentação do braço e o grau de liberdade restante para a movimentação do punho.

Podemos dividir a forma de movimentação dos manipuladores robóticos do tipo braço em dois grupos:

- Movimentos do braço;
- Movimentos do punho.

2.2.1 Movimentos do braço

Podemos subdividir este grupo em 3 outros itens para melhor descrever a forma com que o braço se movimenta, sendo que todos os movimentos tem 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.

2.2.2 Movimentos do punho

Também podemos subdividir este grupo em 3 outros itens que melhor descrevem a forma com que o punho se movimenta:

Roll (Rolamento): rotação do punho em torno de um eixo central, geralmente posicionado no centro do punho.

Pitch (Arfagem): 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 figura 2.3 ilustra estes três movimentos. Nota-se que a arquitetura apresentada na figura possui 3 graus de liberdade.

2.3 Tipos de Manipuladores Robóticos

A estrutura dos manipuladores robóticos está diretamente relacionada com os distintos tipos de juntas que este possui. Cada tipo de configuração de juntas pode ser representado por um esquema de letras como mostra a Figura 2.4, sempre considerando como primeiro o grau de liberdade mais próximo da base e seguindo a ordem até as juntas do punho.

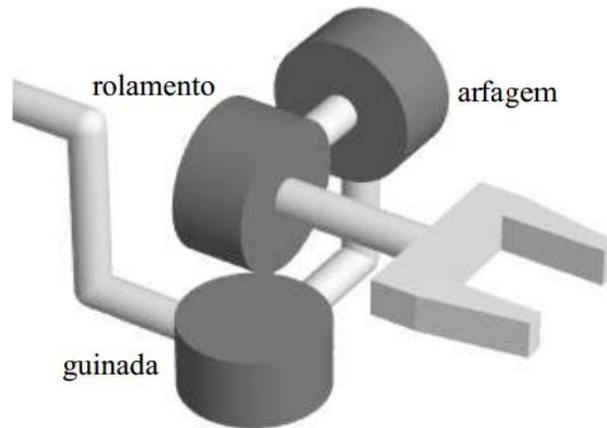


Figura 2.3: Ilustração dos 3 tipos de movimento realizados pelo punho.

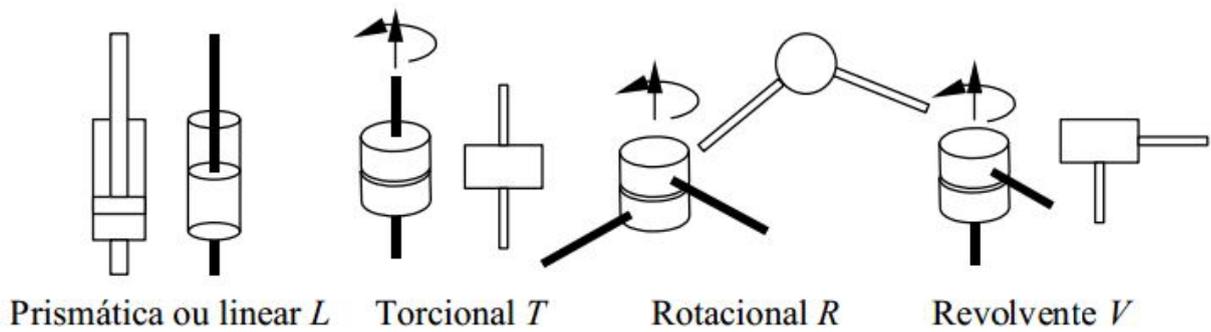


Figura 2.4: Representação em forma de letras dos 4 tipos de juntas.

Seguindo a Figura 2.4, um manipulador com três juntas no braço e configuração *TVR* teria a junta mais próxima à base uma junta torcional, 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, *TVR:RR*. As Tabelas 2.1 e 2.2 demonstram configurações clássicas de braços e punhos robóticos, respectivamente.

Nas próximas subseções explicaremos brevemente sobre alguns tipos de configurações de robôs, com base em Groover [1], [9] e Carrara [8].

Tabela 2.1: Notação de configurações de braços manipuladores.

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

Tabela 2.2: Notação de configurações de punhos de manipuladores.

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

2.3.1 Robôs Cartesianos

Os robôs cartesianos (Figura 2.5(a)), são os mais simples de todos. Possuem 3 juntas lineares, sempre deslocando as juntas uma em relação a outra.

Área de Operação: envoltórios euclidianos.

Configuração: *LLL*.

Graus de Liberdade: 3.

2.3.2 Robô Cilíndrico

Este manipulador possui duas configurações distintas, mas que possibilitam a mesma funcionalidade. A primeira é *LVL* (Figura 2.5(b)), ou seja, uma junta prismática próxima à base, seguido por uma junta torcional e por fim outra junta prismática. Como configuração alternativa tem-se *TLL*, ou seja, uma junta torcional próxima à base, seguido por duas juntas prismáticas.

Área de Operação: envoltórios cilíndricos.

Configuração: *LVL* ou *TLL*.

Graus de Liberdade: 3 em ambas configurações.

2.3.3 Robô Polar

Esta configuração (Figura 2.5(c)), é projetada para suportar grandes cargas, geralmente usada em maquinário de carga e descarga. Seu nome “polar” deve-se por sua configuração de juntas, pois possui 2 juntas rotativas caracterizando coordenadas angulares e uma junta prismática caracterizando coordenadas radiais.

Área de Operação: envoltórios esféricos.

Configuração: *TRL*.

Graus de Liberdade: 3.

2.3.4 Robô SCARA

Configuração de manipulador bastante usada devido a sua grande precisão e pequeno tamanho (Figura 2.5(d)). Possui grande usabilidade em trabalhos de montagem, tanto mecânica quanto eletrônica, que exigem grande precisão. Seu nome é um acrônimo para *Selective Compliance Assembly Robot Arm*, ou Braço Robótico de Montagem com Flexibilidade Seletiva, em uma tradução livre.

Área de Operação: envoltórios cilíndricos.

Configuração: *VRL*.

Graus de Liberdade: 3.

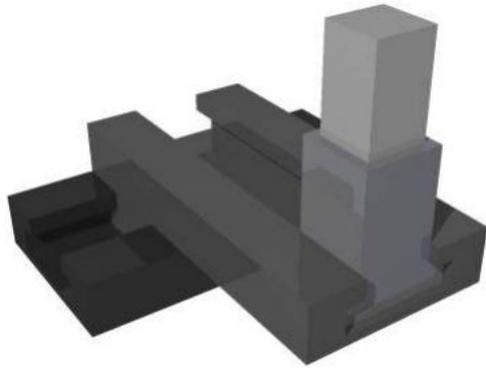
2.3.5 Robô Revoluto

Estes robôs são os mais utilizados pela indústria [1], devido ao fato de sua configuração se assemelhar ao braço humano, com braço, antebraço e pulso, para tanto possui 3 juntas rotativas (Figura 2.5(e)), por estes motivos é considerado o substituto do manipulador polar [8].

Área de Operação: envoltórios esféricos.

Configuração: *TRR*.

Graus de Liberdade: 3.



(a) Robô cartesiano tradicional.



(b) Manipulador cilíndrico do tipo LVL.



(c) Manipulador polar.



(d) Manipulador SCARA, sua junta linear sempre atua na vertical.



(e) Manipulador revoluto.

Figura 2.5: Ilustrações dos tipos de robos.

2.4 Órgão Terminal

Segundo Groover [9], o órgão terminal de um manipulador robótico é uma nomenclatura utilizada para descrever a ferramenta conectada ao pulso do manipulador, como por exemplo, uma garra para segurar objetos ou até mesmo um jateador de tinta.

O manipulador que está sendo construído para este trabalho utilizará como órgão terminal uma garra de dois dedos. Este tipo de garra tem como característica movimentos paralelos, sendo de fácil implantação em quase qualquer projeto com fins educacionais, embora sua implantação restrinja a possibilidade de manipulação de objetos grandes, devido a limitação na abertura da garra.

2.5 Motores Elétricos

Com grande frequência robôs de médio e pequeno porte utilizam acionadores elétricos [8] para a realização de seus movimentos, tais acionadores geralmente são motores de corrente contínua (DC), motores de passo e servo-motores. Estes motores não conseguem proporcionar velocidade ou potência comparado com acionadores hidráulicos, porém possibilitam maior precisão sobre outras classes de acionadores, sendo que geralmente possuem alguma forma de redução de velocidade para aumento de torque.

2.5.1 Motores de Passo

Segundo Brites e Santos [10] os motores de passo são dispositivos eletro-mecânicos que possuem a função de converter pulsos elétricos em movimentos mecânicos gerando assim variações angulares discretas. Seu eixo é movimentado em pequenas rotações, denominadas passos, quando é aplicado um pulso elétrico em seus terminais, os quais magnetizam bobinas em seu interior. A frequência e a sequência que os terminais do motor de passo recebem esses pulsos determinam não somente sua velocidade mas também a direção que o eixo do motor girará.

Os motores de passo são empregados em trabalhos onde a precisão de movimentos é necessária. Seu ponto forte não está em sua velocidade ou força de rotação (torque), mas sim na capacidade com que pode-se controlar seus movimentos. Segundo Brites e Santos [10] é

por tal motivo que estes motores são amplamente utilizados em impressoras, robôs, automação industrial dentre outros dispositivos que requerem precisão.

2.5.2 Estados dos Motores de Passo

Os motores de passo possuem três estados básicos:

Desligado: Não há corrente elétrica energizando as bobinas do motor. Neste caso todas as bobinas estão desligadas. Geralmente ocorre apenas quando a fonte de alimentação está desligada.

Parado: Neste estado, pelo menos uma das bobinas do motor fica energizada mantendo o motor estático em um determinado estado. O motor consome energia, mas consegue se manter alinhado em uma posição fixa.

Em Funcionamento: As bobinas do motor são energizadas de acordo com sua sequência lógica e em intervalos de tempo fixos e determinados, a alteração deste intervalo de tempo² determina a velocidade do motor e o sentido de pulsos sua direção.

2.5.3 Modos de Operação dos Motores de Passo

Os motores de passo possuem três modos de operação, sendo eles determinados de acordo com a forma de energizar as bobinas. A seguir explicaremos rapidamente o funcionamento destes três modos. As sequências de *bits*, aqui apresentadas pelas tabelas 2.3, 2.4 e 2.5, são utilizadas para controle dos motores de passo pela porta paralela.

Passo Completo 1 ou *Full-Step 1*: Neste modo apenas uma bobina é energizada a cada passo. Possui um baixo consumo de energia mas também possui menor torque. A sequência lógica para este modo de operação segue conforme Tabela 2.3.

Passo Completo 2 ou *Full-Step 2*: Neste modo duas bobinas são energizadas a cada passo. Possibilita um torque maior que o modo *Full-Step 1*, mas conseqüentemente consome mais energia. A sequência lógica para este modo de operação segue conforme Tabela 2.4.

²Não utilizar tempo menor que 10ms, pois o motor perderá todo o torque e ao invés de rodar, irá apenas vibrar.

Tabela 2.3: Sequência lógica de operação do modo *Full-Step 1*.

Passo \ Bobina	B3	B2	B1	B0	Decimal
1	1	0	0	0	8
2	0	1	0	0	4
3	0	0	1	0	2
4	0	0	0	1	1

Tabela 2.4: Sequência lógica de operação do modo *Full-Step 2*.

Passo \ Bobina	B3	B2	B1	B0	Decimal
1	1	1	0	0	12
2	0	1	1	0	6
3	0	0	1	1	3
4	1	0	0	1	9

Meio Passo ou *Half-Step*: É a combinação dos modos *Full-Step 1* e *Full-Step 2* intercalados.

Este modo de operação gera um efeito de meio passo. O consumo de energia deste modo é maior do que dos modos anteriores, possui torque próximo ao adquirido no modo *Full-Step 2* mas é muito mais preciso do que ambos os passos, por consequência a velocidade de rotação é menor. A sequência lógica para este modo de operação segue conforme Tabela 2.5.

2.5.4 Servo Motores

Assim como os motores de passo, os servos motores são motores pertencentes à classe dos acionadores elétricos. Sua construção é dada sobre um motor DC incluindo um redutor de velocidade em conjunto com um sensor de posição e um sistema de controle realimentado,

Tabela 2.5: Sequência lógica de operação do modo *Half-Step*.

Passo \ Bobina	B3	B2	B1	B0	Decimal
1	1	0	0	0	8
2	1	1	0	0	12
3	0	1	0	0	4
4	0	1	1	0	6
5	0	0	1	0	2
6	0	0	1	1	3
7	0	0	0	1	1
8	1	0	0	1	9

ou seja, estes 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. Este motor mantém a posição angular enquanto estiver recebendo sinal, este sinal geralmente é do tipo PWM (*Pulse Width Modulation*), ou seja, a posição angular do motor dependerá da largura do pulso.

2.6 O Manipulador Proposto

Com base nas definições descritas, o manipulador que foi construído como requisito parcial para este trabalho terá as seguintes especificações:

Tipo de Manipulador: robô revoluto.

Área de Operação: envoltórios semi-esféricos.

Configuração: *TRR:T*.

Graus de Liberdade: 4, sendo 3 para o braço e 1 para o punho.

Órgão Terminal: garra de dois dedos com movimentação paralela.

Acionadores: para este projeto estão sendo usados 5 motores de passo e 2 servo-motores.

No próximo capítulo será descrito a construção das partes do controlador.

Capítulo 3

O Projeto do Manipulador

3.1 Arquitetura

O desenvolvimento do manipulador teve início com a escolha de uma arquitetura para ser usada como base do projeto. Tal arquitetura deve ser de fácil compreensão e rápida manutenção, para que possibilite ser usado como base demonstrativa em disciplinas de Robótica, auxiliando na didática das aulas práticas e possibilitando a elaboração de novos projetos e estudos voltados a área.

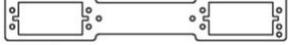
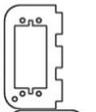
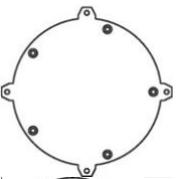
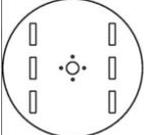
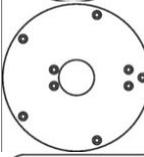
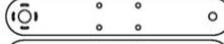
A arquitetura escolhida [11], mostrada na Figura 3.1, é dividida em 28 partes que em conjunto formam o manipulador. Após a verificação de que as peças em seu tamanho natural eram pequenas, a base central tinha cerca de 9cm de diâmetro, resolveu-se por escalonar todo o projeto levando como ponto de referência a base em questão, que passou de 9cm para 12cm de diâmetro. A quantidade de cada peça bem como suas dimensões e ilustrações estão presentes na Tabela 3.1. Nota-se que as dimensões presentes na Tabela 3.1 são do retângulo que envolve a figura, com exceção das peças circulares, cujas dimensões representam seu diâmetro.

Após o escalonamento cortaram-se dois conjuntos de peças em uma placa de PVC (*PolyVinyl Chloride*) de dimensões $80\text{cm} * 54\text{cm} * 3\text{mm}$, sendo que um deles será usado como peças de reposição para eventuais substituições.

3.2 A Construção

As subseções a seguir descrevem o processo de montagem para cada parte do manipulador.

Tabela 3.1: Tabela com a quantidade de todas as peças presentes no manipulador.

Quantidade	Peça	Dimensões
2		2,7cm Diâmetro
2		23,9cm X 3,52cm
2		4,9cm X 9cm
1		7,5cm X 3,51cm
1		4,9cm X 2,7cm
1		2,7cm X 5,3cm
4		4,7cm X 0,8cm
1		14,5 cm X 14,5cm
1		12cm de Diâmetro
1		12,6cm de Diâmetro
1		19,2cm X 3,2cm
1		19,2cm X 3,2cm
4		6,9cm
1		0,9cm X 3,4cm
1		6,5cm X 5,2cm
1		3,2cm X 6,2cm
1		3,2cm X 6,2cm
1		7,3cm X 2,9cm
1		7,3cm X 2,9cm

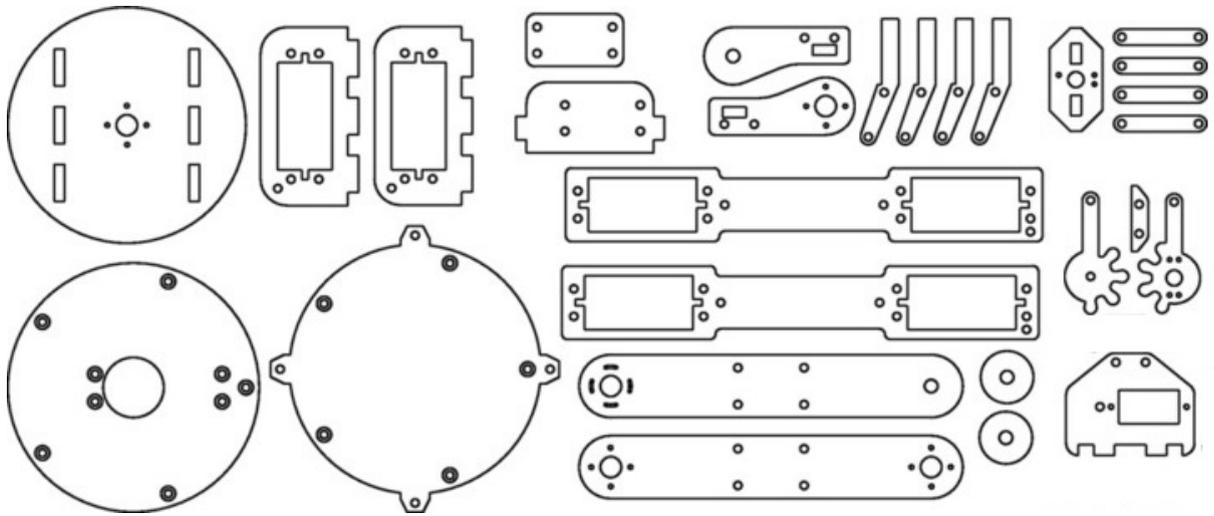


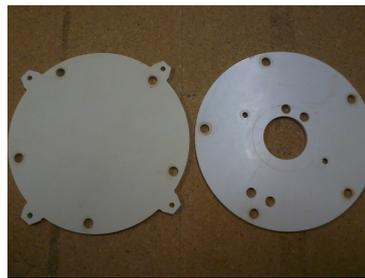
Figura 3.1: Peças da arquitetura escolhida.

3.2.1 A Base

A base é formada por 2 partes separadas (Figura 3.2(b)), unidas por 5 parafusos de dimensões $8,5\text{cm} * 5\text{mm}$, e 15 porcas de 5mm (Figura 3.2(a)). A base finalizada segue conforme Figura 3.2(c).



(a) Parafuso de dimensões $8,5\text{cm} * 5\text{mm}$, e porcas de 5mm .



(b) Partes da base do manipulador. Base principal à direita e sobre-base à esquerda.



(c) Base montada sem os motores de passo.

Figura 3.2: Ilustrações dos componentes da base do manipulador.

3.2.2 O Braço

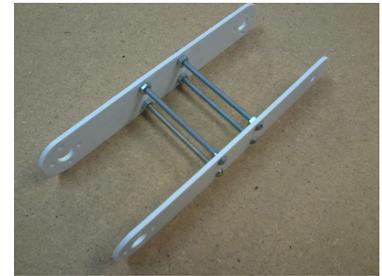
Assim como a base, a parte denominada braço do manipulador também é constituída de duas peças (Figura 3.3(b)), unidas por 4 parafusos de $7,5\text{cm} * 3\text{mm}$, e 12 porcas de 3mm (Figura 3.3(a)). O braço finalizado segue conforme Figura 3.3(c).



(a) Parafuso de dimensões $7,5\text{cm} * 3\text{mm}$, e porcas de 3mm .



(b) Partes do braço do manipulador.



(c) Braço montado sem os motores de passo

Figura 3.3: Ilustrações dos componentes do braço do manipulador.

3.2.3 O Antebraço

O antebraço é a parte que é montada logo após o braço e antes do punho. Também é formado por duas peças, mas estas são idênticas (Figura 3.4(a)). É conectado por 3 parafusos de $7,5\text{cm} * 3\text{mm}$, e 9 porcas de 3mm (Figura 3.3(a)), que são os mesmos parafusos e porcas usados para a montagem do braço. Após a união das peças, o antebraço ficou conforme Figura 3.4(b).



(a) Partes do antebraço do manipulador.



(b) Antebraço montado sem os motores de passo.

Figura 3.4: Ilustrações dos componentes do antebraço do manipulador.

3.2.4 A Garra

A garra (Figura 3.5(c)), é a peça de maior complexidade de todo o manipulador, pois contém várias partes pequenas (Figura 3.5(b)), e várias junções de múltiplas peças. Foram usados 7 parafusos de dimensões $2\text{cm} * 3\text{mm}$ e 7 porcas de 3mm (Figura 3.5(a)).



Figura 3.5: Ilustrações dos componentes do órgão terminal do tipo garra do manipulador.

3.3 O Manipulador Finalizado

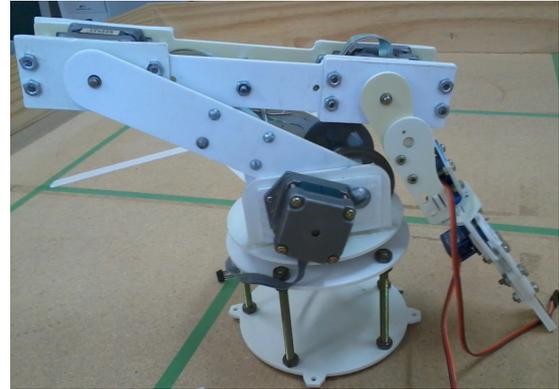
O manipulador, após passar por todos os ajustes e alterações descritos no Capítulo 4, segue em sua forma finalizada de acordo com as Figuras 3.6(a), 3.6(b) e 3.6(c).

O manual passo a passo para a construção do manipulador feito neste trabalho pode ser encontrado no *link*: <http://www.inf.unioeste.br/gpa/Projetos/Material/PassoPassoJulio.pdf>

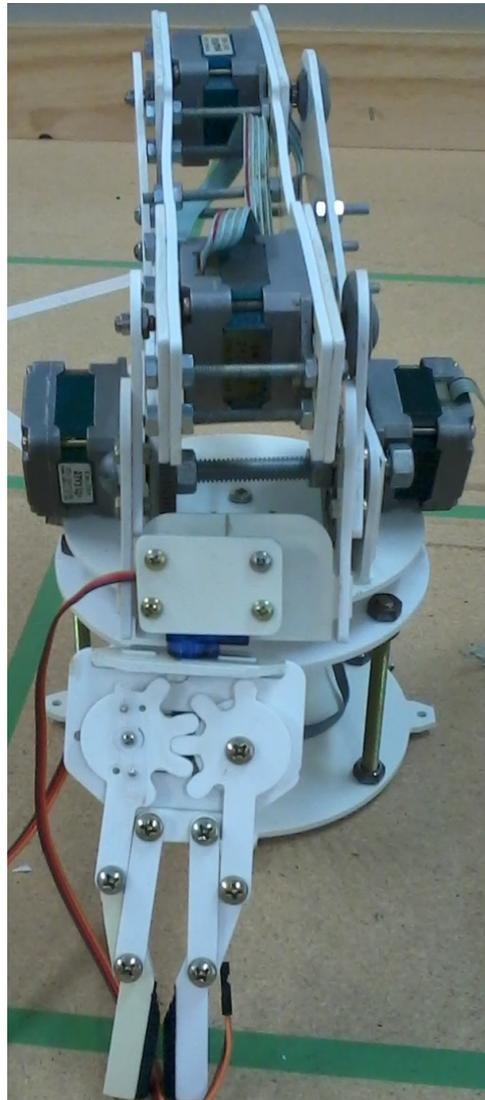
No próximo capítulo será apresentado alguns problemas relacionados a adaptações no projeto e como eles foram resolvidos.



(a) Parte lateral do manipulador com os ajustes de epóxi.



(b) Parte lateral do manipulador.



(c) Parte frontal do manipulador.

Figura 3.6: Manipulador finalizado.

Capítulo 4

Adaptações do Projeto

Durante a construção do manipulador robótico, foi necessário a realização de várias adaptações nas peças do projeto. Tais modificações surtiram grande impacto no decorrer da construção do manipulador, visto que foi necessário gastar um período considerável de tempo na tentativa de encontrar uma forma de ajustar o projeto original. Tais modificações no projeto variam desde o encaixe de um simples parafuso até mesmo a complexa tarefa de ajustar corretamente alguns motores para a correta movimentação, sendo que algumas das modificações alteraram o projeto de forma a gerar mais modificações e assim sucessivamente obtendo um efeito cascata.

4.1 Motores

O projeto original foi elaborado com base na utilização de 7 servo motores. Como não dispúnhamos de tamanha quantidade de servo motores optamos pela utilização de motores de passo em alguns casos. Na tabela 4.1 demonstramos a quantidade e o motor utilizado tanto na abordagem original, quanto na adaptada.

Tabela 4.1: Tabela contendo a localidade dos motores empregados no projeto original e na adaptação construída.

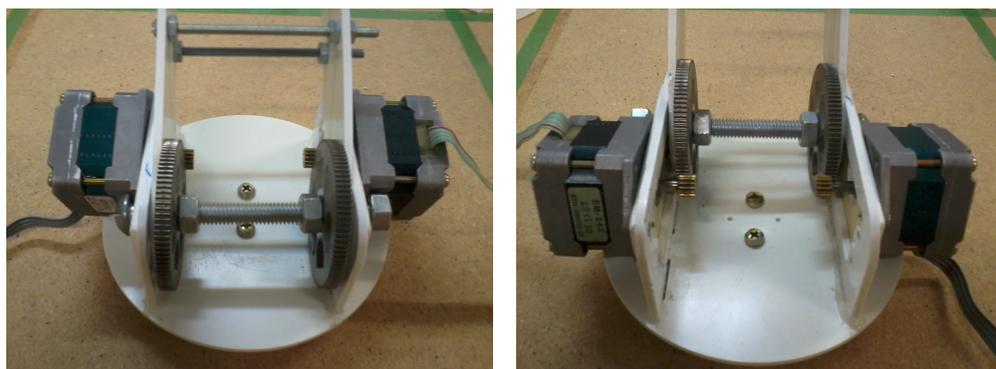
Local \ Versão	Original	Adaptado
Base	Servo - Motor	Motor de Passo
Base - Braço	2 Servos - Motores	2 Motores de Passo
Braço - Antebraço	Servo - Motor	Motor de Passo
Antebraço - Pulso	Servo - Motor	Motor de Passo
Pulso - Garra	Servo - Motor	Servo - Motor
Garra	Servo - Motor	Servo - Motor

Como o projeto foi desenvolvido para servo motores, as aberturas presentes na estrutura do manipulador não comportavam a fixação de motores de passo, sendo assim foi necessário criar placas de ajuste para que estas fossem fixadas nas aberturas da estrutura. Estas placas foram cortadas das sobras das quais a estrutura foi moldada, ou seja, são placas de PVC do tamanho das aberturas presentes na estrutura.

Após a fixação das placas de ajuste, por meio de colagem, foram abertos furos para que o eixo dos motores de passo pudessem ser ajustados da forma correta, além da abertura de furos para a fixação do próprio motor.

4.2 Eixo e Engrenagem

Como os motores na região da base foram alterados, não era mais possível prender o eixo do motor diretamente ao braço, sendo assim optou-se por utilizar um esquema de eixo para fixar as duas partes do braço e neste eixo fixar duas engrenagens para que estas façam a transferência de movimento do cabeçote no eixo dos motores para o eixo fixo no braço. As Figuras 4.1(a) e 4.1(b) apresentam o esquema de eixo-engrenagem adotado.



(a) Parte de trás.

(b) Parte da frente.

Figura 4.1: Ilustração do esquema eixo-engrenagem utilizado na base do manipulador.

4.3 Encaixes

No ligamento Braço-Antebraço e Antebraço-pulso, ocorreu um problema no momento de fixação do eixo do motor na estrutura, e para estas regiões não temos a possibilidade de colocar

uma engrenagem para transferência de movimentos devido a falta de espaço. Foi decidido então por utilizar resina *epóxi*¹ como uma forma de criar um encaixe usando o próprio eixo do motor como molde, devido ao fato desta resina ser de fácil acesso e rápido manuseio se necessário manutenção. Os moldes finais, tanto para o ligamento Braço-Antebraço quanto para o ligamento Antebraço-Pulso, seguem conforme presente nas Figuras 4.2(a) e 4.2(b).



(a) Região do pulso com o encaixe de *Epóxi*. (b) Região do braço com o encaixe de *Epóxi*.

Figura 4.2: Partes do manipulador que contém ajustes de encaixe, para o eixo dos motores, feitos com resina *Epóxi*

No próximo capítulo será apresentada a interface de controle, bem como seu processo de elaboração e montagem.

¹Polipóxico: plástico termofixo que endurece quando misturado com um agente catalizador. Geralmente é composto por epiclorigidina e bisfenol-a.

Capítulo 5

Interface de Controle

Para que possamos comandar os motores, responsáveis pela movimentação das juntas do manipulador, foi necessário a elaboração de uma interface de controle. Tal interface tem de ser robusta o suficiente para promover sinais de controle para 5 motores de passo, utilizados no “corpo” do manipulador, e 2 servo motores, 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 decidido a não utilização da abordagem de controle sem fio devido ao elevado custo de seus receptores e controladores (*joysticks*), sendo assim uma nova abordagem, esta utilizando micro-botões, foi elaborada e segue descrita neste capítulo.

5.1 Unidade de controle - Pinguino

Segundo *Pinguino Group* [12] o Pinguino é uma plataforma semelhante ao Arduino. Possui suporte a diferentes microcontroladores, de 8 ou 32 bits, e todas as suas versões contém um módulo USB (*Universal Serial Bus*) com suporte nativo, para tanto o Pinguino vem com um *USB Bootloader* que é o programa responsável por gerenciar a interface USB presente na placa. A relação de PICs (*Programmable Interrupt Controller*) suportados pela plataforma Pinguino segue conforme Tabelas 5.1 e 5.1.

Este trabalho utiliza duas plataformas Pinguino, uma com um microcontrolador do tipo PIC18F4550 e a outra com um PIC18F2550 como unidade de controle. Maiores detalhes dos comandos aqui presentes constam na página *Wikia* do Pinguino [13].

Tabela 5.1: Relação de PIC de 8 bits suportados pela plataforma Pinguino.

8-Bits:	PIC18F2550;
	PIC18F4550;
	PIC18F26J50;

Tabela 5.2: Relação de PIC de 32 bits suportados pela plataforma Pinguino.

32-Bits:	A família de microcontroladores PIC32MX;
----------	--

5.2 Controlando Servo Motores

Como citado na seção 4.1, este projeto utiliza dois tipos de motores: motores de passo e servo motores. Nesta seção explicaremos brevemente a forma de controle de um servo motor utilizando o Pinguino.

O Pinguino possui uma biblioteca *Servos* pronta para o controle de servo motores [13]. Nesta biblioteca encontram-se funções para controle total de um servo motor a partir de qualquer porta digital do Pinguino.

Para controlar o servo motor é necessário primeiramente utilizar a função *servo.attach* para que o Pinguino saiba em qual porta o motor está plugado. Logo após, as funções *servo.write* e *servo.read* servem para escrever/ler a posição no servo motor. A partir destas duas funções tem-se controle sobre todo o posicionamento do servo motor. No Algoritmo 1 apresenta-se a configuração para controle de um servo motor a partir da biblioteca *Servos*.

5.3 Controlando Motores de Passo

Neste trabalho estão sendo usados dois tipos de motores de passo, o primeiro possui 5 fios e o outro possui 4 fios. Será explicado nesta seção como controlar os motores de passo utilizados neste trabalho.

5.3.1 Motores de Passo com 5 Fios

A plataforma Pinguino também possui uma biblioteca, denominada *stepper*, para controle de motores de passo de 5 fios, porém tal biblioteca utiliza o mesmo temporizador da biblioteca *Servos* tornando assim impossível o controle simultâneo de um motor de passo e um servo

Algorithm 1 Exemplo de algoritmo utilizando a biblioteca *Servos* do Pinguino.

```
uchar position=1;
void setup(void)
{
  servo.attach(15);
  servo.setMaximumPulse(2200);
  servo.setMinimumPulse(700);
}

void loop(void)
{
  delay(500);
  position++;
  servo.write(15,position);
  if(position>180) position=0;
}
```

Tabela 5.3: Sequência lógica de operação do motor de passo de 5 fios utilizado na construção do manipulador.

Passo \ Bobina	4	2	5	1	Decimal
1	1	1	0	0	12
2	0	1	1	0	6
3	0	0	1	1	3
4	1	0	0	1	9

motor. Para contornar este problema, foi optado por controlar o motor de passo utilizando o mesmo padrão de controle empregado na porta paralela, Seção 2.5.3, ou seja, pulsando uma cadeia de *bits* em seus fios. O exemplo segue conforme Algoritmo 2.

Após conhecer o fio comum do motor e sua sequência lógica de pulso, deve-se montar um circuito de controle utilizando um componente para auxiliar a distribuição do pulso fornecido para as bobinas, neste trabalho está sendo usado o componente ULN2003, seu circuito interno segue conforme Figura 5.2. A Figura 5.1 apresenta o motor utilizado bem como a sequência de suas bobinas, a sequência de pulsos segue conforme Tabela 5.3.

Algorithm 2 Exemplo de algoritmo utilizando a biblioteca *Stepper* do Pinguino.

```
const int stepsPerRevolution = 48; // numero de passos por revoluçãõ
int stepCount = 0; // numero de passos que o motor rodou

void setup()
{
  // Inicializa a porta serial
  Serial.begin(9600);
  // inicializa a biblioteca stepper
  Stepper.init(stepsPerRevolution, 0,1,2,3);
}

void loop()
{
  // um passo
  Stepper.step(1);
  Serial.printf("steps: %d\r\n", stepCount);
  /*
  Serial.print("steps:" );
  Serial.println(stepCount);
  */
  stepCount++;
  delay(500);
}
```



Figura 5.1: Motor de passo com 5 fios utilizado na base do manipulador construído.

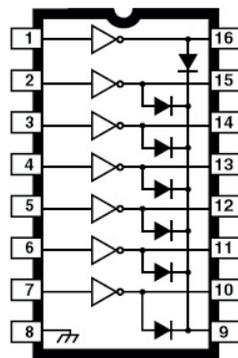


Figura 5.2: Ilustração do circuito interno do componente ULN2003.

5.3.2 Motor de Passo com 4 Fios

Para melhor entender a forma de controle deste tipo de motor, dividiremos seus fios em dois grupos, o grupo de fios vermelhos e o grupo de fios pretos¹. Para que se consiga o correto funcionamento das bobinas deve-se alternar o nível lógico pulsados nos grupos de fios, ou seja, quando no grupo vermelho pulsamos nível lógico *true*, no grupo preto temos que pulsar nível lógico *false*. A Figura 5.3 representa de forma clara tanto a divisão dos grupos, entre preto e vermelho, quanto a alternância do pulso é .

Neste tipo de motor é necessário que utilizar um circuito auxiliar composto por um *L298*² e

¹A divisão dos fios adotada neste trabalho é referente aos motores disponíveis. Esta divisão pode variar dependendo da marca/modelo do motor em questão.

²Drive contendo duas ponte-H com capacidade para suportar até 46 volts de tensão e 4 ampères de corrente.

8 diodos 1N4004³ utilizados para deter o pico de retorno de corrente que ocorre ao alternar o nível lógico nos fios. Os esquemas, tanto do L298 quanto do circuito auxiliar seguem conforme Figuras 5.4 e 5.5 respectivamente.

Este circuito auxiliar é necessário para que a alternância de nível lógico nos fios seja feita de forma correta, pois as duas pontes-H dentro do L298 funcionam entre pares de fios vermelho e preto, e não nos grupos em si, tendo em vista de que é necessário que o sinal lógico deles precisam necessariamente ser diferentes e sempre alternantes.

Para controle deste tipo de motor pela plataforma Pinguino, primeiramente é necessário definir pinos de saída de dados utilizando a função *pinMode*, logo após já é possível pulsar tais pinos com a função *digitalWrite*. Vale lembrar que para pulsar o nível lógico *true* é utilizado o parâmetro *HIGH* e para pulsar o nível lógico *false* é utilizado o parâmetro *LOW*.

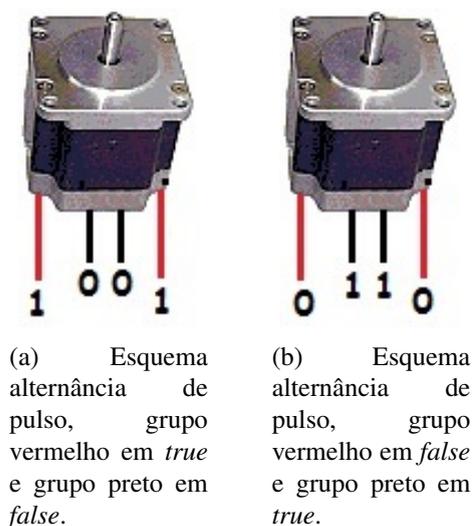


Figura 5.3: Esquema de pulso invertido para motor de passo de 4 fios.

5.4 Circuito Final

Os esquemas dos circuitos de controle dos motores de passo de 4 fios e 5 fios seguem de acordo com as Figuras 5.6 e 5.7 respectivamente. O circuito de controle do motor de passo de 5 fios compreende também o controle dos servo motores.

³Diodo do tipo retificador com rápida ação e capacidade de 1 ampère.

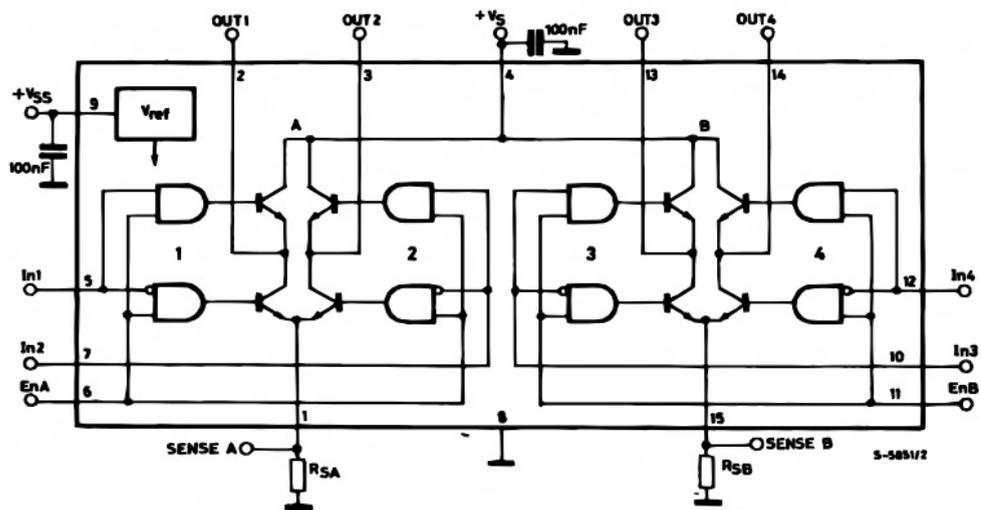


Figura 5.4: Ilustração do circuito interno do componente L298.

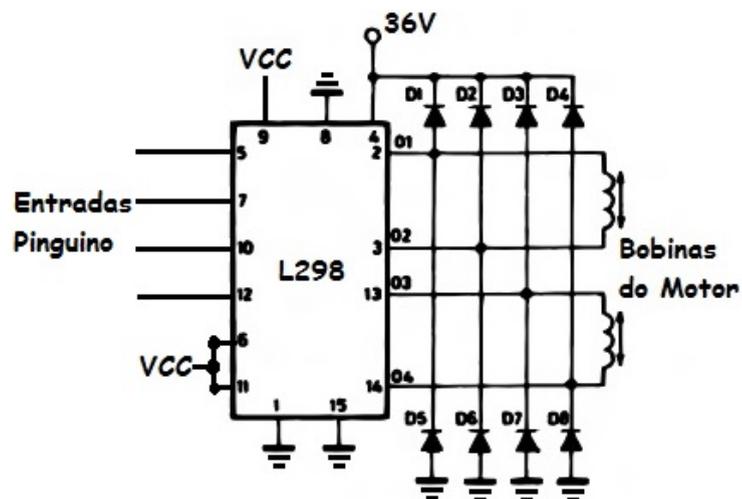


Figura 5.5: Ilustração do circuito auxiliar composto pelo L298 e 8 diodos 1N4004.

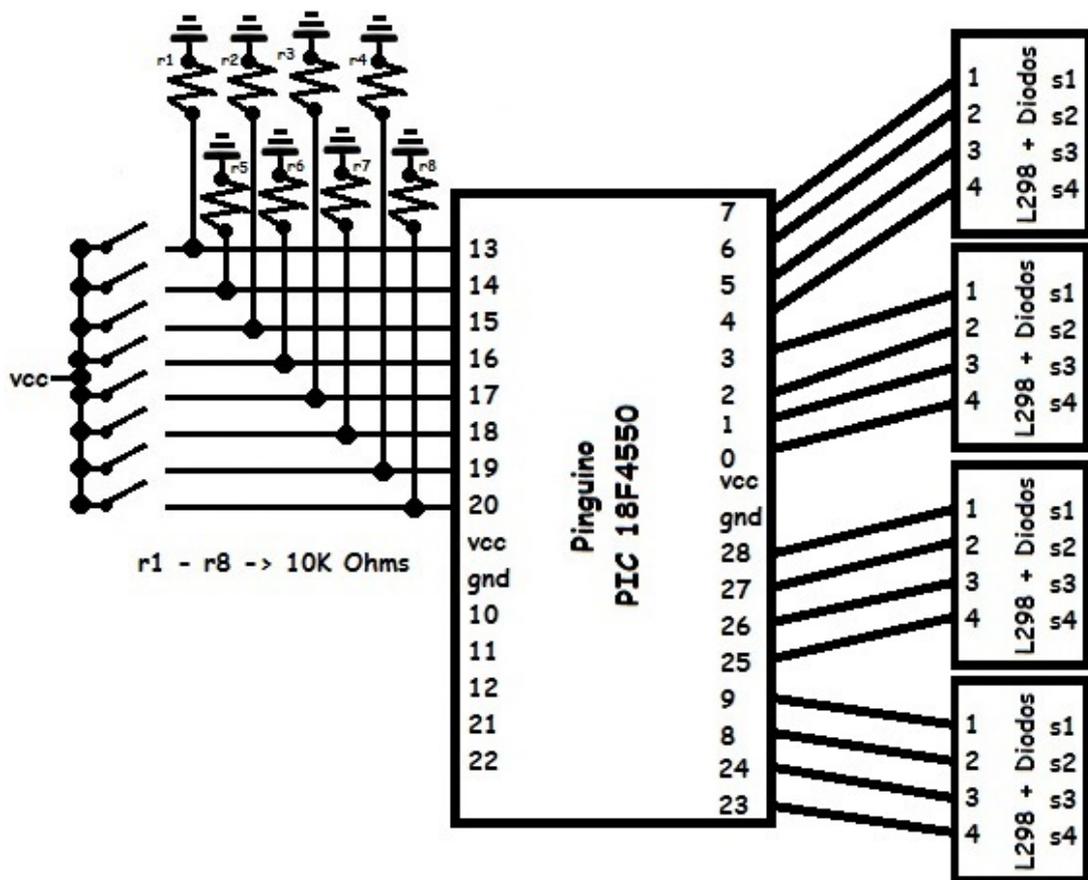


Figura 5.6: Ilustração do circuito completo para controle dos motores de 4 fios composto pelo L298 e 8 diodos 1N4004.

Algorithm 3 Algoritmo de controle do motor de passo de 5 fios e dos servo motores. (Parte I)

```
/*-----*/
```

```
Author: Julio Cesar Lazzarim
```

```
Date: 15/Oct/2012
```

```
Description: Código para controle do motor de passo  
com 5 fios e servo motores utilizando micro botões  
como input.
```

```
-----*/
```

```
int i, j, aux;  
int fio;  
uchar posicao = 0;  
void motorFrente() {  
    fio = 7;  
    aux = 7;  
    toggle(fio);  
    for(i=0; i<4; i++) {  
        fio--;  
        if(fio == 3) fio = 7;  
        toggle(fio);  
        delay(5);  
        toggle(aux);  
        delay(5);  
        aux--;  
    }  
}
```

```
}
```

```
void motorFrente() {  
    fio = 4;  
    aux = 4;  
    toggle(fio);  
    for(i=0; i<4; i++) {  
        fio++;  
        if(fio == 8) fio = 4;  
        toggle(fio);  
        delay(5);  
        toggle(aux);  
        delay(5);  
        aux++;  
    }  
}
```

```
}
```

Algorithm 4 Algoritmo de controle do motor de passo de 5 fios e dos servo motores. (Parte II)

```
void setup() {
    pinMode(7, OUTPUT);
    pinMode(6, OUTPUT);
    pinMode(5, OUTPUT);
    pinMode(4, OUTPUT);

    pinMode(13, INPUT);
    pinMode(14, INPUT);
    pinMode(15, INPUT);
    pinMode(16, INPUT);
    pinMode(10, INPUT);
    pinMode(11, INPUT);

    digitalWrite(7, LOW);
    digitalWrite(6, LOW);
    digitalWrite(5, LOW);
    digitalWrite(4, LOW);

    servo.attach(9);
    servo.attach(8);
}

void loop() {
    /*****
    // Lê o micro botão na porta desejada, se estiver em nível
    lógico TRUE, executa comando
    while(digitalRead(10) == HIGH){
        motorFrente();
    }
    // Lê o micro botão na porta desejada, se estiver em nível
    lógico TRUE, executa comando
    while(digitalRead(11) == HIGH){
        motorTras();
    }
    /*****
    // Lê o micro botão na porta desejada, se estiver em nível
    lógico TRUE, executa comando
    while(digitalRead(15) == HIGH){
        servo.write(9, position);
        delay(10);
        position++;
        if(position > 180){
            position = 0;
        }
    }
}
```

Algorithm 5 Algoritmo de controle do motor de passo de 5 fios e dos servo motores. (Parte III)

```
// Lê o micro botão na porta desejada, se estiver em nível
lógico TRUE, executa comando
while(digitalRead(16) == HIGH){
    servo.write(14,-position);
    delay(10);
    position --;
    if(position < 0){
        position = 180;
    }
}

/*****
// Lê o micro botão na porta desejada, se estiver em nível
lógico TRUE, executa comando
while(digitalRead(13) == HIGH){
    servo.write(9,position);
    delay(10);
    position++;
    if(position > 180){
        position = 0;
    }
}

// Lê o micro botão na porta desejada, se estiver em nível
lógico TRUE, executa comando
while(digitalRead(14) == HIGH){
    servo.write(9,-position);
    delay(10);
    position --;
    if(position < 0){
        position = 180;
    }
}

}
```

Algorithm 6 Algoritmo de controle dos motores de passo de 4 fios. (Parte I)

```
/*-----*
Author:  Julio Cesar Lazzarim
Date: 15/Oct/2012
Description: Código para controle de motores de passo
com 4 fios utilizando micro botões como input.

-----*/

int Delay = 5;// insere um delay padrao no sistema.
void motorFrente(int p1, int p2, int p3, int p4){

    toggle(p2);//alterna o nível lógico do pino em questão.
    toggle(p3);//alterna o nível lógico do pino em questão.
    delay(Delay);

    toggle(p1);//alterna o nível lógico do pino em questão.
    delay(Delay);
    toggle(p4);//alterna o nível lógico do pino em questão.
    delay(Delay);

}

void motorTraz(int p1, int p2, int p3, int p4){

    toggle(p2);//alterna o nível lógico do pino em questão.
    toggle(p3);//alterna o nível lógico do pino em questão.
    delay(Delay);

    toggle(p4);//alterna o nível lógico do pino em questão.
    delay(Delay);
    toggle(p1);//alterna o nível lógico do pino em questão.
    delay(Delay);

}


```

Algorithm 7 Algoritmo de controle dos motores de passo de 4 fios. (Parte II)

```
void setup() {  
  
    pinMode(0,OUTPUT); //seta o pino como um pino de saida  
    pinMode(1,OUTPUT); //seta o pino como um pino de saida  
    pinMode(2,OUTPUT); //seta o pino como um pino de saida  
    pinMode(3,OUTPUT); //seta o pino como um pino de saida  
  
    pinMode(4,OUTPUT); //seta o pino como um pino de saida  
    pinMode(5,OUTPUT); //seta o pino como um pino de saida  
    pinMode(6,OUTPUT); //seta o pino como um pino de saida  
    pinMode(7,OUTPUT); //seta o pino como um pino de saida  
  
    pinMode(28,OUTPUT); //seta o pino como um pino de saida  
    pinMode(27,OUTPUT); //seta o pino como um pino de saida  
    pinMode(26,OUTPUT); //seta o pino como um pino de saida  
    pinMode(25,OUTPUT); //seta o pino como um pino de saida  
  
    pinMode(9,OUTPUT); //seta o pino como um pino de saida  
    pinMode(8,OUTPUT); //seta o pino como um pino de saida  
    pinMode(24,OUTPUT); //seta o pino como um pino de saida  
    pinMode(23,OUTPUT); //seta o pino como um pino de saida  
  
    //seta o pino como um pino de entrada pra os micro botões  
    pinMode(13,INPUT);  
    //seta o pino como um pino de entrada pra os micro botões  
    pinMode(14,INPUT);  
    //seta o pino como um pino de entrada pra os micro botões  
    pinMode(15,INPUT);  
    //seta o pino como um pino de entrada pra os micro botões  
    pinMode(16,INPUT);  
    //seta o pino como um pino de entrada pra os micro botões  
    pinMode(17,INPUT);  
    //seta o pino como um pino de entrada pra os micro botões  
    pinMode(18,INPUT);  
    //seta o pino como um pino de entrada pra os micro botões  
    pinMode(19,INPUT);  
    //seta o pino como um pino de entrada pra os micro botões  
    pinMode(20,INPUT);  
  
}
```

Algorithm 8 Algoritmo de controle dos motores de passo de 4 fios. (Parte III)

```
digitalWrite(0,HIGH); // Inicializa o nível lógico do pino
digitalWrite(1,LOW); // Inicializa o nível lógico do pino
digitalWrite(2,LOW); // Inicializa o nível lógico do pino
digitalWrite(3,HIGH); // Inicializa o nível lógico do pino

digitalWrite(4,HIGH); // Inicializa o nível lógico do pino
digitalWrite(5,LOW); // Inicializa o nível lógico do pino
digitalWrite(6,LOW); // Inicializa o nível lógico do pino
digitalWrite(7,HIGH); // Inicializa o nível lógico do pino

digitalWrite(28,HIGH); // Inicializa o nível lógico do pino
digitalWrite(27,LOW); // Inicializa o nível lógico do pino
digitalWrite(26,LOW); // Inicializa o nível lógico do pino
digitalWrite(25,HIGH); // Inicializa o nível lógico do pino

digitalWrite(9,HIGH); // Inicializa o nível lógico do pino
digitalWrite(8,LOW); // Inicializa o nível lógico do pino
digitalWrite(24,LOW); // Inicializa o nível lógico do pino
digitalWrite(23,HIGH); // Inicializa o nível lógico do pino

} // fim setup();
```

Algorithm 9 Algoritmo de controle dos motores de passo de 4 fios. (Parte IV)

```
void loop() {
  /*******
  // Lê o micro botão na porta desejada, se estiver em nível
  lógico
  TRUE, executa comando
  while(digitalRead(13) == HIGH){
    motorFrente(0,1,2,3);
  }
  // Lê o micro botão na porta desejada, se estiver em nível
  lógico
  TRUE, executa comando
  while(digitalRead(14) == HIGH){
    motorTraz(0,1,2,3);
  }
  /*******
  // Lê o micro botão na porta desejada, se estiver em nível
  lógico
  TRUE, executa comando
  while(digitalRead(15) == HIGH){
    motorFrente(4,5,6,7);
  }
  // Lê o micro botão na porta desejada, se estiver em nível
  lógico
  TRUE, executa comando
  while(digitalRead(16) == HIGH){
    motorTraz(4,5,6,7);
  }
}
```

Algorithm 10 Algoritmo de controle dos motores de passo de 4 fios. (Parte V)

```
/* **** */
// Lê o micro botão na porta desejada, se estiver em nível
lógico
TRUE, executa comando
while(digitalRead(17) == HIGH){
    motorFrente(28,27,26,25);
}
// Lê o micro botão na porta desejada, se estiver em nível
lógico
TRUE, executa comando
while(digitalRead(18) == HIGH){
    motorTraz(28,27,26,25);
}
/* **** */

// Lê o micro botão na porta desejada, se estiver em nível
lógico
TRUE, executa comando
while(digitalRead(19) == HIGH){
    motorFrente(9,8,24,23);
}
// Lê o micro botão na porta desejada, se estiver em nível
lógico
TRUE, executa comando
while(digitalRead(20) == HIGH){
    motorTraz(9,8,24,23);
}
/* **** */
} //Fim algoritmo;
```

Capítulo 6

Considerações Finais

Apesar das dificuldades encontradas e as alterações realizadas no projeto original do manipulador, este trabalho foi finalizado. Neste capítulo discutiremos brevemente as dificuldades encontradas no decorrer deste trabalho além de lembrar alguns dos ajustes necessários para vencer tais dificuldades. Também será discutido e apresentado os custos decorrentes da construção do manipulador proposto e por fim serão citados propostas de trabalhos futuros.

6.1 Dificuldades Encontradas

As alterações realizadas no projeto do manipulador foram a causa das maiores dificuldades no decorrer deste trabalho. Desde a troca de motores até os ajustes realizados com resina epóxi, as alterações geraram consequências que *a posteriori* tiveram que ser superadas. As dificuldades encontradas na realização desse trabalho se dão devido a necessidade de tais alterações. Na parte de implementações deste trabalho não ocorreram dificuldades, pois foram realizadas após a conclusão do manipulador e já visando uma forma definitiva de controle dos motores utilizados.

O peso dos motores de passo utilizado no projeto, afetou drasticamente sua performance. Sendo que na região do cotovelo do manipulador, o motor não consegue gerar torque suficiente para levantar o braço do manipulador. Tal fato resultou no não funcionamento do manipulador construído.

As alterações realizadas no projeto bem como as discussões a cerca das mesmas estão presente no Capítulo 4 deste trabalho.

Tabela 6.1: Relação de materiais adquiridos para o desenvolvimento deste trabalho.

Itens	Valor R\$
ULN2003	1,50
Lixa e Lima	11,35
Parafusos e Porcas diversos	19,20
2x Servo Motores + Frete	35,94
Superbond	5,65
Broca 2mm	3,80
14x MicroSwitch	3,60
Sugador de Solda	10,00
3x TIP102	3,60
3x TIP107	6,00
14x Resistor 10k	4,20
5x L298 + Frete	80,30
Componentes diversos	12,50
Total	197,64

6.2 Custos

Como descrito na Seção 1.1, a proposta deste trabalho envolvia a construção de um manipulador robótico de baixo custo, nesta seção apresentaremos a relação de despesas envolvidas desde a elaboração até a conclusão deste trabalho. Na Tabela 6.1 estão tabulados os valores e descrições de itens adquiridos durante a criação do manipulador. Vários dos componentes utilizados para a criação do manipulador foram obtidos à partir de equipamentos não utilizados disponível na instituição (sucatas) que podem ser facilmente obtidos de forma gratuita, para tanto a Tabela 6.2 contém dados dos materiais e serviços gratuitos utilizados na elaboração deste trabalho.

Comparando o custo obtido no desenvolvimento do manipulador proposto neste trabalho com o manipulador desenvolvido por Bajerski e Abella [5], cujo custo foi de R\$ 400.00, e embora tenham finalidades e funcionalidade diferentes, o manipulador desenvolvido neste trabalho foi finalizado com um menor custo.

Tabela 6.2: Relação de materiais e serviços disponibilizados gratuitamente para o desenvolvimento deste trabalho.

Itens
Placa PVC
Corte das Peças
Pinguino PIC 18F4550
PIC 18F2550
Fios Diversos
ProtoBoard
5x Motores de Passo

6.3 Trabalhos Futuros

Para trabalhos futuros sugere-se modificar a arquitetura de controle do manipulador para uma interface de controle sem fio. Também sugere-se a criação de uma arquitetura própria de manipulador para a utilização de motores de passo e também outra arquitetura própria para a utilização de servo motores. É sugerido também alongar a parte do cotovelo fazendo um contra peso no antebraço para diminuir o torque necessário para movimentar a junta.

Referências Bibliográficas

- [1] GROOVER, M. P. et al. *Robótica. Tecnologia e Programação*. [S.l.]: McGraw-Hill, 1989.
- [2] SANTOS, V. M. F. *Robótica Industrial: Apontamentos teóricos, exercícios para aulas práticas e problemas de exames resolvidos*. 2003.
- [3] SILVA, F. S.; MEGGIOLARO, M. A. *Desenvolvimento e controle de um manipulador robótico de alta potência com dois graus de liberdade*. Dissertação (Mestrado) — Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2006.
- [4] SARAIVA, J. P. L.; MARANHÃO, J. R.; LISTO, T. L. *Sistema de Controle de Braço Mecânico Automatizado*. Dissertação (Monografia de Trabalho de Conclusão de Curso) — Instituto de Estudos Superiores da Amazônia, 2008.
- [5] BAJERSKI, I.; ABELLA, V. D. B. *Braço Robótico Com Controle Remoto Bluetooth*. Dissertação (Monografia de Trabalho de Conclusão de Curso) — Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2010.
- [6] MARTINS, R. H. *Projeto de um Protótipo de um Manipulador Teleoperado*. Dissertação (Monografia de Trabalho de Conclusão de Curso) — Universidade do Vale do Itajaí, 2008.
- [7] ASSOCIATION, R. I. *Robotics Online*. <<http://www.robotics.org>>, Consultado na Internet em: 01/07/2012.
- [8] CARRARA, V. *Apostila de Robótica*. Notas de Aula.
- [9] GROOVER, M. P. et al. *Industrial Robotics Technology, Programming and Application*. [S.l.]: McGraw-Hill, 1986.
- [10] BRITES, F. G.; SANTOS, V. P. de A. *Motor de Passo*. [S.l.], julho 2008.

- [11] INDUSTRIES, M. *Robotic arm with 7 servos*. <<http://www.thingiverse.com/thing:2433>>, Consultado na Internet em: 19/03/2012.
- [12] GROUP, P. *Pinguino*. <<http://www.pinguino.cc>>, Consultado na Internet em: 10/10/2012.
- [13] GROUP, P. *Pinguino Wikia*. <http://wiki.pinguino.cc/index.php/Main_Page>, Consultado na Internet em: 10/10/2012.