

TESE

1144 Escola Federal de Engenharia de Itajubá

**CONCEPÇÃO, PROJETO E CONSTRUÇÃO
DE UM ROBÔ AUTÔNOMO**

Sandro Botossi dos Santos

Itajubá - MG

2002



Escola Federal de Engenharia de Itajubá

Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica

CONCEPÇÃO, PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM ROBÔ AUTÔNOMO

Dissertação apresentada à Escola
Federal de Engenharia de Itajubá
para a obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Elétrica.

Sandro Botossi dos Santos

Itajubá

2002

CLASS.	004.896(043.8)
CUTTER	S237c
TOMBO.	1144



Escola Federal de Engenharia de Itajubá
Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica

CONCEPÇÃO, PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM ROBÔ AUTÔNOMO

Dissertação apresentada à Escola
Federal de Engenharia de Itajubá
para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Elétrica

Sandra Borelli dos Santos

Itajubá

2002

Sandro Botossi dos Santos

CONCEPÇÃO, PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM ROBÔ AUTÔNOMO

Dissertação apresentada à Escola
Federal de Engenharia de Itajubá
para a obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Elétrica.

Área de concentração:
Automação e Sistemas Elétricos
Industrial

Orientador:
Germano Lambert Torres

Co-orientador:
Pedro Paulo Leite do Prado

Itajubá

2002

Agradecimentos

Ao Prof. Gilmaro Lambert Torres, pela atenção para o projeto de tese submetido, pela orientação segura, competente e amigável e pelo apoio administrativo.

Ao Prof. Pedro Paulo Leite de Prado, pelo incentivo às minhas atividades e sugestões na elaboração da monografia.

A minha mãe e ao meu pai, que sempre me deram força para eu continuar os estudos.

À meu amigo Prof. Adilson Pellegrini, por ter me dado um grande apoio na elaboração das provas finais.

Aos amigos Prof. Valdemir e Prof. Reschi, pelo apoio nos estudos e na parte administrativa da tese.

Ao meu amigo Prof. Sérgio, pelo incentivo e amizade.

A todos, que me ajudaram durante o processo.

À minha esposa Cristiane e a meus filhos, Juliana e Hugo, pelo apoio e compreensão da necessidade de utilizar os sábados, domingos e férias, e na tarefa de desenvolver e escrever a tese.

A Deus, por ter me dado este período de caminhada rumo a Deus.

A Universidade de Teresopolis, por poder eu desenvolver a tese e também, por ter permitido a minha vida e projetos.

*À minha querida Cristiane
Por todo amor e carinho*

Agradecimentos

Ao Prof. Germano Lambert Torres, pelo convite para o projeto do robô animatrônico, pela orientação segura, competente e amigável e pelo apoio administrativo.

Ao Prof. Pedro Paulo Leite do Prado, pelo incentivo na carreira acadêmica e sugestões na elaboração da monografia.

À minha mãe e ao meu pai, que sempre me deram forças para eu continuar os estudos.

Ao meu amigo Prof. Adilson Peloggia, por ter me dado um grande apoio na usinagem das peças do robô.

Aos amigos Prof. Valberto e Prof. Resek, pelo precioso apoio na parte eletrônica do robô.

Ao meu amigo Prof. Seide, pelo incentivo e amizade.

A todos, que me ajudaram durante o projeto.

À minha esposa Cristiane e a meus filhos Tatiane e Diego, pelo apoio amor e compreensão da necessidade de utilizar os sábados, domingos e feriados na tarefa de desenvolver o Robossan II.

A Deus, por ter me dado esta missão de construir robôs.

A Universidade de Taubaté, por ceder os laboratórios para pesquisa e elaboração do Robossan II, durante todo o projeto.

Sumário

Agradecimentos	I
Resumo	II
Abstract	III
Lista de figuras	IV
Lista de tabelas	V
Capítulo 1- Introdução	1
1.1 - Considerações Iniciais.....	1
1.2 - Objetivo do trabalho.....	1
1.3 - Organização da dissertação.....	2
Capítulo 2 - Conceitos Básicos	3
2.1 - Introdução.....	3
2.2 - Robôs Industriais (RI).....	5
Capítulo 3 - Características dos Robôs	10
3.1 - Classificação por Geometria.....	10
3.2 - Classificação por aprendizagem.....	14
3.3 - Classificação Baseada no Controle da Trajetória.....	15
3.4 - Especificações Estáticas.....	16
3.5 - Especificações Cinemática.....	16
3.6 - Especificações Dinâmicas.....	17
Capítulo 4 - Elementos de um Robô	18
4.1 - Atuadores.....	18
4.2 - Sistema de Transmissão.....	44
4.3 - Sensores.....	58
4.4 - Órgãos terminais.....	62

Capítulo 5 – Servomecanismo	64
5.1 - Controle em malha aberta ou fechada de posição e velocidade.....	64
5.2 - Transdutores lineares e não-lineares.....	67
Capítulo 6 – Cinemática de Objetos	72
6.1 - Introdução.....	72
6.2 - Operação de translação.....	72
6.3 - Operação de rotação.....	74
6.4 - Transformação homogênea.....	77
Capítulo 7 – Cinemática do Robô e métodos de programação	84
7.1 - Cinemática Direta de um Manipulador.....	84
7.2 - Cálculos da Cinemática Direta de um Robô Real.....	89
7.3 - Métodos de Programação de Robôs por Aprendizagem.....	94
7.4 - Linguagem Textuais de Programação de Robôs.....	95
Capítulo 8 – Projeto do Robô ROBOSSAN II	97
8.1 - Introdução.....	97
8.2 - Construção da cabeça.....	97
8.3 - Construção do pescoço.....	105
8.4 - Construção do tronco.....	107
8.5 - Construção dos membros superiores.....	111
8.6 - Base do robô.....	116
8.7 - Circuitos pneumáticos.....	137
8.8 - Circuitos elétricos.....	142
8.9 - Sistemas de telecomunicações.....	144
Capítulo 9 – Conclusão	149
9.1 - Considerações finais.....	149
9.2 - Trabalhos futuros.....	151
Referências Bibliográficas	152
Anexo I – Símbolos normalizados de componentes pneumáticos ou hidráulicos utilizados na confecção de circuitos	153
Anexo II – Tabelas de sistemas de transmissão	160
Anexo III – Tabela de sistemas de visão comercial	171

Resumo

O objetivo deste trabalho foi projetar e desenvolver um robô, capaz de imitar alguns movimentos dos seres humanos.

Foi criado um robô capaz de se locomover em chão plano, com supervisão visual remota do percurso. O acionamento dos braços, pescoço e cintura é pneumático. A cabeça apresenta movimentos de olhos, sobrancelha e boca. Os motores são comandados por controle remoto, através de ondas rádio, com possibilidade de interfacear um microcomputador.

Palavras-chave: Robô, automação, Robótica.

Abstract

This work aimed at designing and developing a robot, capable of imitating some movements of the human beings.

We designed a robot capable of moving about flat floor, with visual remote control of its course. The arms, neck and waist are set in motion using pneumatics. The motors are driven by remote control, via radio waves, with the possibility of interfacing a microcomputer.

Key words: Robot, automation, robotics.

Lista de Figuras

FIGURAS	Páginas
2.1 – Robô industrial típico.....	5
3.1 – Robô de coordenadas cartesianas.....	11
3.2 – Robô de coordenadas cilíndricas.....	11
3.3 – Robô de coordenadas esféricas.....	12
3.4 – Robô revoluto.....	12
3.5 – Robô SCARA.....	14
4.1 – Cilindros de ação simples.....	20
4.2 – Cilindro de dupla ação com haste simples.....	21
4.3 – Cilindro de dupla ação de múltiplas posições.....	22
4.4 – Cilindro de dupla ação Tandem.....	22
4.5 – Cilindros de dupla ação giratório, que transforma movimento linear em angular	23
4.6 – Cilindros de dupla ação em que a força é aplicada diretamente no êmbolo.....	23
4.7 – Cilindros com êmbolo magnético para detecção sem contato direto.....	24
4.8 – Unidade combinada linear / rotativa.....	25
4.9 – Eletroválvula 5/3 de centro fechado.....	26
4.10 – Válvula reguladora de fluxo unidirecional.....	27
4.11 – Válvula de retenção.....	27
4.12 – Pressostato ajustável.....	28
4.13 – Silenciador pneumático.....	28
4.14 – Unidade de conservação.....	30
4.15 – Gerador de vácuo sem expulsor.....	31
4.16 – Gerador de vácuo com expulsor.....	31
4.17 – Gerador de vácuo eletropneumático sem expulsor.....	32
4.18 – gerador de vácuo eletropneumático com expulsor.....	33
4.19 – Ventosas.....	33
4.20 – Garras pneumáticas.....	34
4.21 – Motor de passo com indutância variável.....	36
4.22 – Motor de passo unipolar com imã permanente.....	37
4.23 – Motor bipolar com imã permanente.....	38
4.24 – Motor de passo multifase.....	39
4.25 – Relação de transmissão das polias com a correia.....	46
5.1 – Sistema de controle em malha aberta.....	64
5.2 – Sistema de controle em malha fechada.....	65
5.3 – Diagrama em blocos do servomecanismo.....	66
5.4 – Controle de servomecanismo para controle de posição.....	66
5.5 – Circuito de controle de posição com codificador incremental.....	69
5.6 – Controle analógico de um codificador incremental.....	70
5.7 – Controle digital de um codificador incremental.....	70
5.8 – Controle por computador de um codificador incremental.....	71
6.1 – Sistema de coordenadas transladados.....	73

6.2 – Sistema de coordenadas coincidentes.....	74
6.3 – Sistemas de coordenadas rotacionais em torno de x.....	76
6.4 – Sistemas de coordenadas (x, y, z) e (u, v, w).....	79
6.5 - Sistemas de coordenadas (x, y, z), (u, v, w) e (L, M, N).....	81
6.6 – Gráfico do ponto em relação ao sistema de coordenadas (x, y, z).....	83
7.1 – Sistema coordenado de dois elos consecutivos e duas junções.....	84
7.2 – Manipulador simplificado.....	89
8.1 – Posição da antena de transmissão de áudio e vídeo.....	97
8.2 – Microfone DX50 Turbo.....	98
8.3 – Microcâmera Kodo monocromática.....	99
8.4 – Montagem do olho.....	100
8.5 – Servo Futaba S3003.....	101
8.6 – Circuito típico de servo.....	102
8.7 – Foto da parte interna do servo.....	102
8.8 – Instalação do servo da sobancelha.....	103
8.9 – Sobancelha do robô.....	103
8.10 – Instalação da boca na cabeça do robô.....	104
8.11 – Instalação do pescoço.....	105
8.12 – Detalhes do acionamento do pescoço.....	105
8.13 – Foto do pescoço visto por trás.....	106
8.14 – Usinagem do suporte do pescoço.....	106
8.15 – Instalação do ombro direito (cilindro giratório).....	107
8.16 – Instalação do ombro esquerdo (cilindro giratório).....	107
8.17 - Tórax do robô.....	108
8.18 – Costas do robô.....	108
8.19 – Montagem da cintura.....	109
8.20 – Instalação do cilindro giratório da cintura.....	109
8.21 – Braço direito.....	110
8.22 – Braço esquerdo.....	111
8.23 – Antebraço direito.....	111
8.24 – Instalação do cilindro no antebraço.....	112
8.25 – Instalação do antebraço esquerdo.....	112
8.26 – Mão direita.....	113
8.27 – Dedos da mão direita.....	114
8.28 – Mão esquerda.....	114
8.29 – Soldagem do chassis.....	115
8.30 – Soldagem do suporte da eletroválvula.....	116
8.31 – Processo de desbaste do excesso de solda.....	116
8.32 – Acabamento final do esmerilhamento do chassis.....	117
8.33 – Chassis pronto para receber a pintura de fundo.....	117
8.34 – Processo de preparação da tinta de fundo.....	118
8.35 – Pintura de fundo do chassis (cor vermelha).....	118
8.36 – Pintura final do chassis (cor preto fosco).....	119
8.37 – Suporte do motor sendo esmerilhado.....	119
8.38 – Suporte da polia dentada intermediária, sendo esmerilhada.....	120
8.39 – Pintura do suporte do motor, das polias dentadas e braçadeiras do eixo das rodas.....	120
8.40 – Roda traseira.....	121

8.41 – Suporte da roda traseira.....	121
8.42 – Roda traseira montada no suporte.....	122
8.43 – Motor 12 VCC utilizado na transmissão do robô.....	123
8.44 – Polia dentada intermediária.....	123
8.45 – Eixo da roda dianteira.....	124
8.46 – Suporte dos mancais do chassis.....	124
8.47 – Montagem da roda dianteira e eixo no chassis.....	125
8.48 - Montagem das rodas dianteiras lado direito e esquerdo.....	125
8.49 – Instalação completa da transmissão.....	126
8.50 – Motor de tacogerador.....	126
8.51 – Suporte do computador compacto.....	127
8.52 – Instalação das eletroválvulas.....	127
8.53 – Eletroválvula 5/3 de 12 VCC.....	128
8.54 – Pressotato elétrico.....	129
8.55 – Instalação das válvulas reguladora de fluxo.....	129
8.56 – Válvula reguladora de fluxo.....	130
8.57 – Instalação do reservatório.....	131
8.58 – Unidade de conservação.....	132
8.59 – Válvula de retenção.....	132
8.60 – Instalação da válvula de retenção.....	133
8.61 – Instalação do compressor.....	133
8.62 – Bloco de distribuição e bloco do silenciador.....	134
8.63 – Carregador de bateria.....	135
8.64 – Instalação da bateria 12 VCC – 115 Ah.....	136
8.65 – Identificação das válvulas reguladoras de fluxo.....	137
8.66 – Posição das eletroválvulas no robô.....	138
8.67 – Identificação dos cilindros.....	138
8.68 – Circuito pneumático em blocos.....	139
8.69 – Diagrama em blocos do bloco de distribuição de ar até o cilindro linear giratório.....	140
8.70 – Diagrama em blocos de entrada de energia no robô.....	141
8.71 – Diagrama em blocos do circuito do compressor.....	141
8.72 – Diagrama em blocos do circuito de controle das eletroválvulas.....	142
8.73 – Diagrama em blocos dos sistemas de Telecomunicações.....	143
8.74 – Montagem completa do Robossan II.....	146
8.75 – Mesa de controle do Robossan II.....	146
8.76 – Robossan II no lado direito e Robossan I no lado esquerdo do projetista.....	147
9.1 – Robossan II.....	149

Lista de tabelas

TABELAS	Páginas
2.1 – Classificação geral das aplicações industriais dos RIs na atualidade.....	9
3.1 – Classificação por programação e aprendizagem.....	14
3.2 – Classificação segundo a AFRI.....	15
3.3 – Cálculo do volume de cada geometria de robôs.....	16
4.1 – Componentes hidráulicos e pneumáticos.....	17
4.2 – Padrões comerciais dos cilindros de ação simples.....	20
4.3 – Padrões comerciais dos cilindros de dupla ação.....	21
4.4 – Tipos de correias planas disponíveis no mercado.....	52
4.5 – Coeficiente de correção.....	52
4.6 – Tipo de funcionamento.....	53
4.7 – (a) Fator de serviço.....	53
4.7 – (b) Fator de serviço.....	54
4.8 – Classificação dos motores.....	54
5.1 – Relações físicas e elétricas e suas respectivas combinações.....	68
8.1 – Características técnicas da câmara utilizada no robô.....	98
8.2 – Características técnicas do motor da roda dianteira e traseira.....	122
8.3 – Características técnicas da válvula de retenção.....	130
8.4 – Identificação dos componentes pneumáticos na instalação.....	140
8.5 – Tipos de acionamentos do Robossan II.....	144

Introdução

1.1 - Considerações Iniciais

A robótica é uma área de pesquisa que tem se desenvolvido extremamente nos últimos anos. Os robôs são utilizados amplamente em várias atividades e tarefas, como em:

- serviços repetitivos nas linhas de produções industriais;
- exploração espacial;
- apoio a deficientes físicos;
- simulação de pacientes;
- cirurgias;
- localização de defeitos em túneis;
- localização de campos minados;
- explorações de locais radiativos;
- operações policiais e militares;
- cinema;
- etc.

Com o grande desenvolvimento da tecnologia de informática, computadores mais sofisticados puderam ser usados para desenvolver novas técnicas de controle robótico. Estas técnicas estão permitindo que os robôs executem tarefas complexas, que até então só eram executadas por seres humanos, tais como desviar de obstáculos imprevistos e reagir de forma inteligente ao ambiente.

Para que os robôs móveis autônomos consigam executar essas tarefas, todos os seus componentes (sensores, atuadores, etc.) precisam estar integrados através de um sistema de controle. Existem duas linhas de pesquisa na área de controle robótico: sistemas planejados e sistemas reativos. Os sistemas planejados baseiam suas ações em um modelo do mundo, que é predefinido e armazenado na memória do robô. Os sistemas reativos não armazenam nenhuma representação ou modelo do mundo. Restringem-se a reagir aos estímulos recebidos do ambiente pelos sensores. Com base nesses estímulos, decidem o que fazer e em que direção se movimentar.

1.2 – Objetivo do trabalho

O objetivo deste trabalho foi construir um robô com aproximadamente um metro e meio de altura, com os movimentos parecidos aos dos seres humanos da cintura para cima. A base do robô foi especificada para utilizar rodas, para facilitar o seu movimento em terrenos que não fossem planos.

O robô deveria movimentar-se autonomamente, sem alimentação de energia externa.

O robô deveria ser controlado remotamente, via rádio e deveria conter as interfaces para um futuro controle por computador.

1.3 - Organização da dissertação

Para atender à proposta deste trabalho, o texto está estruturado em nove capítulos, incluindo esta introdução.

O capítulo 2 apresenta os conceitos básicos dos robôs nas indústrias.

O capítulo 3 apresenta a classificação dos robôs por geometria e aprendizagem, suas especificações estáticas, cinemáticas e dinâmicas.

O capítulo 4 apresenta os atuadores utilizados na robótica, os sistemas de transmissão, sensores e manipuladores.

O capítulo 5 discute as técnicas de controle robótico.

O capítulo 6 apresenta a operação de translação e rotação da cinemática de objetos.

O capítulo 7 apresenta a cinemática direta de um manipulador e os cálculos da cinemática direta de um robô real e comenta os métodos de programação de robôs por aprendizagem e a linguagem textuais de programação de robôs.

O capítulo 8 apresenta o projeto completo do ROBOSSAN II, desenvolvido com base nas especificações fornecidas.

O capítulo 9 apresenta a conclusão, as considerações finais e as indicações para trabalhos futuros.

O Anexo I, apresenta os símbolos normalizados de componentes pneumáticos ou hidráulicos utilizados na confecção de circuitos.

O Anexo II, apresenta as Tabelas referentes ao cálculo do sistema de transmissão.

O Anexo III, apresenta a Tabela do sistema de visão comercial.

Capítulo 2

Conceitos Básicos

2.1- Introdução

O grande avanço da robótica resultou das novas necessidades e idéias trazidas pelo crescente desenvolvimento tecnológico. A imaginação e a necessidade da automação deram origem à idéia de criar máquinas, que imitassem a natureza e o comportamento do homem.

O nome “Robô”, foi criado pelo escritor tcheco Karel Capek, primeiramente na sua obra “Opilek”, e três anos depois, em 1920, na conhecida obra de teatro “R. U. R. Rossum’s Universal Robots”. Nessa peça, um homem fabricava máquinas com forma humana, para que servissem como escravos, e denominava-as de “Robots” que, em tcheco, é “robotá”, significando trabalho escravo (na obra os robôs se rebelam contra seu criador).[1]

Para ser considerado um robô, o dispositivo deve possuir versatilidade, programabilidade e, uma vez programado, deve realizar a tarefa por si só, sem a interferência de operadores humanos.

A composição geral de um robô é a seguinte:

Manipulador

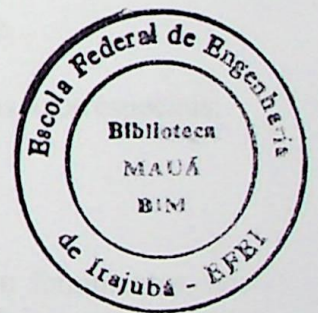
É o dispositivo responsável pela execução do trabalho.

Fonte de energia

É a parte responsável por toda a alimentação dos acionadores do robô.

Controlador

Coordena e executa as funções a serem desempenhadas pelo robô.



Memória de tarefa

É o local de armazenamento de dados do controlador, de programas e tarefas aprendidas.

Dispositivo de programação de tarefa

Encarregado pela unidade de entradas e saídas com funções que facilitam a programação do robô por um operador.

Dispositivo de sincronização

São dispositivos e funções que permitem a coordenação das ações do robô com máquinas e/ou eventos externos.

Sistema sensorial

São conjuntos de sensores que permitem ao robô reconhecer mudanças de condições no seu ambiente de trabalho.

O projeto de um robô envolve a aplicação de conhecimentos interdisciplinares relativos a várias ciências e tecnologias:

- Mecânica: cinemática, dinâmica, hidráulica, pneumática;
- Matemática e computação;
- Eletrônica e eletricidade;
- Automação e controle: sensores e acionadores;
- Visão computacional, reconhecimento de padrões, inteligência artificial, etc.

Em função de sua aplicação, os robôs podem ser classificados em alguns tipos especiais:

1º) Robôs industriais (RI)

São os que realizam trabalhos dedicados à manipulação de peças ou ferramentas, nas indústrias. São compostos normalmente de um manipulador ou estrutura mecânica, uma fonte de energia, um controlador e um elemento terminal.

2º) Robô médico

Dá-se esse nome às próteses de braço ou perna, com motorização própria, que tenham capacidade de funcionamento autônomo, com ações reflexas.

3º) Robô móveis

São máquinas capazes de se deslocarem pelo solo, em lugares com obstáculos, sem intervenção do homem.

4º) Robôs para condições adversas

São utilizados em aplicações, tais como, em ambientes submarinos, espaciais, de mineração, em incêndios, locais radiativos, etc.

5º) Robôs animatrônicos

A palavra animatrônica significa “animação utilizando Eletrônica”. Estes robôs são projetados para filmes, teatros, marketing, podendo ter forma de bichos ou pessoas.

2.2- Robôs Industriais (RI)

Um robô industrial é um “manipulador reprogramável e multifuncional, desenhado para mover materiais, peças mecânicas ou dispositivos especializados, mediante movimentos variáveis, programados para a execução de tarefas variadas, de forma automática.[1]”

O diagrama de blocos de um robô industrial típico está mostrado na Figura 2.1

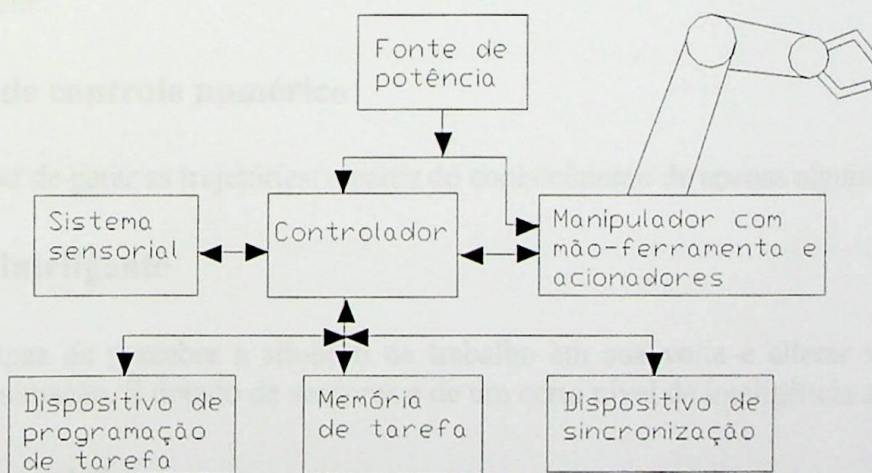


Figura 2.1 - Robô Industrial Típico

2.2.1 Tipos principais

Os robôs industriais podem ser classificados em 5 tipos principais: manual, sequencial, de aprendizagem, de controle numérico ou inteligente.

1º) Manipulador manual

É todo engenho mecânico de manejo de peças ou ferramentas que requeira o concurso do homem para seu funcionamento.

2º) Robô sequencial

Realiza uma seqüência de movimentos, deslocando-se entre amortecedores. Há dois tipos:

- de seqüência fixa, estabelecida na fabricação, com mecanismo inacessível ao usuário;
- de seqüência variável, com possibilidade de alteração de seqüência de movimentos para permitir a adaptação às diversas tarefas (troca de dispositivos, amortecedores, etc).

3º) Robô de aprendizagem

Os movimentos do robô são executados manualmente, a partir do conhecimento de todos os pontos da trajetória a executar. Dispõe de servocontrole, para se reproduzir os movimentos posteriormente.

4º) Robô de controle numérico

Capaz de gerar as trajetórias, a partir do conhecimento de apenas alguns pontos.

5º) Robô inteligente

É capaz de perceber a situação de trabalho em sua volta e alterar seu funcionamento, conforme a situação. É dotado de sensores e de um certo nível de inteligência artificial.

2.2.2 Composição

Um RI compõe-se de um manipulador ou estrutura mecânica, uma fonte de energia, um controlador e um elemento terminal.

a) Manipulador

É o dispositivo responsável pela execução do trabalho. É composto de engrenagens, elementos de transmissão e acionadores, possuindo graus de liberdade suficientes para a execução das tarefas destinadas ao robô. Compreende articulações e uma garra ou ferramenta.

- Articulações

O manipulador constitui-se de um conjunto de corpos rígidos, acoplados uns aos outros de forma móvel, conhecidos como articulações. O RI é fixado em uma base, que pode ser fixa ou móvel. A base fixa une o RI a uma máquina, carro de transporte ou estrutura da fábrica (chão, teto ou paredes), enquanto a base móvel dispõe de rodas, correias, trilhos ou pés para o deslocamento.

Normalmente os robôs industriais só utilizam dois tipos de articulações (eixos): giratórias e prismáticas.

As estruturas de posicionamento no espaço são as seguintes:

1º) Estrutura cartesiana: com três articulações prismáticas, admitindo duas realizações: normal, com base em um só corpo e por pórtico (estrutura PPP).

2º) Estrutura cilíndrica: a primeira articulação que une a estrutura à base é de rotação e as outras duas são prismáticas (estrutura RPP).

3º) Estrutura esférica: tem as duas primeiras articulações giratórias e a terceira prismática (estrutura RRP).

4º) Estrutura angular ou articulada: tem as três articulações giratórias (estrutura RRR).

5º) Estrutura Scara: surgida em 1981, não realiza um posicionamento no espaço, e sim no plano. Possui três eixos giratórios paralelos e um deslocamento vertical.

- Garras

Os manipuladores podem possuir nos seus extremos garra ou uma ferramenta específica.

O tipo de garra a ser utilizada depende da forma, peso e material a ser manipulado. As mais utilizadas são as garras mecânicas, as garras a vácuo e as magnéticas.

A garra mecânica pode ter acionamento elétrico, pneumático e hidráulico. Nos RIs, também é empregado garra de duas mãos, que tem a vantagem de diminuir o número de movimentos a serem realizados pelo robô. Por exemplo, com uma só aproximação, ela pode pegar a peça já usinada com uma das mãos, girar o conjunto e colocar na máquina, com a outra mão, uma peça não usinada.

As garras a vácuo e magnéticas são dependentes da aplicação, variando com o tipo de superfície disponível para a manipulação, com o peso da peça, sua temperatura e o material a ser manipulado. Por exemplo, uma garra magnética só pode pegar materiais ferromagnéticos.

Em algumas linhas de produção, os RIs têm tarefas específicas, sendo conveniente adaptar ao braço do robô a ferramenta ou dispositivo, em vez de projetar uma mão para segurar aquele dispositivo.

- Acionamentos

Os mecanismos do manipulador são acionados diretamente por atuadores que podem estar acoplados diretamente às estruturas ou juntas, ou podem ser indiretamente acionados por meio de correntes, engrenagens, correias, parafusos sem-fim de esferas recirculantes, etc. Três tipos de acionadores são utilizados: elétricos, hidráulicos e pneumáticos.

b) Fonte de energia

É a parte responsável pela alimentação dos acionadores do robô.

c) Controlador

É a parte em que o robô é programado para realizar as tarefas e monitora todos os dispositivos e sensores durante a realização do trabalho.

d) Elemento terminal

É o ferramental que une o punho do robô aos sistemas sensoriais, permitindo interagir com o ambiente.

2.2.3 Aplicações dos RIs

A tabela 2.1 reúne algumas das múltiplas aplicações dos RIs.

Tabela 2.1- Classificação geral das aplicações industriais dos RIs na atualidade

Aplicações Industriais dos Robôs	Manipulação	Carga e Descarga De máquinas	<ul style="list-style-type: none"> - Fundição de peças a pressão - Fundição de plásticos - Alimentação de prensas - Máquinas-ferramentas - Tratamento a alta temperatura - Vidro e cerâmica
		<ul style="list-style-type: none"> - Empilhar e embalar - Outros tipos de Manipulação 	
	Fabricação	Processos	<ul style="list-style-type: none"> - Corte a laser - Fundição por recobrimento - Forjamento rebarbado - Forjamento polido - Perfuração
		Soldagem	<ul style="list-style-type: none"> - Por pontos (ou resistência) - Por arco
		Tratamento de Superfícies	<ul style="list-style-type: none"> - Recobrimento - Esmaltagem - Pintura
	Ajustes	<ul style="list-style-type: none"> - Mecânico - Eletrônico 	
	Inspeção e Medição		

Características dos Robôs

Classificação dos Robôs

Os robôs são classificados genericamente de acordo com a sua geometria, aprendizagem e controle de trajetória.

3.1 - Classificação por Geometria

A geometria do robô refere-se às combinações dos movimentos rotacionais e/ou em linha reta do eixo do corpo do robô.

Os principais tipos de robôs quanto às suas coordenadas são: cartesiano, cilíndrico, polar ou esférico, revoluto e SCARA.[2]

- Robô de coordenadas cartesianas

Sua principal vantagem é o posicionamento dentro de um grande espaço de trabalho, onde pode operar em conjunto com o ser humano. Consiste em três articulações prismáticas e pode movimentar-se em linha reta, com movimentos horizontais e verticais. Pode ser montado no chão ou em uma base. Dependendo do tipo da aplicação, recomenda-se fixar a estrutura acima da área de trabalho, para economizar espaço. Neste caso o robô é chamado de “gantry”.

A Figura 3.1 ilustra um robô de coordenadas cartesianas.

- Robô de coordenadas cilíndricas

O robô combina movimentos em linha reta com movimentos rotacionais. Sua vantagem é poder ser projetado para grandes capacidades de carga. É favorável em aplicações em que o órgão terminal deve ser introduzido em pequenas aberturas, sem colisões. A Figura 3.2 define um robô com a primeira articulação na base de rotação e as outras duas articulações prismáticas.

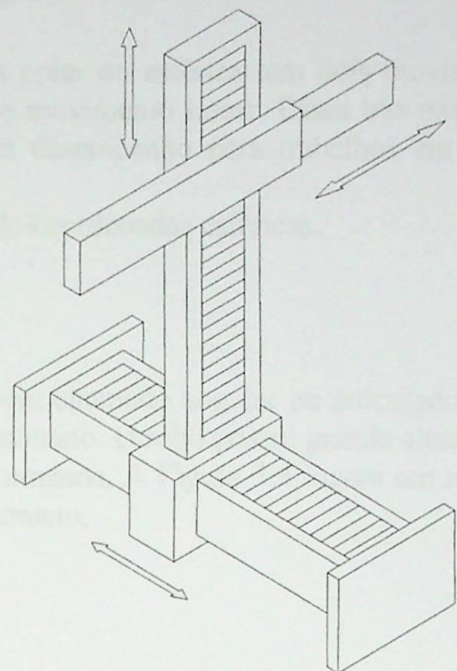


Figura 3.1- Robô de coordenadas cartesianas.

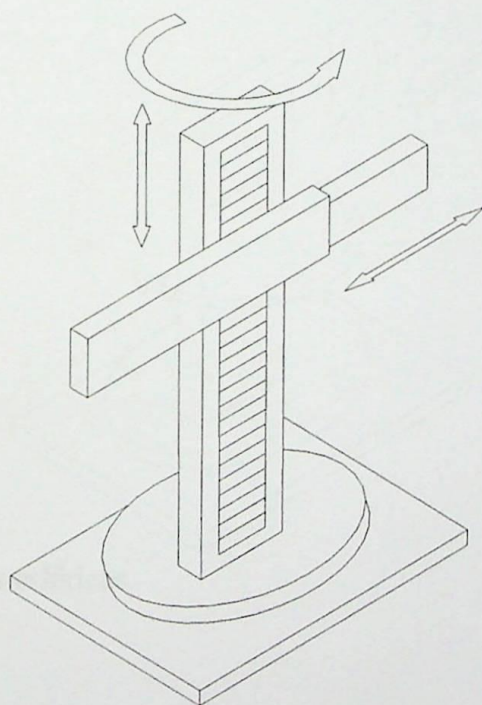


Figura 3.2 – Robô de coordenadas cilíndricas.

- Robô de coordenadas polares ou esféricas

O robô de coordenada polar ou esférica tem dois movimentos rotacionais (na base e na primeira junção) e um terceiro movimento linear. Esses três movimentos descrevem uma esfera. Sua vantagem reside no bom desempenho para trabalhos em grandes espaços e com grande alcance.

A Figura 3.3 ilustra um robô de coordenadas esféricas.

- Robô revoluto

O robô revoluto, também chamado angular ou articulado, tem articulações e movimentos que se assemelham ao braço humano. O robô possui grande alcance e é facilmente adaptável para locais onde trabalham seres humanos. A Figura 3.4 ilustra um robô revoluto de três articulações giratórias que imita o braço humano.

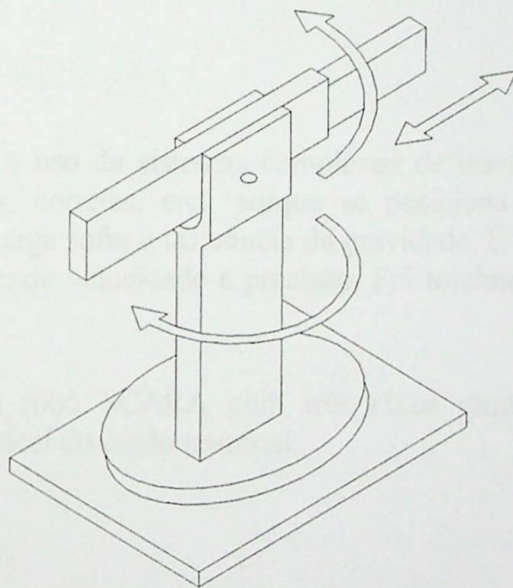


Figura 3.3 – Robô de coordenadas esféricas.

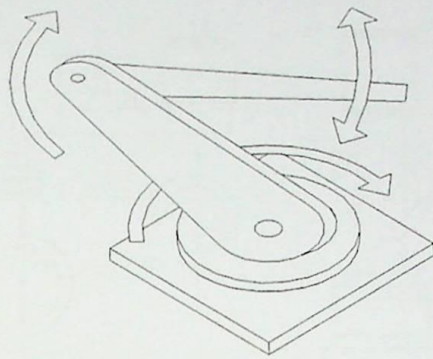


Figura 3.4 – Robô revoluto.

- Robô SCARA

O robô SCARA dispensa o uso de sistemas complexos de transmissão de movimentos como, por exemplo, engrenagens, correias, etc., porque se posiciona totalmente num plano horizontal, não permitindo que a carga sofra a influência da gravidade. É vantajoso em operações de força e montagem e possui grande velocidade e precisão. Foi totalmente desenvolvido pelos japoneses.

A Figura 3.5 mostra um robô SCARA com três eixos giratórios paralelos e com possibilidade de deslocamento vertical do órgão terminal.

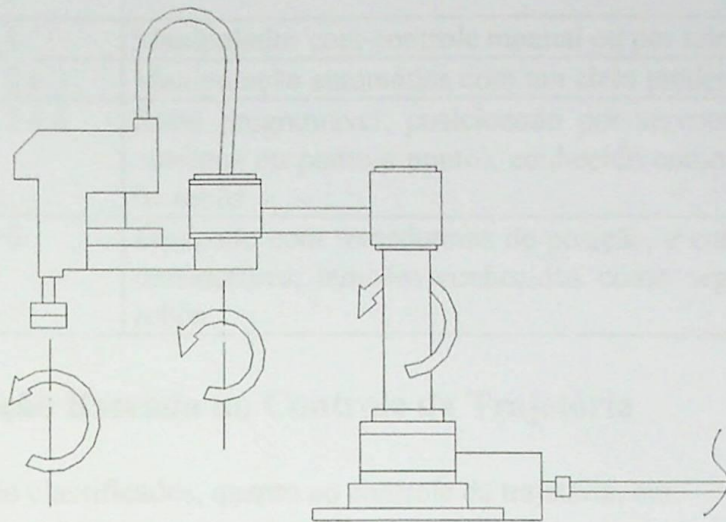


Figura 3.5 – Robô SCARA.

3.2 – Classificação por Aprendizagem

A JIRA (*Japan Industrial Robot Association*) classifica os robôs segundo a programação e a aprendizagem, conforme a tabela 3.1.

Tabela 3.1- Classificação por Programação e Aprendizagem.

Classe 1	Manipulador manual	Controlado em tempo real pelo homem
Classe 2	Robô de seqüência fixa	Cada passo executado segue uma seqüência previamente estabelecida e/ou programada
Classe 3	Robô de seqüência variável	Idêntico ao da classe 2, mas com possibilidade de alterar facilmente a seqüência
Classe 4	Robô play-back	Repete a seqüência de movimentos segundo uma programação que posiciona fisicamente a ponta do robô, ou através de um ensinamento
Classe 5	Robô sem título	Utiliza sistemas de coordenadas cartesianas
Classe 6	Robô inteligente	Utiliza sensores mais sofisticados, com visão, tato, etc. e com decisões estabelecidas por inteligência artificial

A Tabela 3.2 sumariza a classificação segundo a *Association Française de Robótica Industrielle* (AFRI).

Tabela 3.2 – Classificação segundo a AFRI.

Tipo A	Classe 1	Manipulador com controle manual ou por telecontrole
Tipo B	Classe 2 e 3	Manipulação automática com um ciclo predeterminado
Tipo C	Classe 3 e 4	Robô programável, posicionado por servomotores (trajetória contínua ou ponto a ponto), conhecido como primeira geração de robôs
Tipo D	Classe 6	Equipado com transdutores de posição, e com outros tipos de transdutores, também conhecidos como segunda geração de robôs

3.3 – Classificação Baseada no Controle da Trajetória

Os robôs são classificados, quanto ao controle da trajetória, em:

- Robôs não-servocontrolados
- Robôs servocontrolados



Robôs não-servocontrolados

Este tipo de robô possui um sistema de malha aberta para o comando dos atuadores. O posicionamento é dado por uma chave de fim-de-curso, que liga e desliga o controle do manipulador. Este tipo de robô é o mais simples sendo conhecido por robô “bang-bang”, “pick and place” ou de seqüência limitada.

A programação deste robô é feita pela determinação da seqüência de movimentos desejada e pelo posicionando das chaves de fim-de-curso de cada eixo do manipulador, em função do trabalho a ser executado.

Características dos robôs não-servocontrolados:

- Velocidades altas;
- Boa repetibilidade;
- Baixo custo;
- Grande confiabilidade;
- Flexibilidade limitada em termos de capacidade de programação e posicionamento;
- Grande número de aplicações nas indústrias, por exemplo, na transferência de peças.

Robôs servocontrolados

Neste tipo de robô, o comando dos atuadores é feito em malha fechada com realimentação de posição, velocidade e aceleração. A maior vantagem deste tipo de controle é que o robô pode ser posicionado em qualquer ponto do trabalho, utilizando valores de referência armazenados em memórias.

Vantagens dos robôs servocontrolados

- Maior flexibilidade na programação;
- Possibilidade de controle de posicionamento, velocidade e aceleração do manipulador.

A memória de tarefas dos robôs servocontrolados tem sido implementada de diversas maneiras, sendo mais comuns as baseadas em discos flexíveis, fitas magnéticas, discos rígidos e memórias de bolhas magnéticas, principalmente pelo fato de serem meios não-voláteis de armazenamento. Memórias do tipo EPROM também são utilizadas em robôs em que não é necessária uma mudança muito freqüente de seus programas.

3.4 – Especificações Estáticas

Com base nas dimensões do corpo, braço e dos limites dos movimentos das juntas do robô, o volume de trabalho de cada robô pode ser determinado.

A Tabela 3.3 apresenta um resumo dos volumes de cada geometria de objetos, considerando que todos os elos do robô têm comprimento L (m).

Tabela 3.3 – Cálculo do volume de cada geometria de robôs.

ROBÔ	VOLUME
CARTESIANO	$V = L \cdot L \cdot L = L^3$
CILÍNDRICO	$altura = L, raio = 2L$ $V = \pi (2L)^2 \cdot L = 4\pi L^3$
ESFÉRICO	$raio = 2L$ $V = \frac{4\pi}{3} (2L)^3 = \frac{32\pi}{3} L^3 \approx 33,51 L^3$
REVOLUTO	$raio = 2L$ $V = \frac{4\pi}{3} (2L)^3 = \frac{32\pi}{3} L^3 \approx 33,51 L^3$

3.5 – Especificações Cinemáticas

Velocidade do sistema

O tempo para efetuar uma tarefa é de grande interesse para o usuário. A velocidade máxima da junta (angular ou linear) não é um valor independente. É usualmente limitada pela máxima velocidade dos servomotores.

Para robôs com altas acelerações, mesmos pequenos movimentos ponto a ponto podem ter sua velocidade limitada. A velocidade máxima é normalmente especificada em relação à carga a ser movimentada pelo robô.

Aceleração do sistema

Nos robôs modernos, visto que a carga a ser manipulada é menor que a carga dos guindastes, uma parcela bastante grande da potência é reservada para acelerações. Em um sistema de alto desempenho, a aceleração é um parâmetro mais importante que a velocidade e a capacidade de carga.

3.6 – Especificações Dinâmicas

Capacidade de carga (*payload*)

É a carga máxima de trabalho que o robô pode suportar no espaço de trabalho. São dois conjuntos de informações:

- A carga máxima que pode ser movimentada na situação (posição) mais favorável.
- A carga efetiva com a qual o robô pode trabalhar em qualquer ponto do seu espaço de trabalho.

Vida de componentes e ciclos de cargas

Os três subconjuntos inseridos em robôs eletricamente acionados que mais apresentam problemas são as escovas dos motores, os comutadores do motor, os dentes de engrenagens (escorregamento e fadiga) e os campos de sinais de potência (cabeamento). O MTBF (tempo médio entre falhas) pode ser de 2.000 horas, mas com uma manutenção preventiva adequada pode-se atingir até 5000 horas.

Confiabilidade

A confiabilidade do robô pode ser definida como a relação entre o tempo não-disponível e o tempo total disponível do robô. Pode ser visualizada por meio de um gráfico da frequência de defeitos.

Elementos de um Robô

Um robô compõe-se de atuadores cujos movimentos podem ser lineares ou rotacionais, dependendo da configuração do robô. Geralmente os atuadores usam como fonte primária de força, o ar comprimido, o fluido pressurizado ou a eletricidade.

4.1 - Atuadores

Os atuadores são dispositivos que convertem uma força qualquer em força motriz efetiva para movimentar as juntas do robô.

Os atuadores devem possuir as seguintes características essenciais:

- Baixo peso no momento de inércia;
- Grandes intervalos de velocidade;
- Boa relação entre torque/peso e potência/peso;
- Rigidez mecânica.

Os atuadores podem ser divididos em três grupos, conforme a fonte geradora:

- Atuadores hidráulicos;
- Atuadores pneumáticos;
- Atuadores elétricos.

4.1.1 Atuadores Pneumáticos e Hidráulicos

Os atuadores pneumáticos e hidráulicos são acionados por fluidos em movimento. No primeiro caso, o fluido é o ar comprimido e, no segundo, o fluido é geralmente óleo pressurizado. A operação desses atuadores é geralmente semelhante, exceto por sua capacidade para conter a pressão do fluido.

O atuador pneumático é geralmente reservado para robôs de menor porte, que possuem menor grau de liberdade (movimentos de duas a quatro juntas). Esses robôs estão freqüentemente limitados à simples operação de “pegar e colocar” em ciclos rápidos. O atuador pneumático pode ser facilmente adaptado ao acionamento de pistões, para suprir movimento de translação das juntas de deslizamento ou para movimentos rotacionais. [2]

Os componentes mais utilizados nos robôs industriais, estão mostrados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Componentes hidráulicos e pneumáticos.

FONTE	COMPONENTE	MOVIMENTO	APLICAÇÃO
Hidráulica	Motores	Rotacional	Robôs de grande porte
	Pistões	Linear	
Pneumática	Motores	Rotacional	Robôs pequenos Robôs simples
	Pistões	Linear	Garras ou órgãos terminais

Os símbolos dos componentes pneumáticos ou hidráulicos, de acordo com a norma ISO 1219 utilizados na confecção de circuitos, encontram-se no ANEXO I, Tabela 1 .

Um sistema pneumático, para que tenha um funcionamento adequado, exige diversos componentes, desde compressor até variados tipos de atuadores.

Tipos de componentes pneumáticos

- 1) Cilindros;
- 2) Válvulas;
- 3) Pressostato e silenciador;
- 4) Unidade de conservação;
- 5) Elementos de vácuo e acessórios.

1) Cilindros pneumáticos

Os cilindros são diferenciados por suas características de funcionamento e detalhes construtivos.

Tipos de cilindros

- Cilindros de ação simples;
- Cilindros de dupla ação;
- Cilindros com êmbolo magnético para detecção sem contato direto;
- Unidade combinada linear/rotativa série DSL.

• Cilindros de ação simples

Nestes cilindros o ar comprimido é aplicado em apenas uma câmara. Quando o ar é exaurido, o êmbolo retorna à sua posição inicial por meio de uma mola nele incorporada.

Estes cilindros são utilizados principalmente para movimentação de peças em operações de montagem.

A Figura 4.1 apresenta o tipo de cilindro de ação simples.[3]

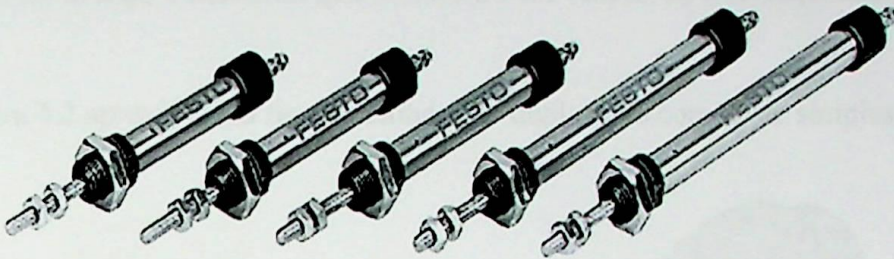


Figura 4.1 – Cilindros de ação simples.

Os padrões de cilindros de ação simples mais usados estão mostrados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Padrões comerciais dos cilindros de ação simples.

Tipo	ESN-.../ESNU-...					
Ø do cilindro (mm)	8	10	12	16	20	25
Força de avanço (N)	20	35	50	90	148	250
Conexão	M5	M5	M5	M5	G 1/8	G 1/8
Cursos padrões (mm)	10	10	10	10	10	10
	25	25	25	25	25	25
	50	50	50	50	50	50
Pressão de trabalho máxima admissível: 10 bar. Forças em Newton, referência a 6 bar (valores teóricos).						

• Cilindros de dupla ação

Os cilindros de dupla ação são dos seguintes tipos:

- Cilindros com hastes simples;
- Cilindros de múltiplas posições;
- Cilindros “tandem”;
- Cilindros giratórios.

Cilindros com haste simples

Esses cilindros trabalham em dois sentidos com os movimentos de avanço e retorno do êmbolo, efetuados pelo do ar comprimido.

A força no avanço é maior do que no retorno em função da diferença de áreas efetivas do êmbolo.

A Figura 4.2 apresenta um tipo de cilindro de dupla ação com haste simples.[3]



Figura 4.2 – Cilindro de dupla ação com haste simples.

Os padrões de cilindros de dupla ação mais usados estão mostrados na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Padrões comerciais dos cilindros de dupla ação.

Tipo	DSN-.../DSNU-...-A					
Ø do cilindro	8	10	12	16	20	25
Força de avanço (N)	24	40	55	104	170	267
Força de retorno (N)	16	32	38	87	140	220
Conexão	M5	M5	M5	M5	G 1/8	G 1/8
Cursos mín.-máx. (mm)	DSN-.../DSNU-...-A					
	10- 100	10- 100	10- 200	10- 200	10- 320	10- 500
Pressão de trabalho máxima admissível: 10bar. Forças em Newton, referência a 6 bar.						

- **Cilindros de múltiplas posições**

Com estes cilindros pode-se obter três a quatro posições, dependendo das combinações dos controles e dos cursos correspondentes.

A Figura 4.3, apresenta o tipo de cilindro de dupla ação de múltiplas posições.[3]

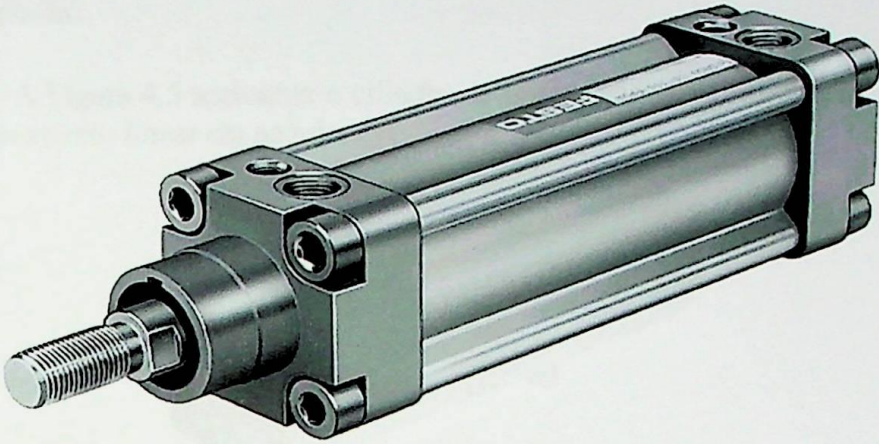


Figura 4.3 – Cilindro de dupla ação de múltiplas posições.

- **Cilindros “tandem”**

Com dois ou mais cilindros unidos em série num mesmo corpo, consegue-se com um mesmo diâmetro, quase dobrar a sua força.

A Figura 4.4 apresenta o tipo de cilindro de dupla ação tandem.[3]

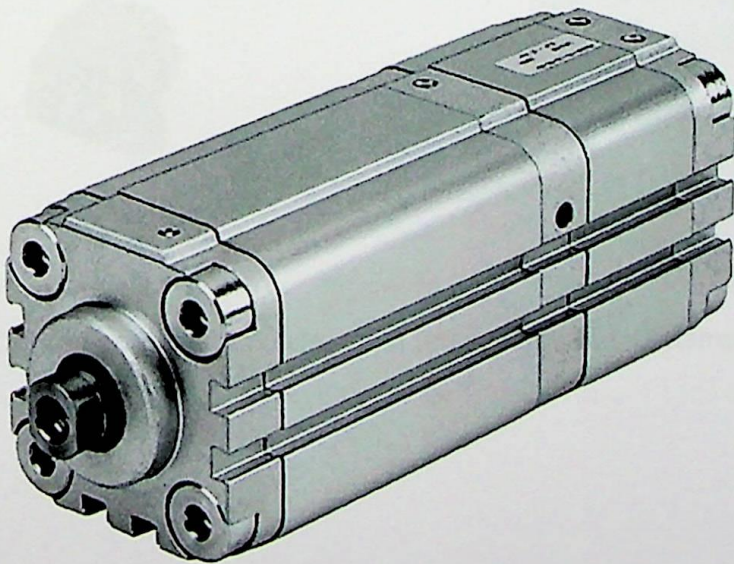


Figura 4.4 – Cilindro de dupla ação tandem.

Cilindros giratórios

Existem dois tipos:

- Cilindro em que se consegue um movimento circular, através da transformação de um movimento linear em angular;
- Cilindro em que se consegue um movimento circular, diretamente da força aplicada no êmbolo.

A Figura 4.5 apresenta o cilindro de dupla ação giratório, que atua pela transformação de um movimento linear em angular.[3]

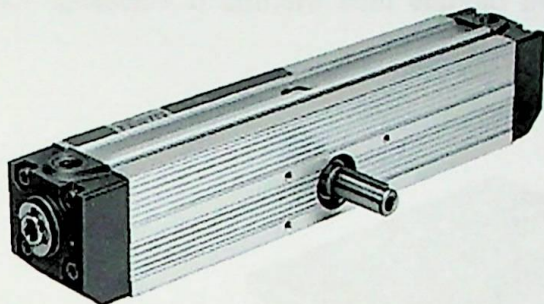


Figura 4.5 – Cilindros de dupla ação giratório, que transforma movimento linear em angular.

A Figura 4.6 apresenta um cilindro de dupla ação, em que a força é aplicada diretamente no êmbolo.[3]

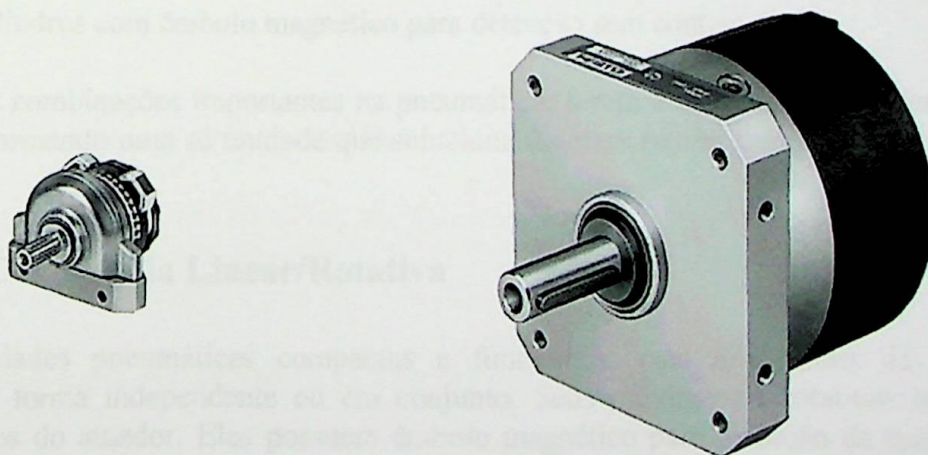


Figura 4.6 – Cilindro de dupla ação em que a força é aplicada diretamente no êmbolo.

- **Cilindros com êmbolo magnético para detecção sem contato direto**

Estes cilindros podem ser de ação simples ou dupla.

No êmbolo do cilindro é acoplado um ímã permanente cujo campo magnético aciona os detectores de proximidade sem contato.

Sobre estes cilindros pode-se acoplar um ou vários detectores de proximidade sem contato sobre os suportes de guia. Com estes cilindros é possível detectar as posições finais e intermediárias dos cilindros pneumáticos.

A Figura 4.7 apresenta o cilindro com êmbolo magnético para detecção sem contato direto.[3]

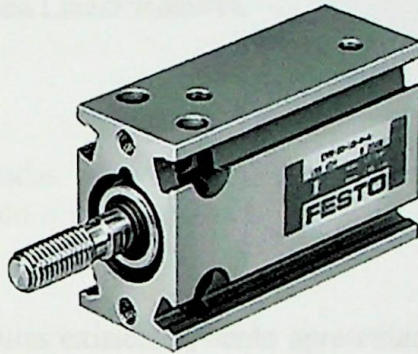


Figura 4.7 – Cilindros com êmbolo magnético para detecção sem contato direto.

Uma das combinações importantes na pneumática, foram a união entre um atuador linear e um rotativo, formando uma só unidade que soluciona diversas tarefas nas áreas de montagem e manipulação.

- **Unidade Combinada Linear/Rotativa**

São unidades pneumáticas compactas e funcionais, com dois graus de liberdade, comandados de forma independente ou em conjunto. Seus movimentos rotativos incorporam todos os recursos do atuador. Eles possuem êmbolo magnético para detecção de posições sem contato direto e permite o ajuste do ângulo de deslocamento.

A Figura 4.8 apresenta uma Unidade Combinada Linear/Rotativa.[3]

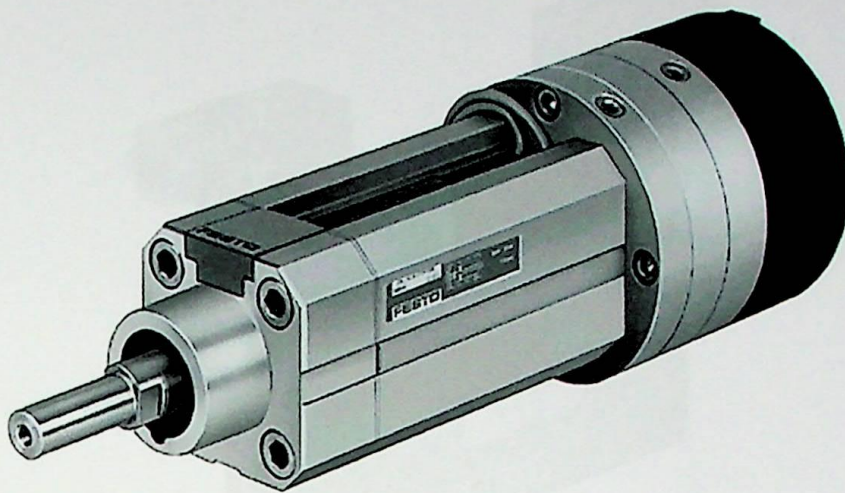


Figura 4.8 – Unidade Combinada Linear/Rotativa.

2) Válvulas pneumáticas

As válvulas são utilizadas para comandar os cilindros pneumáticos (elementos de trabalho), utilizando como fluido o ar comprimido ou vácuo. São designadas segundo a função que desempenham.

Dentre as diversas válvulas existentes, serão apresentadas somente a válvula elétrica 5/3 de centro fechado, a válvula reguladora de fluxo unidirecional e a válvula de retenção, que são os tipos mais utilizados em robôs.

- **Eletroválvula 5/3 de centro fechado**

A válvula de 5 vias e 3 posições, consegue parar o movimento em qualquer ponto de escolha, pois possui uma posição central com a finalidade de bloquear a passagem de ar do sistema. O comando desta válvula é através de duas bobinas.

A Figura 4.9 apresenta um tipo de válvula 5/3 de centro fechado.[3]

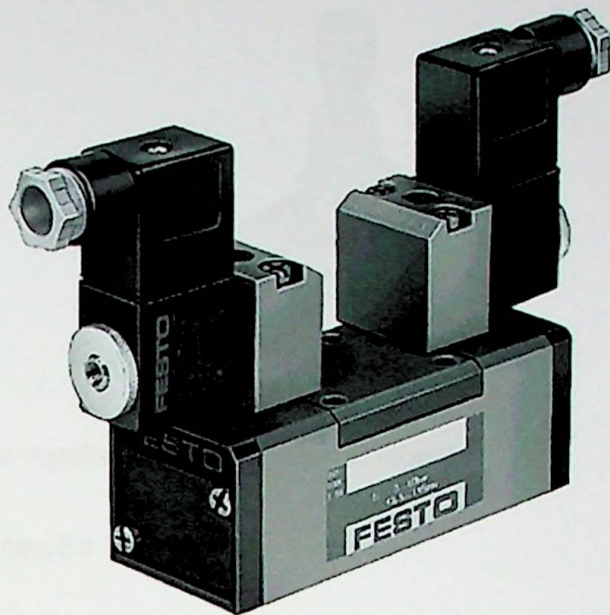


Figura 4.9 – Eletroválvula 5/3 de centro fechado.

Visto que os robôs pneumáticos são controlados por software, e recebem os sinais de comando pela interface, as válvulas pneumáticas são comandadas por bobinas elétricas, eliminando as válvulas de acionamento manual.

As válvulas modernas são montadas em terminais, com vários tipos de conexão. Trata-se de uma geração de válvulas modernas com uma grande variedade de funções. Esta série oferece alta vazão e larguras muito pequenas, o que proporciona economia de espaço e menor peso. As válvulas podem ser montadas diretamente no atuador e também em partes móveis das máquinas. Oferecem máxima potência em um espaço reduzido.

- **Válvula reguladora de fluxo unidirecional**

São utilizadas para ajustar a velocidade dos elementos de trabalho em sistemas pneumáticos.

A Figura 4.10 apresenta a válvula reguladora de fluxo unidirecional.[3]

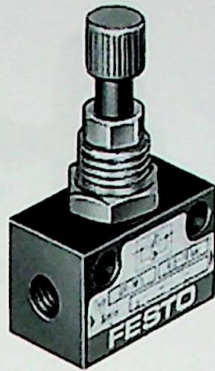


Figura 4.10 – Válvula reguladora de fluxo unidirecional.

- **Válvula de retenção**

Na válvula de retenção o ar comprimido só pode passar em um único sentido, no outro, é bloqueado.

A Figura 4.11 apresenta um exemplo de válvula de retenção.[3]



Figura 4.11 – Válvula de retenção.

3) Pressostato e silenciador

- **Pressostato**

O pressostato tem a função de fechar ou abrir um contato elétrico quando a pressão alcançar um valor previamente ajustado.

A Figura 4.12 apresenta um pressostato ajustável.[3]



Figura 4.12 – Pressostato ajustável.

- **Silenciador**

Silenciadores são utilizados para diminuir o ruído de exaustão das válvulas pneumáticas, através da redução da velocidade do ar.

Os silenciadores garantem uma dupla redução do ruído de exaustão sem muita influência na velocidade da haste do pistão de um cilindro pneumático.

A Figura 4.13 apresenta um tipo de silenciador utilizado para diminuir o ruído de exaustão das válvulas pneumáticas.[3]

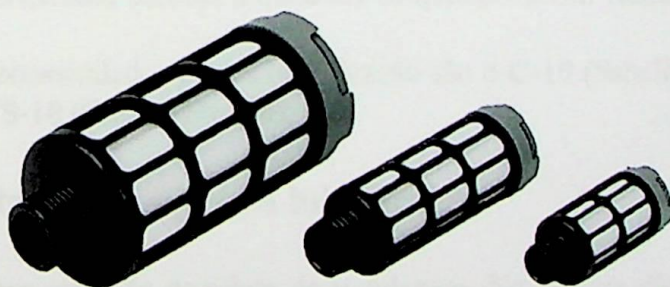


Figura 4.13 – Silenciador pneumático.

4) Unidade de conservação

A segurança de funcionamento e a vida de uma instalação pneumática dependem consideravelmente da preparação do ar comprimido.

As impurezas do ar comprimido, partículas microscópicas, ferrugem e poeira, assim como partículas líquidas contidas no ar, como água condensada, podem causar grandes danos às instalações pneumáticas. Essas impurezas provocam o desgaste prematuro das superfícies deslizantes e dos elementos de vedação, influenciando sobremaneira no funcionamento e na vida dos elementos pneumáticos.

A frequência de partida e parada do compressor origina oscilações na pressão que influem negativamente no funcionamento da instalação.

Para se eliminar estas influências nocivas devem ser empregadas em cada comando pneumático, as unidades de conservação para ar comprimido.

Funcionamento das unidades de conservação

Os filtros de ar comprimido eliminam do ar as partículas sólidas e auxiliam na remoção da umidade.

As partículas maiores de $40\ \mu\text{m}$ (depende do elemento filtrante) serão retidas por um filtro sinterizado. Mediante uma instalação especial são separadas os líquidos para o recipiente do filtro. A condensação acumulada no recipiente do filtro deve ser drenada, pois, caso contrário, pode ser arrastada pelo ar.

A válvula reguladora de pressão mantém a pressão de trabalho (pressão secundária) constante, independente das oscilações da pressão na rede (pressão primária) e do consumo de ar. A pressão de entrada deve ser sempre maior que a pressão de trabalho.

O lubrificador de ar comprimido tem a função de proporcionar aos elementos pneumáticos suficiente lubrificação. O óleo é aspirado de um recipiente e nebulizado pelo contato com o ar fluente. O lubrificador começa a trabalhar só quando existir fluxo de ar suficiente.

Alguns óleos recomendados para a lubrificação são o C-10 (Shell Tellus), 10 (Spinesso), MA-10 (Maxlub), AWS-10 (Castrol Hyspin), etc.

Quantidade de gotas de óleo para a lubrificação

Determina-se por meio de parafuso de regulagem. Na prática são suficientes de 1 a 12 gotas/1000 l de ar.

Elementos de baixa pressão ou sensores exigem uma pré-filtragem e depois uma filtragem submicrônica. Deve-se evitar um fornecimento enriquecido de ar com óleo, pois podem surgir interferências no funcionamento dos equipamentos da instalação.

A Figura 4.14 apresenta uma unidade de conservação.[3]

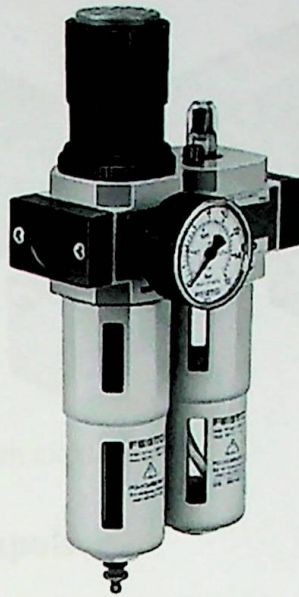


Figura 4.14 – Unidade de conservação.

5) Elementos de vácuo e acessórios

- Elementos de vácuo

Os elementos utilizados na técnica de vácuo são:

- Gerador de vácuo;
- Ventosas.

Gerador de vácuo

Os tipos mais utilizados de geradores de vácuo são “com expulsor” e “sem expulsor”. Os dois tipos podem ser eletropneumáticos ou não.

• Gerador de vácuo sem expulsor

Estes geradores de vácuo baseiam-se no funcionamento do tubo Venturi, gerando um vácuo de $-0,8$ bar quando alimentados com uma pressão de 6 bar. Combinados com as ventosas, podem aspirar e fixar peças que tenham as superfícies apropriadas.

A Figura 4.15 apresenta um gerador de vácuo sem expulsor.[3]

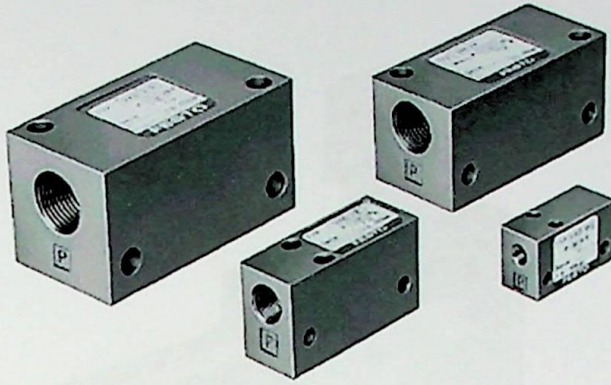


Figura 4.15 – Gerador de vácuo sem expulsor.

- **Gerador de vácuo com expulsor**

Este tipo de gerador conta com um acumulador de pressão para expulsar rapidamente as peças aspiradas.

A Figura 4.16 apresenta um gerador de vácuo com expulsor.[3]

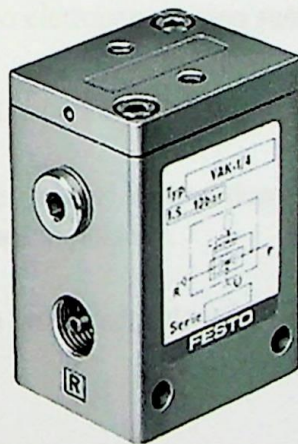


Figura 4.16 – Gerador de vácuo com expulsor.

- **Gerador de vácuo eletropneumático sem expulsor**

Nestes geradores de vácuo, a alimentação de ar é regulada através de uma eletroválvula integrada (conexão e desconexão do vácuo).

A Figura 4.17 apresenta um gerador de vácuo com eletroválvula sem expulsor.[3]

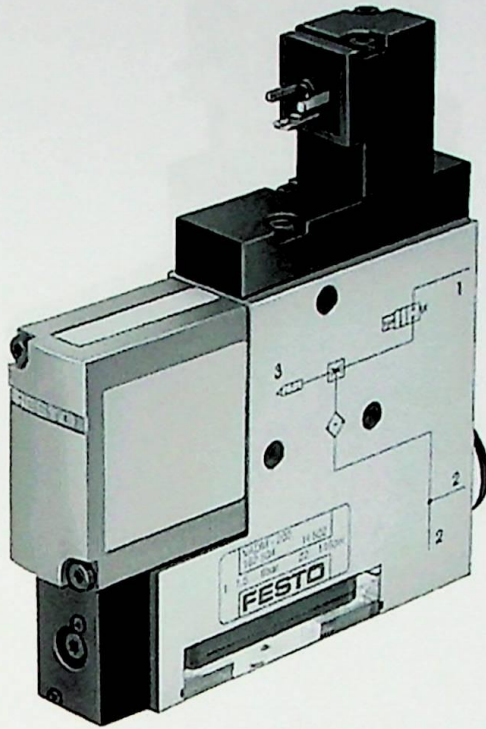


Figura 4.17 – Gerador de vácuo eletropneumático sem expulsor.

- **Gerador de vácuo eletropneumático com expulsor**

Neste tipo de gerador é produzida uma desaceleração do vácuo por intervenção de uma segunda eletroválvula (pulso para expulsão).

A Figura 4.18 apresenta um gerador de vácuo eletropneumático com expulsor.[3]

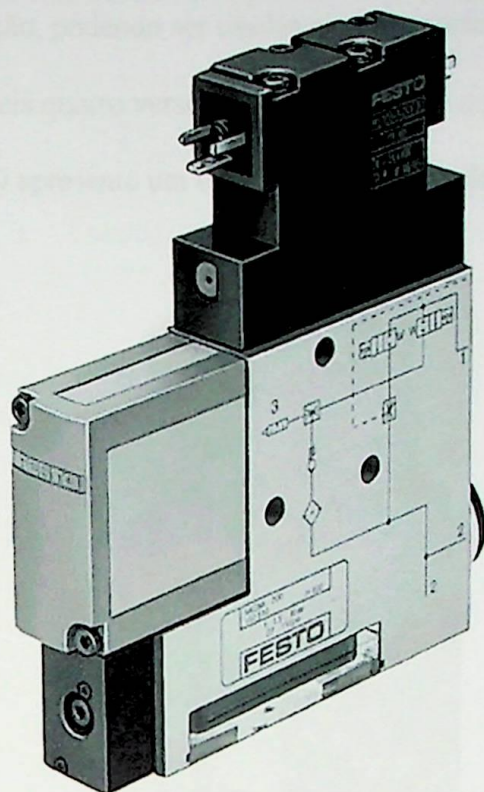


Figura 4.18 – Gerador de vácuo eletropneumático com expulsor.

Ventosas

As ventosas são utilizadas para aspirar e fixar peças com superfícies lisas, irregulares, onduladas ou inclinadas.

A Figura 4.19 apresenta algumas ventosas.[3]

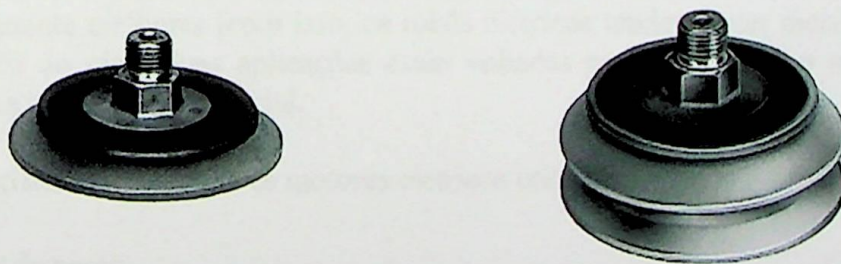


Figura 4.19 – Ventosas.

- Acessórios

Os principais acessórios dos robôs são as garras pneumáticas.

As garras pneumáticas são especialmente projetadas para execução de trabalhos de sujeição e manipulação, podendo ser usadas em transporte, posicionamento e rotação de peças.

São disponíveis quatro versões, radial, angular e com três castanhas.

A Figura 4.20 apresenta um tipo de garras pneumáticas.[3]

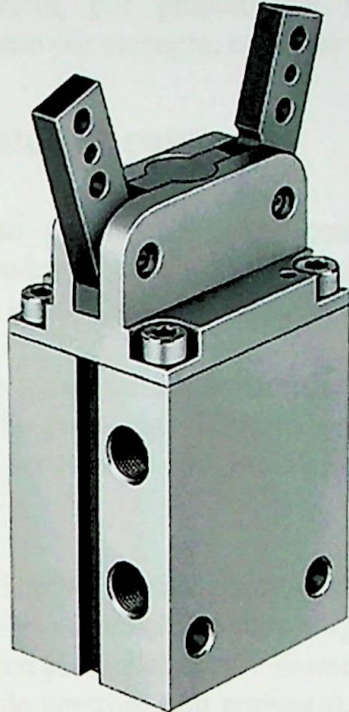


Figura 4.20 – Garras pneumáticas.

4.1.2 Atuadores elétricos

Os sistemas de acionamento elétrico geralmente não têm tanta velocidade ou potência quanto os sistemas hidráulicos, mas a precisão e repetibilidade dos robôs de acionamento elétrico são geralmente melhores [com isso, os robôs elétricos tendem a ser menores, requerendo menos espaço útil do piso. Suas aplicações estão voltadas para um trabalho mais preciso, como por exemplo, a montagem industrial.

Existem vários tipos de motores elétricos utilizados em robôs:

- Motores de passo;
- Motores de corrente contínua;
- Motores de corrente alternada;
- Servo motores;
- Motor de corrente contínua sem escovas (brushless).

MOTORES DE PASSO

Os motores de passo recebem uma seqüência de tensões de controle, (que excitam ou não os pólos de seu indutor), giram o seu eixo de um determinado grau de acordo com essa seqüência. O deslocamento depende do número de passos e a velocidade, do número de passos por unidade de tempo. Esse tipo de motor não é utilizado normalmente nos RI, devido à sua desfavorável relação peso/potência. Todavia, por proporcionar maior economia, são empregados nos microrrobôs mais recentes, como por exemplo, no órgão terminal.

Funcionamento do motor de passo

Os motores de passo podem ser vistos como motores elétricos sem comutadores. Tipicamente, todos os bobinados no motor são parte do estator, e o rotor geralmente é um imã permanente ou de indutância variável com um bloco dentado de algum material magnético suave.

Toda comutação deve ser dirigida externamente pelo controlador do motor, e tipicamente, os motores e controladores são projetados de forma que o motor possa ser mantido em qualquer posição fixa, como também, ser movido com meios passos ou passos completos, para ambos os lados.

Motores de passo podem ser usados em simples sistemas de controle sem realimentação, pois são adequados para baixas acelerações e para cargas estáticas. A realimentação de controle pode ser essencial para acelerações altas, particularmente se envolver cargas variáveis. Se um motor de passo em sistema de controle sem realimentação é sobrecarregado, todos os dados de posição do rotor são perdidos e o sistema deve ser reinicializado.

Os motores de imã permanente tendem a “prender” quando o rotor é acionado com os dedos, enquanto motores de indutância variáveis giram quase que livremente (embora eles possam prender ligeiramente por causa do magnetismo residual no rotor). Motores de indutância variáveis normalmente têm três (às vezes quatro) bobinados, com um retorno comum, enquanto motores de imã permanentes normalmente têm dois bobinados independentes, com ou sem pontos em comuns de retorno.

Tipos de motores de passo

- Motores de passo com indutância variável

A Figura 4.21 mostra um motor de passo de indutância variável, em corte.

Motores de passo unipolares

A Figura 4.21 ilustra um motor de passo unipolar.

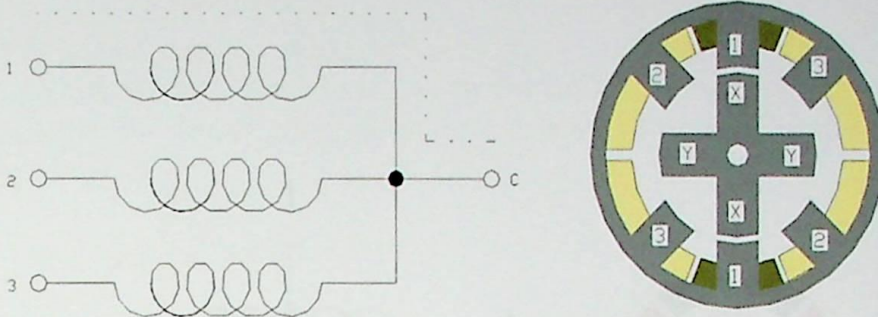


Figura 4.21 - Motor de passo com indutância variável.

O motor ilustrado na Figura 4.21, de 30° por passo, de indutância variável, tem três bobinados, conectados com um terminal comum a todos. Geralmente, o fio comum fica na alimentação positiva e os bobinados são energizados em seqüência. O rotor neste motor tem 4 dentes e o estator tem 6 pólos, com cada bobinado enrolado ao redor de dois pólos opostos. Com o bobinado número 1 energizado, os dentes do rotor marcado com X são direcionados aos pólos deste bobinado. Se a corrente do bobinado 1 for desligada e o bobinado 2 alimentado, o rotor girará 30° à direita, de forma que os pólos Y se alinhem com o bobinado 2. Para girar este motor continuamente, aplica-se uma seqüência de controle para os três bobinados. Por exemplo, sendo 1 a representação da variação de corrente por um bobinado do motor, a seqüência de controle a seguir, girará o motor de 24 passos ou 2 revoluções.[4]

Bobinado 1

1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Bobinado 2

0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Bobinado 3

0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

- Motores de passos unipolares

A Figura 4.22 ilustra um motor de passo unipolar.

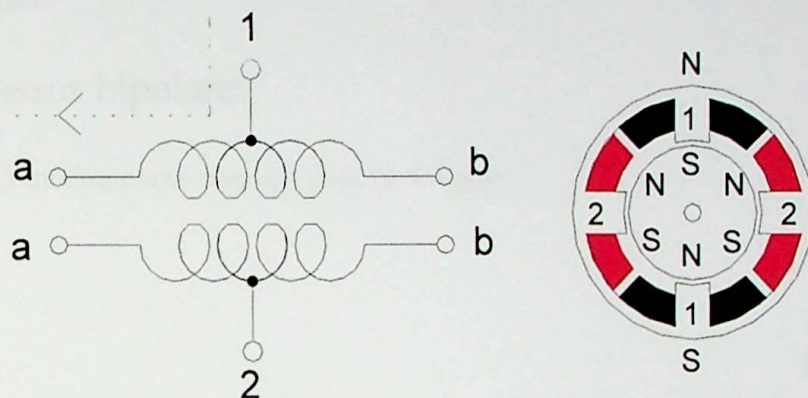


Figura 4.22 - Motor de passo unipolar com ímã permanente.

Os motores de passo unipolares, com ímã permanente ou híbridos com 5 ou 6 fios, são normalmente montados como mostra a Figura 4.22, com um dreno no centro de cada dois bobinados. Na prática, o centro dos bobinados é ligado à alimentação positiva, e as duas terminações de cada bobinado são aterradas alternadamente para inverter a direção do campo provido pelo bobinado.

O motor cuja seção transversal está mostrada na Figura 4.22 é um motor de ímã permanente ou híbrido com 30° por passo. O bobinado número 1 é repartido entre os polos de topo e do fundo do estator, enquanto o bobinado número 2 é distribuído entre os polos direito e esquerdo. O rotor é um ímã permanente com 6 polos, 3 sul e 3 norte, organizados ao redor de sua circunferência.

Para resoluções angulares mais altas, o rotor tem que ter mais polos em números proporcionais. O motor de 30° por passo na Figura 4.22 é um dos motores de ímã permanentes mais comuns, embora 15° e $7,5^\circ$ por passo sejam também encontrados com facilidade. Motores de ímã permanente apresentam resoluções de $1,8^\circ$ por passo. São disponíveis motores híbridos de $3,6^\circ$ e $1,8^\circ$ por passo, com resoluções de até $0,72^\circ$ por passo.

Como mostra a Figura 4.22, a corrente que flui do ponto comum de centro ao fim do bobinado 1 causa a movimentação do estator do topo para um pólo norte, enquanto o pólo do estator no fundo gira para um pólo sul. Isto atrai o rotor na posição mostrada. Se a tensão no pólo 1 for removida e o pólo 2 energizado, o rotor virará 30° por passo.

Para girar o motor continuamente, aplica-se uma seqüência de tensão para os dois bobinados. Por exemplo, sendo 1 a representação da variação de corrente por um bobinado, as duas sucessões seguintes de controle girarão o motor ilustrado na Figura 4.22 para a direita de 24 passos ou 4 revoluções.

- Motores de passos bipolares

A Figura 4.23 mostra como o motor bipolar é ligado.

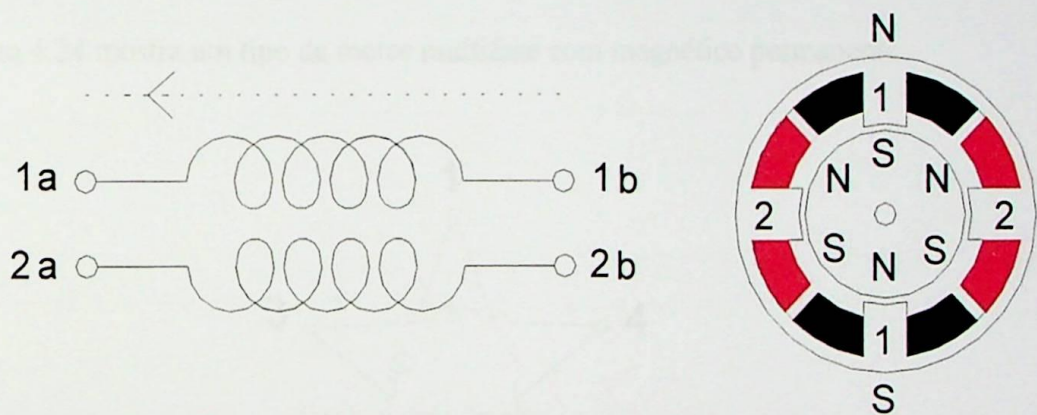


Figura 4.23 - Motor bipolar com ímã permanente.

Os motores bipolares, ilustrados na Figura 4.23, com ímãs permanentes e híbridos, são construídos da mesma forma que os motores unipolares, mas o bobinado não tem o ponto central em comum, como no tipo anterior. Assim o motor é mais simples, porém o mecanismo de controle deve inverter a polaridade aplicada a cada par de pólos do motor, o que é mais complexo.

Para fazer a movimentação do motor basta seguir a seqüência a seguir, onde foram utilizados os sinais + e - para indicar a polaridade dos terminais.

Terminal 1a

+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Terminal 1b

-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Terminal 2a

-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Terminal 2b

-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

- Motores de passo multifase

A Figura 4.24 mostra um tipo de motor multifase com magnético permanente.

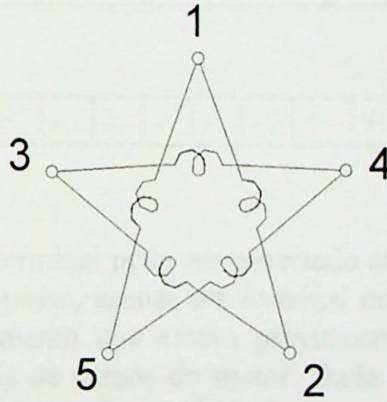


Figura 4.24 - Motor de passo multifase.

Um tipo incomum de motor de passo com magnético permanente é um com ligação em todos os seus enrolamentos, formando uma série cíclica, com uma tomada em cada par de enrolamento do ciclo. Os tipos mais comuns desta categoria de motores, usam ligações de 3 e 5 fases.

O controle exigido para esses motores pode ser uma meia ponte em “H” para cada terminal do motor. Esses motores podem fornecer mais torque, apesar de seu reduzido tamanho, devido ao modo de enrolamento e devido ao fato de serem os enrolamentos (exceto um do motor) energizados em seus respectivos terminais a cada ciclo do motor. Alguns motores de 5 fases têm alta resolução, da ordem de $0,72^\circ$ por passo (500 passos por revolução). Com um motor de 5 fases, há 10 passos por repetição no ciclo de passos, como mostra a sequência a seguir:

Terminal 1

+	+	+	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Terminal 2

-	-	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	-	-	-
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Terminal 3

+	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	+	+	+	+
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Terminal 4

+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Terminal 5

-	-	-	-	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	-
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Neste tipo de motor, cada terminal pode ser conectado ao positivo ou negativo do sistema de alimentação. Note que, a cada passo, apenas um terminal muda de polaridade. Esta mudança remove a alimentação do enrolamento que estava previamente alimentado para aplicá-la ao enrolamento seguinte da seqüência de passos do motor. Dada a geometria do motor, mostrada pela Figura 4.24, a seqüência de controles poderá dar uma volta no motor através de duas revoluções.

Para distinguir um motor de 5 fases de outros motores com 5 comandos, observa-se que, se a resistência entre dois terminais consecutivos de um motor de 5 fases for R , a resistência entre dois terminais não consecutivos será $1.5R$.

Alguns motores de 5 fases têm 5 enrolamentos do motor separados, com um total de 10 comandos. Eles podem ser conectados na configuração estrela apresentada na Figura 4.24, usando-se 5 circuitos excitadores de meia ponte, ou cada enrolamento pode ser conectado a um circuito de ponte completa.

2) MOTORES DE CORRENTE CONTÍNUA

São os mais empregados nos RI, por possuírem técnicas de regulação de velocidade muito precisas, bem como pouco peso e reduzida inércia no rotor.

Funcionamento do motor CC

Os principais componentes do motor de CC são o rotor e o estator. Quando a corrente passa por um par de escovas, a bobina correspondente a esse par gera um campo magnético, que se opõe ao campo magnético do estator. Quando isso ocorre, o rotor gira para alinhar os dois campos magnéticos e, ao girar, conecta outro par de escovas. Com isso, o campo magnético desloca-se para a bobina correspondente a esse novo par de escovas e assim sucessivamente.

3) MOTORES DE CORRENTE ALTERNADA

São os de melhor relação peso/potência, mas muito pouco utilizados, devido à dificuldade de funcionamento em velocidade variável. Com a utilização de variadores de frequência, o seu uso pode ser ampliado.[1]

4) SERVOMOTORES

Estes motores requerem sistemas de controle de realimentação. Podem empregar um potenciômetro para prover a realimentação sobre a posição do rotor, e um circuito para controlar a corrente de motor (inversamente proporcional à diferença entre a posição desejada e a posição atual).

Os servomotores são divididos em dois tipos:

- Servomotor CC
- Servomotor CA

Servomotor CC

Basicamente um servomotor CC, é constituído de dois motores CC conectados pelos seus eixos, sendo que um deles trabalha como motor CC e o outro como gerador. Portanto, quando é aplicada uma tensão elétrica no motor CC, obtém-se a tensão elétrica correspondente na saída do gerador.

Através da tensão elétrica do gerador é possível controlar a tensão elétrica aplicada ao motor CC, e assim, controlar a velocidade do conjunto.

Alguns servomotores possuem um circuito eletrônico que executa essa função de controle, e nesse caso é possível variar a velocidade. Outros possuem uma ligação interna que executa uma redução de velocidade automática, e nesse caso não há possibilidade de variar a velocidade.

Muitos servomotores possuem uma caixa de engrenagens na saída do eixo. Nessa caixa de engrenagens está lacrada a parte integrante do conjunto do servomotor. Em alguns casos, o servomotor não tem o tacogerador, somente possuem a caixa de engrenagens.

Quando o servomotor possui uma caixa de engrenagens, terá no seus dados técnicos, uma informação adicional, a razão entre a velocidade do eixo do motor e a velocidade do eixo de saída. No motor Pittman GM8712D622, por exemplo, a razão entre as velocidades é 6,3:1.[2]

A vantagem do uso desse tipo de atuador é poder reduzir a velocidade, com aumento de torque e diminuição no conjunto dos meios de transmissão.

Servomotor CA

Os servomotores CA do tipo sem escovas (brushless) são motores com ímãs permanentes. O rotor possui os ímãs e no estator ficam as bobinas para geração do campo.

Por possuírem ímãs no rotor, esses motores dispensam o uso de escovas (são livres de manutenção) e têm uma inércia de partida baixíssima, podendo atingir rotações elevadas em frações de segundo.

O controle desses motores é feito pelos servoconversores, também conhecidos como servoinversores. Esses servoconversores são conversores de frequência com controle por modulação PWM vetorial (torque constante) a realimentação é provida por “resolver”, que é uma espécie de codificador com bobinas dispostas em torno de um rotor com ímãs. Dependendo da posição do rotor do motor, é gerado um sinal que realimenta o servoconversor e que é comparado com um sinal de entrada, ser analógico ou digital, gerado pelo sistema onde o conjunto está inserido.

A combinação de servomotor e servoconversor é denominado “servoacionamento”. Os servoacionamentos podem operar em 3 modos:

- Controle de posição (usado em centrais de usinagem do tipo CNC);
- Controle de velocidade (usado em dosadores, bobinadores, puxadores, etc);
- Controle de torque (sistemas que requerem força constante).



5) Motor de corrente contínua sem escovas (brushless)

Seu funcionamento é similar ao motor CC. A diferença está na comutação das bobinas do rotor CC. A sequência de comutação das bobinas do rotor de um motor CC é produzida através de um sistema mecânico interno do motor, enquanto a sequência de comutação das bobinas do rotor no motor sem escovas CC é produzida através de um circuito eletrônico, que fica separado do motor. É um motor de corrente contínua CC em que a geração do conjugado é realizada através da tendência da parte móvel (rotor) mover-se para a posição em que a indutância dos enrolamentos de excitação (estator) é máxima. Os enrolamentos usualmente consistem num número de circuitos elétricos separados ou fase, que podem ser excitados separada ou juntamente. Na operação do motor, cada fase é normalmente excitada quando a indutância está crescendo. Quando a indutância está decrescendo a fase deixa de estar excitada.[2]

Seu funcionamento consiste numa parte fixa (estator) e numa parte móvel (rotor).

O rotor comporta-se como um elemento passivo, sem enrolamentos e sem ímãs permanentes.

O estator é alimentado eletronicamente de forma comutada, gerando um campo em movimento. A comutação é realizada através de um circuito de eletrônica de potência, no qual existem sensores para determinar a posição do rotor.

Quando um conjunto de enrolamentos do estator é ativado, um percurso de fluxo magnético é gerado envolvendo o rotor e os diversos enrolamentos. Ao rotor associa-se um binário que o vai fazer mover para uma posição em que o rotor fique em linha com o conjunto de enrolamentos que foi excitado. Conseqüentemente o percurso do fluxo diminui. Com uma comutação apropriada da alimentação dos diversos conjuntos de enrolamentos, o rotor fica habilitado a qualquer velocidade e binário desejados.

O rotor tem ainda a particularidade de o número de pares de pólos (ranhuras) ser inferior ao do estator (conjuntos de enrolamentos) em uma unidade. Isto se deve ao efeito da geometria do rotor, relativamente ao projeto do motor, o que permite, o melhor aproveitamento do fluxo para gerar o binário no rotor.[2]

Propriedades do motor sem escovas CC

- Não tem escovas;
- Não tem ímãs permanentes;
- O motor é CC;
- Há enrolamentos apenas no estator;
- Os sensores são necessários apenas para medir a posição do rotor;
- Controle para uma operação apropriada é feito eletronicamente;
- Binário e velocidade tem grandes variações disponíveis;
- Tem eficiência elevada;
- Inércia do rotor é reduzida;

- Tem elevada capacidade de aceleração;
- Requer pouca manutenção;
- Capacidade de respostas para variação na carga é elevada;
- Tem pequenas dimensões;
- Pode comportar-se como uma máquina assíncrona ou síncrona.

4.2 – Sistema de Transmissão

Para utilizar um atuador, nem sempre é possível encontrar as características exatas de velocidade ou torque para realizar as tarefas desejadas. Dependendo do caso, o atuador necessita ficar afastado da junta a ser manipulada, para que ele não se torne um peso extra ou para transformar um movimento rotacional em movimento linear.[1]

Algumas vezes torna-se necessário a utilização de transmissão de potência, que realiza duas funções: transmitir potência a distância e atuar como um transformador de movimento. Existem vários modos de realizar a transmissão mecânica de potência: correias e polias, correntes e rodas dentadas, engrenagens, eixos de transmissão, parafusos, entre outros.

4.2.1 - Correias e polias

As correias são cintas de borrachas, acopladas a duas peças, normalmente circulares, chamadas de polias, em que uma possui movimento e a outra é movimentada através do movimento da correia.[5]

As correias mais usadas são as planas e as trapezoidais.

- Correia em “V” ou trapezoidal

Este tipo de correia é inteiriça, fabricada com seção transversal em forma de trapézio. É feita de borracha revestida de lona e é formada no seu interior por cordéis vulcanizados para suportar as forças de tração, e são utilizadas em eixos paralelos.

- Valores máximos da correia em “V”

Potência 1500 CV
 Velocidade tangencial 26 m/s
 Relação de transmissão ideal até 1:8
 Relação de transmissão máxima 1:15
 O rendimento da transmissão é de 0,95 a 0,98

Cálculos de dimensionamentos das transmissões por correia em “V”

Dados necessários:

- Tipo do motor
- Potência do motor
- Rotação do motor
- Tipo de máquina ou equipamento
- Rotação da máquina ou equipamento
- Distância entre centros
- Tempo de trabalho diário da máquina

Potência projetada (NP)

$$N_p = N_{motor} \times F_s \quad (4.1)$$

onde:

$N_p =$ Potência Projetada (CV)

$N_{motor} =$ Potência motor (CV)

$F_s =$ Fator de serviço

1 CV = 735,5 W

Obs.:

A Tabela 1 do Anexo II fornece o fator de serviço relacionado aos diversos tipos de máquinas a serem projetadas.

Perfil da correia

O perfil da correia é encontrado em função da potência projetada e a rotação do eixo mais rápido, nas Figuras 1 e 2, do Anexo II.

Diâmetro das polias

Determina-se o diâmetro da polia menor em função da potência do motor (CV) e da rotação do eixo rápido (RPM). Obtém-se o diâmetro da polia maior multiplicando o diâmetro da polia menor pela relação de transmissão.

$$D = d \cdot i \quad (4.2)$$

onde:

D = diâmetro polia maior (mm)

d = diâmetro polia menor (mm)

i = Relação transmissão

A Figura 4.25, representa o aspecto das polias com a correia.

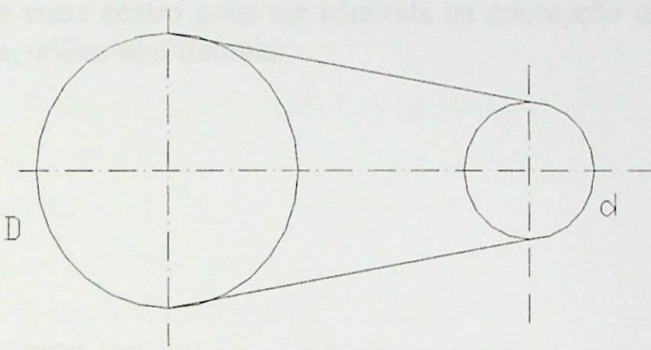


Figura 4.25 – Relação de transmissão das polias com a correia.

Relação de transmissão (i)

$$i = \frac{\eta_{maior}}{\eta_{menor}} \quad (4.3)$$

Nas reduções:

η_{maior} = rotação da polia motora = maior rotação (RPM)

η_{menor} = rotação da polia movida = menor rotação (RPM)

No Anexo II, encontra-se a Tabela 2 fornece o diâmetro externo mínimo recomendado para correias SUPER HC (em polegadas), e a Tabela 3 fornece o diâmetro Pitch (primitivo) mínimo recomendado para correias HI-POWER II (em polegadas).

Comprimento da correia

$$l = 2C + 1,57(D + d) + \frac{(D - d)^2}{4C} \quad (4.4)$$

onde:

C = distância entre centros (mm)

D = diâmetro maior (mm)

d = diâmetro menor (mm)

A distância entre centro pode ser admitida na concepção do projeto. Para determina-la experimentalmente, utiliza-se a fórmula:

$$C = \frac{3d + D}{2} \quad (4.5)$$

Obs.:

- Para correias SUPER HC utiliza-se o diâmetro externo e o comprimento.
- Para correias HI-POWER II utiliza-se o diâmetro primitivo (Pitch) e o comprimento.

Escolha da correia

Será a que mais se aproximar do valor calculado no comprimento da correia. No Anexo II, encontra-se a Tabela 4, que refere-se a correias SUPER HC e na Tabela 5, refere-se a correias HI-POWER II.

Ajuste da distância entre centros

$$C = \frac{A - h(D - d)}{2} \quad (4.6)$$

$$A = l_c - 1,57(D + d) \quad (4.7)$$

onde:

I_c = comprimento da correia escolhida (mm)
 h = fator correção da distância entre centros
 D = diâmetro da polia maior (mm)
 d = diâmetro da polia menor (mm)

No Anexo II, a Tabela 6 fornece o fator da distância entre centros.

Capacidade de transmissão de potência por correia (NPC)

$$NPC = (Nb + Na) \cdot fcc \cdot fcac \quad (4.8)$$

onde:

NPC = capacidade de transmissão de potência por correia (CV)
 Nb = potência básica (CV)
 Na = potência adicional (CV)
 fcc = fator de correção de comprimento
 $fcac$ = fator de correção de arco de contato

No Anexo II encontram-se a Tabela 7 e a Tabela 8, referentes ao fator de correção de comprimento.

A Tabela 9 do Anexo II fornece o fator de correção de arco de contato.

Número de correias necessárias para transmissão

$$N^{\circ} CO = \frac{NP}{NPC} \quad (4.9)$$

onde:

$N^{\circ} CO$ = Número de correias
 NP = Potência projetada (CV)
 NPC = Capacidade de transmissão de potência por correia (CV)

Obs.: Arredondar o quociente para o número inteiro mais próximo.

Velocidade periférica da correia (V)

$$V = \frac{\pi \times d \times \eta_{maior}}{60 \times 1000} = \frac{d \times \eta_{maior}}{19100} \quad (4.10)$$

$$V = \frac{\pi \times D \times \eta_{menor}}{60 \times 1000} = \frac{D \times \eta_{menor}}{19100} \quad (4.11)$$

onde:

V = Velocidade periférica (m/s)

d = Diâmetro da polia menor (mm)

D = Diâmetro da polia maior (mm)

η_{menor} = Rotação da polia menor (RPM)

η_{maior} = Rotação da polia maior (RPM)

Velocidade periférica máxima

Correias SUPER HC: $V \leq 33$ m/s

Correias HIPOWER II: $V \leq 30$ m/s

Esforços na transmissão

$$F_t = \frac{2MT}{dn} \quad (4.12)$$

onde:

F_t = Força tangencial (Kgf)

MT = Torque (Kgf.cm)

dn = Diâmetro nominal (cm)

Cálculo de F1 e F2 na transmissão

$$F1 - F2 = Ft \quad (4.13)$$

$$\frac{F1}{F2} = e^{\mu \text{ard}} \quad (4.14)$$

onde:

$F1 =$ Força ativa Kgf (motora)

$F2 =$ Força resistiva Kgf

$Ft =$ Força tangencial Kgf

$e =$ Base dos logaritmos neperiano $e = 2,71$

$\mu =$ Coeficiente de atrito correia - polia

$\text{ard} =$ Arco de contato (rad)

Cálculo da resultante (F)

$$F = \sqrt{F1^2 + F2^2 + 2.F1.F2|\cos \alpha|} \quad (4.15)$$

- Correia plana

É uma correia dentada, para casos em que não pode haver deslizamento, como no comando de válvulas do automóvel, e podem ser utilizadas em eixos paralelos ou reversos.

Valores máximos da correia plana

Potência 2200 CV

Rotação 18000 RPM

Força tangencial 5000Kgf

Velocidade tangencial 90m/s

Distância centro a centro 12m

Relação de transmissão ideal até 1:5

Relação de transmissão máxima 1:10

Obs.: Para acionamentos verticais, e distância entre centros maior que oito vezes a polia menor, as duas polias devem ser flangeadas.

O cálculo e a escolha das correias, são análogas aos das correias em V.

Potência nominal (Nn)

$$Nn = \frac{Ftg \cdot V}{75} \quad CV \quad (4.16)$$

Potência efetiva (Nef.)

$$Nef = Nn \cdot fts \quad (4.17)$$

onde:

fts = Fator total de serviço

Distância entre centros estimada

$$I = \frac{dp2 + 3 \cdot dp1}{2} \quad (4.18)$$

Distância entre centros prático

$$I = I_{adotado} - \frac{(L_{calculado} - L_{tabelado})}{2} \quad (4.19)$$

Ângulo de abraçamento (α)

$$\alpha = 180^\circ - \frac{60 \cdot (dp2 - dp1)}{I} \quad (\text{graus}) \quad (4.20)$$

Comprimento da correia (L)

$$L = 2 \cdot I + 1,57(dp2 + dp1) + \frac{(dp2 - dp1)^2}{4 \cdot I} \quad (4.21)$$

Na Tabela 4.4, encontramos sete tipos de correias disponíveis no mercado.

Tabela 4.4 – Tipos de correias planas disponíveis no mercado.

Dente	Serviço	Passo		Tipo
		mm	Polegadas	
Trapezoidal	Extra-Extra leve	2,032	0,08	MXL
	Extra leve	5,08	1/5	XL
	Leve	9,525	3/8	L
	Pesado	12,70	½	H
Semi Circular	Extra leve	3	-	3M
	Extra pesado	8	-	8M
	Extra-Extra pesado	14	-	14M

Na Tabela 4.5, encontram-se os coeficientes de correção.

Tabela 4.5 – Coeficientes de correção.

Relação de transmissão	Ci
De 1 a 1,24	-
De 1,25 a 1,74	+ 0,10
De 1,75 a 2,49	+ 0,20
De 2,50 a 3,50	+ 0,30
Acima de 3,50	+ 0,40

Ci = Fator para transmissões multiplicadoras.

Fator total de serviço

O fator total de serviço será a soma dos coeficientes.

$$F_{ts} = F_s + C_i + C_f \quad (4.22)$$

onde:

F_s = Fator de serviço

C_f = Tipo de funcionamento

Na Tabela 4.6, temos o tipo de funcionamento.

Tabela 4.6 – Tipo de funcionamento.

Tipo de funcionamento	Cf
Contínuo para 8 – 10 horas ao dia	-
Contínuo para 10 – 16 horas ao dia	+ 0,10
Contínuo para 16 – 24 horas ao dia	+ 0,20
Com galopim ou desvio	+ 0,10
Intermitente	- 0,10

Na Tabela 4.7 (a) e (b) , estão relacionados o fator de serviço para as diversas aplicações.

Tabela 4.7 (a) – Fator de serviço (Fs).

Aplicações	Classe		
	I	II	III
Agitadores, misturadores	1,4	1,6	1,8
Aspiradores, ventiladores	1,6	1,8	2,0
Centrífugas	1,7	1,9	-
Compressores	1,6	1,7	1,8
Elevadores	1,6	1,8	2,0
Britadores cilindro, martelo	-	2,2	2,5
Grupos geradores	1,6	1,8	2,0
Linhas axiais	1,5	1,7	2,9
Máquina de papel, bobinadeiras, trituradores	1,4	1,6	1,8
Máquina para cerâmica e azulejo	1,5	1,7	1,9
Lavadoras, secadoras	1,6	1,8	2,0
Máquina para borracha	1,6	1,8	2,0

Tabela 4.7 (b) – Fator de serviço (Fs).

Aplicações	Classe		
	I	II	III
Máq. madeira, serras de fita	1,3	1,4	-
Máq. para padaria	1,4	1,6	1,8
Máq. para gráfica	1,4	1,6	1,8
Máq. tecelagem	1,5	1,7	-
Furadeiras, tornos	1,4	1,6	1,8
Moinho de bolas	1,7	1,9	2,1
Rotativas de engrenagens	1,5	1,7	1,9
Vibratórias	1,4	1,7	-
Transportadores de fita leves	1,3	1,5	1,7

Na Tabela 4.8, apresenta a classificação dos motores.

Tabela 4.8 – Classificação dos motores.

Tipo de motores		Classe		
		I	II	III
		Carga uniforme	Choques moderados	Choques fortes
Sobrecarga instantânea em %		Até 149	De 150 a 249	De 250 a 400
Motores elétricos de corrente alternada	Monofásico	-	-	Todos
	Assíncrono	Arranco estrela-triângulo	Arranco direto	Dupla gaiola
	Síncrono	-	Momento normal	Momento alto
Motores elétricos de corrente contínua		Excitação em derivação	Excitação compound	Excitação em série
Motores de combustão interna		De 8 cilindros ou mais	De 6 cilindros	De 4 cilindros ou menos

4.2.2 - Polias

Na transmissão por polias e correias, a polia que transmite movimento e força é chamada polia motora ou condutora. A polia que recebe movimento e força é a polia movida ou conduzida. A maneira como a correia é colocada determina o sentido de rotação da polia.

Para determinar a relação de transmissão no conjunto polias e correias observa-se a ilustração da Figura 4.25.

A velocidade tangencial que é a mesma para as duas polias, é calculada pela expressão (4.23):

$$V = \pi.D.n \quad (4.23)$$

Como as duas velocidades são iguais, resulta:

$$V_1 = V_2 \quad \pi.D_1.n_1 = \pi.D_2.n_2$$

Assim:

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{D_2}{D_1} \quad (4.24)$$

onde:

- i = relação de transmissão
- D_1 = diâmetro da polia menor
- D_2 = diâmetro da polia maior
- n_1 = RPM da polia menor
- n_2 = RPM da polia maior

Na transmissão por correia plana, a relação de transmissão i não deve ser maior do que 6, e na transmissão por correia trapezoidal não deve ser maior do que 10.

4.2.2 - Correntes

As correntes são compostas de metais, o que proporciona maior capacidade de tração que os sistemas de correias.

As correntes transmitem força e movimento possibilitando a rotação do eixo ocorra nos sentidos horários e anti-horário. Para isso, as engrenagens devem estar num mesmo plano e os eixos de sustentação das engrenagens devem ser perpendiculares ao plano.

A transmissão ocorre por meio do acoplamento dos elos da corrente com os dentes da engrenagem. A junção desses elementos gera uma pequena oscilação durante o movimento.

Não é aconselhável sua utilização em órgãos terminais, pois não possui a capacidade de escorregamento como as correias de borracha.

4.2.3 – Engrenagens

Os principais tipos de engrenagens são: cilíndricas, cônicas tipo cremalheira, de rosca sem-fim, de rosca de transmissão e de acionamento harmônico.

- Engrenagens cilíndricas

Têm a forma de cilindro e podem ter dentes retos ou helicoidais (inclinados).

Os dentes helicoidais são paralelos entre si, mas oblíquos em relação ao eixo da engrenagem. Já os dentes retos são paralelos entre si e paralelos ao eixo da engrenagem.

As engrenagens cilíndricas com dentes helicoidais transmitem também rotação entre eixos reversos (não paralelos). Elas funcionam mais suavemente que as engrenagens com dentes retos, e por isso o ruído é menor.

- Engrenagem cremalheira

É uma barra provida de dentes, destinada a engrenar uma roda dentada. Com esse sistema, pode-se transformar movimento de rotação em movimento linear ou vice-versa.

- Engrenagem cônica

As engrenagens cônicas são aquelas que se têm a forma de tronco de cone. Podem ter dentes retos ou helicoidais.

As engrenagens cônicas transmitem rotação entre eixos concorrentes. Eixos concorrentes são aqueles que vão se encontrar em um ponto, quando prolongados. A redução de velocidade varia de 1:4 a 1:7.

- Engrenagem de rosca sem-fim

Este tipo de engrenagem serve para elevadas reduções de transmissão.

A coroa e o parafuso com rosca sem-fim compõem um sistema de transmissão muito utilizado na mecânica, principalmente nos casos em que é necessário a redução de velocidade ou um aumento de força, como nos redutores de velocidade.

O número de entradas do parafuso tem influência no sistema de transmissão, podendo ser de 4, 3, 2 ou 1 entrada. Se um parafuso com rosca sem-fim tem apenas uma entrada e está acoplado a uma coroa de 60 dentes, em cada volta dada no parafuso a coroa vai girar apenas um dente.

Como a coroa tem 60 dentes, será necessário dar 60 voltas no parafuso para que a coroa gire uma volta. Assim, a velocidade angular da coroa é 60 vezes menor que a do parafuso. Se, por exemplo, o parafuso com rosca sem-fim está girando a 600 RPM, a coroa girará a 10 RPM, ou seja, 600 RPM dividido por 60.

Outro exemplo, se o parafuso com rosca sem-fim tiver duas entradas e a coroa tiver 60 dentes, a cada volta dada no parafuso com rosca sem-fim, a coroa girará dois dentes, portanto, será necessário dar 30 voltas no parafuso para que a coroa gire uma volta.

- Rosca de transmissão

Este tipo de transmissão é composta de um fuso e de uma porca, fixa no sistema. Quando ocorre o movimento giratório no fuso, este faz com que ocorra o deslocamento desejado. Para melhorar o rendimento do conjunto fuso e porca são introduzido as esferas no interior da porca.

Esses fusos de esferas são elementos de transmissão de alta eficiência, transformando movimento de rotação em movimento linear e vice-versa, por meio de transmissão de esferas.

Engrenagem de acionamento harmônico (“harmonic drive”)

É um novo projeto de engrenagem, patenteado por uma companhia americana. São engrenagens flexíveis que proporcionam uma relação de velocidade angular em torno de 100 vezes.

No centro é introduzida um eixo excêntrico dentro da engrenagem que fica dentro do anel exterior. A engrenagem de anel externo roda um dente por revolução do eixo excêntrico.

Esse será o futuro sistema de transmissão dos robôs. Graças à grande redução de velocidade numa única engrenagem, não há muitos erros de folga. Ainda não é muito conhecida nem empregada devido à patente.[2]

4.3 – Sensores

Os sensores dos robôs podem ser classificados segundo diversos critérios.[2]

- Segundo o meio relativo ao robô
 - propioceptivos;
 - exteroceptivos.

- Segundo o tipo de interação sensor- objeto
 - com contato;
 - sem contato.

- Segundo o tipo de informação

- elementares;
- complexos.

- Segundo o princípio de funcionamento, por:

- carga elétrica;
- resistência;
- indutância;
- capacitância;
- corrente de elétrons livres;
- deslocamento angular de torção;
- velocidade (linear e angular);
- radiação térmica, etc..

4.3.1 Sensores segundo o meio relativo ao robô

- **Sensores propiceptivos**

Foram os primeiros a serem utilizados nos RI. Fornecem informações do estado interno do robô, principalmente, posição, velocidade e aceleração.

1º) Posição

Para medir os deslocamentos angulares, os sensores empregam diversas técnicas. Assim, existem transdutores resistivos, capacitivos, indutivos, discos codificados, transdutores com potenciômetro de pista plástica ou transdutores incrementáveis

2º) Velocidade

A medição de velocidades lineares e angulares consiste normalmente em captar um fluxo luminoso periódico e medir a frequência de ocorrência. A interrupção do fluxo é feita por meio de faixas opacas, gerando impulsos que são utilizados para medir a velocidade de giro do eixo. O dispositivo mais usado para medir as velocidades tem sido o tacômetro (dínamo ou alternador). O dínamo propicia uma tensão contínua proporcional à velocidade, enquanto o alternador gera uma tensão alternada com amplitude proporcional à velocidade.

3º) Aceleração

Os sensores de aceleração dos robôs têm, como finalidade, medir vibrações e choques. Os aceleradores piezoelétricos possuem uma pastilha piezoelétrica fixada na peça, que transforma a aceleração em um sinal elétrico proporcional a essa mesma aceleração. Existem também aceleradores piezorresistivos e indutivos.

• Sensores exteroceptivos

Estes sensores relacionam o meio externo com o robô, controlando o que acontece ao seu redor, através de realimentação. Os cinco tipos mais comuns e mais desenvolvidos são:

- de distância;
- de esforço;
- táteis;
- de voz;
- de visão.

1º) Sensores de distância

A medição da distância a que se encontra um objeto é de grande importância para indicar sua posição ao robô (permitindo a aproximação) e para detectar obstáculos (permitindo o desvio).

Alguns tipos de sensores de distância são:

- Sensores de ultra- som (acústico)

Similar ao do radar: um dispositivo emite um sinal, que se propaga até encontrar um objeto; sendo refletido, retorna até o mesmo dispositivo ou segue para outro. Medindo o tempo transcorrido entre a emissão e a recepção, e conhecendo a velocidade de propagação, calcula-se a distância.

- Sensores de raio LASER

Composto de um emissor/receptor de raio laser. O raio é emitido e, ao chocar-se com o objeto, retorna ao sistema.

O funcionamento é semelhante ao do sensor acústico.

- Sensores indutivos

São sensores que executam uma comutação eletrônica, quando um objeto metálico entra dentro de um campo eletromagnético de alta frequência, produzido por um oscilador eletrônico direcionado para fora do corpo do sensor, formado uma região denominada face sensível, com uma sensibilidade determinada, denominada distância de comutação.

Quando o corpo metálico está diante da face sensível, dentro da faixa denominada distância de comutação, este metal amortece a oscilação, provocando, através de diversos estágios eletrônicos, uma comutação eletrônica, ou seja, faz o sensor mudar de estado lógico.

- **Sensores capacitivos**

Funcionam analogamente aos sensores indutivos, porém para alterar as condições físicas da região sensível, qualquer material pode ser usado, tais como, vidro, madeira, grãos, pó, até mesmo líquidos, pois ao invés de variarmos um campo magnético, o objeto alterará a capacitância de um capacitor de placas que é adotado como face sensível.

- **Sensores Ópticos**

São fabricados segundo a tecnologia da emissão e recepção de irradiação infravermelha modulada. Dividem-se em três tipos de sistema: por barreira (ópticas alinhadas), por difusão e por reflexão.

• **Sistema por barreira**

O elemento transmissor de irradiações infravermelhas, é alinhado frontalmente a um receptor infravermelho, a uma distância pré determinada e específica para cada tipo de sensor. Qualquer interrupção desta irradiação, deixará de atingir o receptor, portanto ocorrerá um chaveamento eletrônico.

• **Sistema por difusão**

Os elementos de emissão e recepção infravermelha, estão montados justapostos em um mesmo conjunto óptico, direcionados para a face sensível do sensor. Os raios infravermelhos emitidos pelo transmissor, refletem sobre a superfície de um objeto e retornam em direção do receptor, a uma distância determinada como distância de comutação, o que provoca o chaveamento eletrônico, desde que o objeto possua uma superfície não totalmente fosca.

• **Sistema por reflexão**

Possui características mecânicas idênticas ao sistema por difusão, diferindo no sistema óptico. Os raios infravermelhos emitidos, somente refletem em um espelho prismático especial, colocado a uma distância, dentro da zona determinada como distância de comutação, frontalmente a face sensível do sensor, e retornam em direção ao receptor, formando uma barreira óptica. A comutação ou chaveamento ocorre quando se retira o espelho ou quando interrompe-se a barreira de raios infravermelhos entre sensor e o espelho com um objeto ou corpo de qualquer natureza.

Independente do sistema que um sensor é construído, ele é totalmente imune a iluminação ambiente seja ela artificial ou natural, pelo motivo de ser o receptor sintonizado na mesma frequência de modulação do emissor. Normalmente é utilizado o infravermelho ou o laser como fonte.

- **Sensores de visão**

São câmeras CCD de filmagem simples, muito pequenas e com poucos controles.

São empregadas em robôs nas indústrias e em sistemas de segurança.

Normalmente ficam na linha de montagem, onde o robô reconhece imagens e manipula peças. Porém também é empregado em robôs móveis.

2º) Sensores de esforço

Um grupo de sensores de contato, para determinar a natureza e a direção das forças que aparecem no contato entre dois corpos, com sensores normalmente fixos e o outros transportados pelo robô.

3º) Sensores táteis

Servem para determinar a forma de um objeto, e também, seu possível deslizamento sobre o sensor, determinando a pressão de agarre.

Alguns tipos são:

- **Sensores de matriz de agulhas deslizáveis**

Cada uma passa por uma bobina, alternando seu campo magnético em função da magnitude do deslizamento ocasionado pela forma do objeto.

- **Sensores tátil “pele artificial”**

4º) Sensores de voz

Com a utilização de técnicas de reconhecimento de voz, o robô ou a máquina pode interpretar a ordem dada pela voz de um ser humano.

5º) Sistema de visão

Os sensores de visão são os mais complexos e de maior aplicação na robótica e na automatização da produção. Os sistemas de visão, estão divididos em dois grupos:

- **Sensores específicos**, criados para trabalhar em um contexto totalmente determinado e em uma aplicação concreta.
- **Sensores universais**, que podem ser adaptados para qualquer tarefa.

Câmara de visão

Utilizada em tarefas de reconhecimento de padrões, nos processos de automação.

Alguns sistemas de visão comerciais constam do Anexo III, Tabela 1.

4.4 – Órgãos terminais

O órgão terminal é fixado ao punho do robô, permitindo realizar tarefas específicas e que as vezes são chamados de “mão” do robô.

O órgão terminal é uma ferramenta especial para o robô e que a maioria das máquinas de produção exige dispositivos e ferramentas especificamente desenhados para uma determinada operação.

4.4.1 - Tipos de órgãos terminais

Das variedades de órgãos terminais necessárias para a realização de várias funções de trabalho, os vários tipos podem ser divididos em:[6]

1. Garras mecânicas;
2. Garras magnéticas;
3. Garras adesivas;
4. Copos de sucção (ou ventosas);
5. Ganchos, cadinhos e outros dispositivos.

1. Garras mecânicas

É um órgão terminal que usa dedos mecânicos acionados por um mecanismo de pega. Os dedos são os apêndices da garra que faz, de fato, contato com o objeto.

2. Garras magnéticas

As garras magnéticas podem ser um meio razoável de manusear materiais ferrosos. A placa de aço inoxidável não seria uma aplicação apropriada para uma garra magnética, porque o aço inoxidável 18-8 não é atraído por um ímã. Outros aços, porém, incluindo certos tipos de aço inoxidável, seriam candidatos adequados para esse tipo de manuseio, especialmente quando os materiais manuseados são de forma de chapas ou placas.

3. Garras adesivas

São garras nas quais uma substância adesiva realiza a ação de pega e podem ser usadas para manusear tecidos e outros materiais leves. Uma das limitações potenciais de uma garra adesiva é que a substância adesiva perde sua pegajosidade pelo uso repetido. Conseqüentemente, sua confiabilidade como dispositivo de pega é diminuída a cada ciclo sucessivo de operação. Para contornar essa limitação, o material adesivo é carregado na forma de uma fita contínua num dispositivo preso no punho do robô.

4. Copos de sucção (ventosas)

Os copos de sucção podem ser usados como dispositivos de pega para manusear certos tipos de objetos. Os requisitos usuais sobre os objetos a serem manuseados são que devem ser planos, lisos e limpos, condições necessárias para formar vácuo satisfatório entre o objeto e o copo de sucção.

5. Ganchos, cadinhos e outros dispositivos

Os ganchos podem ser usados como órgão terminal para manusear caixas de peças e para carregar e descarregar peças penduradas em transportadores aéreos. Obviamente, os artigos a serem manuseados por um gancho devem ter algum tipo de punho pelo qual o gancho possa segurar a peça.

Cadinhos podem ser usados para manusear certos materiais em forma líquida ou em forma de pó. Produtos químicos líquidos ou em pó, produtos alimentícios, substâncias granuladas e metais em fusão são todos exemplos de materiais que podem ser manuseados por um robô usando esse método de segurar o material.

Outros tipos de garras incluem dispositivos infláveis ou diafragma, que são expandidos para pegar o objeto. O balão inflável é fabricado de borracha ou outro material elástico que tornam apropriado para a pega de objetos frágeis. A garra aplica uma pressão de pega uniforme contra a superfície do objeto em vez de ser uma força concentrada típica de uma garra mecânica. Um exemplo seria usar o balão para a pega no diâmetro interno de uma garrafa ou copo.

Servomecanismo

É preciso equipar um robô industrial do tipo manipulador multifuncional reprogramável, com uma unidade de controle que implemente as diferentes funções exigidas e que promova sua integração com o sistema de fabricação.[7]

Existem diversos tipos de controle utilizados, destinados a atender às informações recebidas pelo sistema.

5.1 – Controle em Malha Aberta ou Fechada de posição e velocidade

Os dispositivos de controle podem ser classificados em malha aberta ou malha fechada. Normalmente, o controle por malha aberta é um controle manual e o controle por malha fechada é um controle automático.

5.1.1 Malha aberta

É um controle simples, para serviços de baixa complexidade, em que não há a necessidade de segurança.

Nesse tipo não há realimentação sensorial, portanto, não há a orientação de onde se encontra o dispositivo. Se houver um erro qualquer, o controle não tem capacidade de corrigi-lo e detectá-lo e as informações continuam a ser executadas com erro.

A Figura 5.1 ilustra um sistema simples de controle em malha aberta.

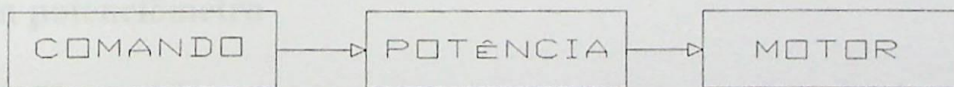


Figura 5.1 – Sistema de controle em malha aberta.

5.1.2 Malha fechada

No sistema de malha fechada, existem elos de realimentação sensorial, que detectam o sinal de erro, por exemplo, a diferença entre a posição desejada e a posição em que se encontra, processa essa informação e a envia para a necessária correção.

A Figura 5.2 ilustra um sistema de controle em malha fechada.

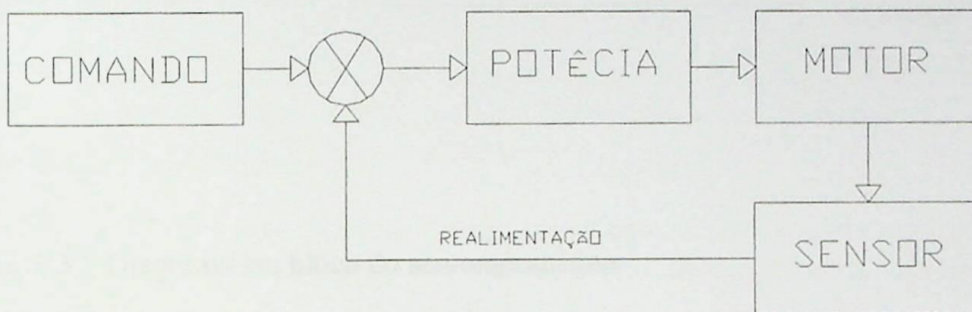


Figura 5.2 – Sistema de controle em malha fechada.

Em quase todos os robôs, os sistemas de controles são efetuados em malha fechada, pois há a necessidade de precisão e correção de erros.

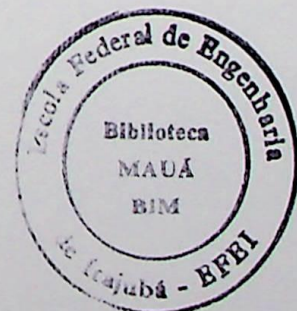
5.1.3 Controle de velocidade

A Figura 5.3 ilustra em bloco o servomecanismo para controle da velocidade.

5.1.4 – Controle de Posição

1) Com potenciômetro

A Figura 5.4 mostra um esquema simplificado de controle de servomotor ou servomecanismo para controle de posição.[8]



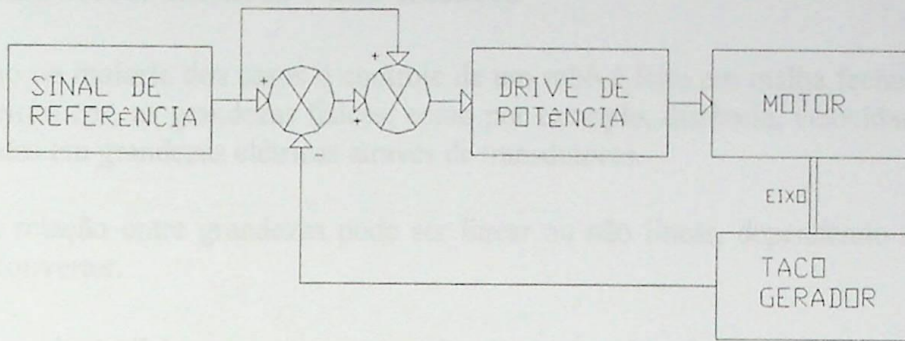


Figura 5.3 – Diagrama em bloco do servomecanismo.

O circuito de drive de potência envia o sinal de controle para o motor, como este tem acoplado a seu eixo um taco gerador, ele envia a tensão gerada pelo taco gerador ao drive de potência, comparando com o sinal de referência desejado.

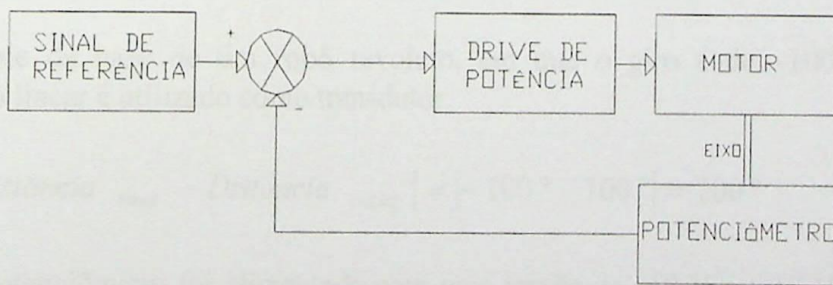


Figura 5.4 – Controle de servomecanismo para controle de posição.

Este circuito é praticamente um servo, onde o motor tem um potenciômetro acoplado em seu eixo, enviando ao drive de potência a posição em que se encontra o eixo do motor. A posição do eixo do motor pode ser controlada pelo sinal de referência desejado.

5.2 – Transdutores lineares e não-lineares

Como na maioria dos casos o controle de um robô é feito em malha fechada e através de circuitos eletrônicos, as grandezas físicas, como por exemplo, distância, velocidade, etc., devem ser convertidas em grandezas elétricas através de transdutores.

Essa relação entre grandezas pode ser linear ou não linear, dependendo do sensor e da grandeza a converter.

As grandezas físicas como por exemplo, distância, são grandezas lineares, ou seja, a sua curva característica é linear. Assim, pode-se utilizar um potenciômetro linear, para converter a distância em uma grandeza elétrica (resistência).

Para calcular a relação entre grandezas lineares, divide-se a faixa da escala da grandeza física pela faixa da escala da grandeza elétrica. A relação da transdução é dada por:

$$R = \frac{|\Delta_{física}|}{|\Delta_{elétrica}|} \quad (5.1)$$

onde: R : resolução

$\Delta_{física}$: faixa da grandeza física

$\Delta_{elétrica}$: faixa da grandeza elétrica

1º Exemplo:

Controle da base de um robô revoluto, em que o giro é de -100° até $+100^\circ$. Um potenciômetro linear é utilizado como transdutor.

$$|\Delta_{Física}| = |Distância_{Final} - Distância_{Inicial}| = |-100^\circ - 100^\circ| = 200^\circ$$

Se o potenciômetro for alimentado com uma tensão de -10 V a $+10\text{ V}$, a faixa da escala da grandeza elétrica será.

$$|\Delta_{Elétrica}| = |Tensão_{Final} - Tensão_{Inicial}| = |-10 - 10| = 20V$$

a resolução R será:

$$R = \frac{|\Delta_{Física}|}{|\Delta_{Elétrica}|} = \frac{200}{20} = 10^\circ / V$$

2º Exemplo:

A base de um robô revoluto varia de -100° até $+100^\circ$, a tensão relativa do potenciômetro varia diretamente de $-10V$ até $+10V$. A conversão A/D utiliza 8 bits.

A resolução física e a resolução elétrica são:

$$Resolução_{Física} = \frac{\Delta_{Física}}{2^n} = \frac{200}{256} = 0,78125^\circ / sequência$$

$$Resolução_{Elétrica} = \frac{\Delta_{Elétrica}}{2^n} = \frac{20}{256} = 0,078125V / sequência$$

A Tabela 5.1 mostra os valores de tensão e de ângulo e uma proposta de codificação digital.

Tabela 5.1 – Relações físicas e elétricas e suas respectivas combinações.

Hexadecimal	BINÁRIO								Tensão	Graus
00	0	0	0	0	0	0	0	0	-10	-100
01	0	0	0	0	0	0	0	1	-9,921875	-99,21875
02	0	0	0	0	0	0	1	0	-9,84375	-98,4375
03	0	0	0	0	0	0	1	1	-9,765625	-97,65625
04	0	0	0	0	0	1	0	0	-9,6875	-96,875
05	0	0	0	0	0	1	0	1	-9,609375	-96,09375
06	0	0	0	0	0	1	1	0	-9,53125	-95,3125
07	0	0	0	0	0	1	1	1	-9,453125	-94,53125
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
FE	1	1	1	1	1	1	1	0	9,921875	99,21875
FF	1	1	1	1	1	1	1	1	+ 10	+ 100

2) Controle de posição com codificador incremental

O codificador é um tipo de sensor utilizado para captura da posição.

Este tipo de codificador gera dois pulsos de tensão com uma defasagem que é proporcional à rotação do eixo. Para determinar a posição do eixo, é necessário um circuito que converta defasagem de pulsos em posição angular.

A Figura 5.5 ilustra o circuito do controle de posição com o codificador incremental.

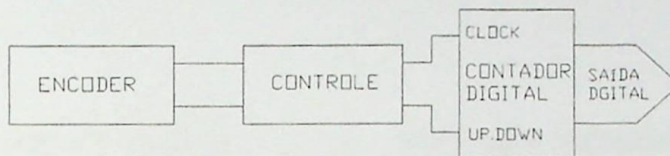


Figura 5.5 – Circuito de controle de posição com codificador incremental.

O bloco de controle lê os dois pulsos do codificador, e controla a contagem do contador. Dependendo do sentido do “codificador”, o contador “conta” para cima ou para baixo.

Há dois tipos de controle para o codificador: controle analógico ou digital.

A Figura 5.6 apresenta um circuito básico de controle analógico.

O contador gera na saída uma combinação digital referente à posição do eixo do motor.

O conversor D/A (Digital/Analógico) captura a combinação digital e converte para um valor analógico de tensão elétrica, que será comparado com o sinal de referência.

A tensão na saída do comparador é o erro de posicionamento, que é amplificado e enviado para o motor.

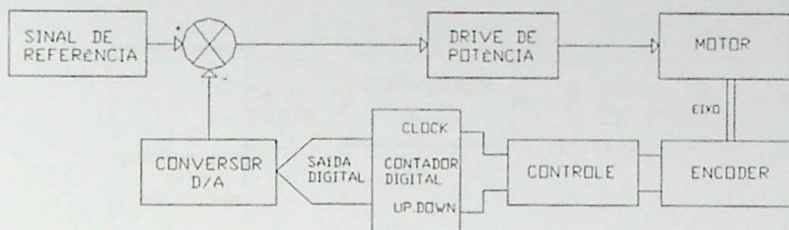


Figura 5.6 – Controle analógico de um codificador incremental.

A Figura 5.7 apresenta um circuito básico do controle digital.

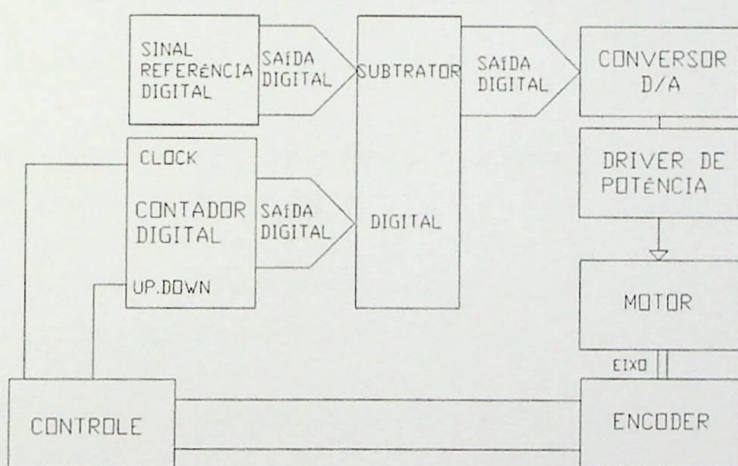


Figura 5.7 – Controle digital de um codificador incremental.

O subtrator determina a diferença entre as duas entradas de sinal, a de referência e a do codificador.

Essa diferença gera um sinal de erro, que é convertido para um sinal analógico, que depois de amplificado, atua no posicionamento do motor.

Normalmente, quando há um computador para controlar o motor, o circuito de controle fica reduzido, como mostrado na Figura 5.8.

Cinemática de Objetos

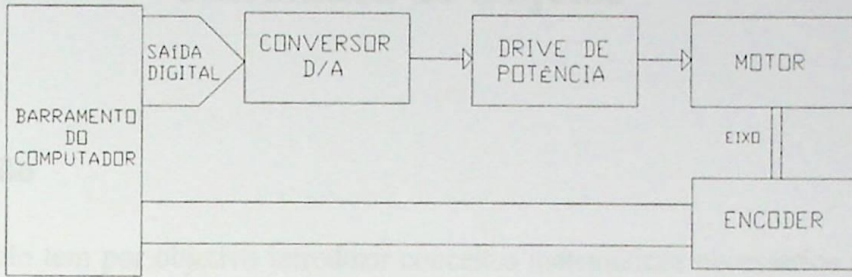


Figura 5.8 – Controle por computador de um codificador incremental.

Neste caso, a contagem e subtração são feitas pelo computador.

Capítulo 6

Cinemática de Objetos

6.1 – Introdução

Este capítulo tem por objetivo introduzir conceitos matemáticos necessários ao estudo da cinemática de manipuladores robóticos. Cujo foco é a determinação da posição e orientação do órgão terminal, sem levar em consideração as forças que estão agindo no sistema.[9]

Um ponto no espaço é caracterizado pela sua posição e orientação obtidos a partir de um sistema inicial. Em robótica, associa-se um sistema de coordenadas cartesianas a cada elo e um sistema inercial à base do manipulador.

No processo de descrição de um sistema em relação a outro, serão apresentadas as operações de translação e rotação, juntamente com uma representação matricial destas operações.

6.2 – Operação de translação

Considere um ponto “p” descrito por um vetor posição, $p = [p_u, p_v, p_w]$. A operação de translação consiste em mover “p” de uma distância finita ao longo de uma direção vetorial.

Sejam dois sistemas de coordenadas (x, y, z) e (u, v, w) , de origens 0_{xyz} e 0_{uvw} respectivamente, que diferem apenas por uma translação, como mostra a Figura 6.1.

Um ponto “p” descrito no sistema de coordenadas 0_{uvw} , fixo a “p”, é representado pela equação (6.1):

$$p = p_u \cdot \hat{i}_u + p_v \cdot \hat{j}_v + p_w \cdot \hat{k}_w \quad (6.1)$$

onde:

i, j, e k: são versores unitários.

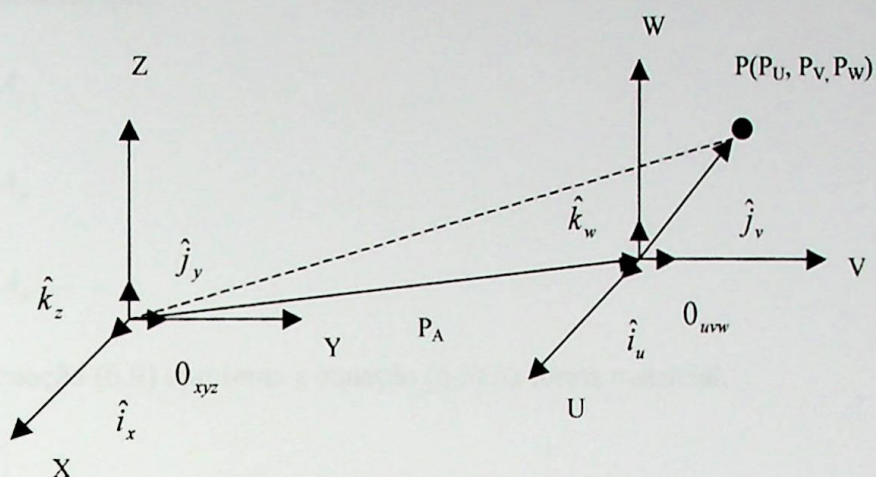


Figura 6.1 – Sistemas de coordenadas transladados.

A determinação do ponto “p” com relação ao sistema de coordenadas 0_{xyz} é obtida pelas equações (6.2) e (6.3).

$$p_A = A_x \cdot \hat{i}_x + A_y \cdot \hat{j}_y + A_z \cdot \hat{k}_z \quad (6.2)$$

$$p_{xyz} = p + p_A \quad (6.3)$$

Substituindo as equações (6.1) e (6.2) em (6.3):

$$p_{xyz} = p_u \cdot \hat{i}_u + p_v \cdot \hat{j}_v + p_w \cdot \hat{k}_w + A_x \cdot \hat{i}_x + A_y \cdot \hat{j}_y + A_z \cdot \hat{k}_z \quad (6.4)$$

De acordo com a Figura 6.1, pode-se designar:

$$\hat{i}_u // \hat{i}_x : \hat{i}_u = \hat{i}_x = \hat{i}$$

Por razão similar,

$$\hat{j}_u = \hat{j}_x = \hat{j}$$

$$\hat{k}_u = \hat{k}_x = \hat{k}$$

Assim a equação (6.4) torna-se:

$$p_{xyz} = (p_u + A_x) \cdot \hat{i} + (p_v + A_y) \cdot \hat{j} + (p_w + A_z) \cdot \hat{k} \quad (6.5)$$

de onde se conclui que:

$$p_x = p_u + A_x \quad (6.6)$$

$$p_y = p_v + A_y \quad (6.7)$$

$$p_z = p_w + A_z \quad (6.8)$$

A equação (6.9) apresenta a equação (6.5) na forma matricial,

$$p_{xyz} = \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \end{bmatrix} \quad (6.9)$$

6.3 – Operação de Rotação

Rotacionar consiste em girar um vetor em uma certa direção, por um ângulo determinado.

Sejam dois sistemas de coordenadas (x, y, z) e (u, v, w) , de origens 0_{xyz} e 0_{uvw} , respectivamente, inicialmente coincidentes, como mostra a Figura 6.2.

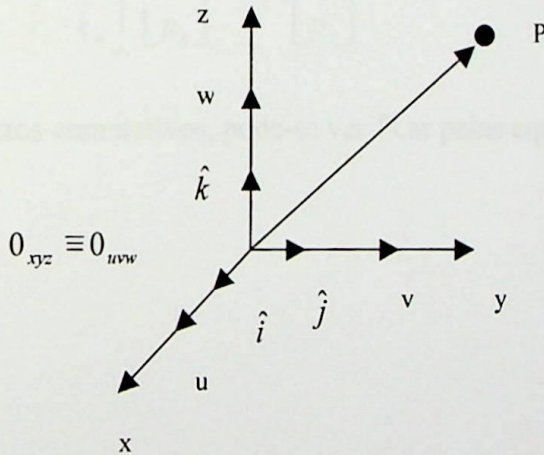


Figura 6.2 – Sistemas de coordenadas coincidentes.

Admitindo 0_{xyz} como um sistema de coordenada inercial e 0_{uvw} como um sistema de coordenadas fixo ao ponto.

O ponto “p”, descrito em relação à 0_{uvw} , é dado pela equação (6.10).

$$p = p_u \cdot \hat{i}_u + p_v \cdot \hat{j}_v + p_w \cdot \hat{k}_w \quad (6.10)$$

A determinação de “p” em relação a 0_{xyz} , é obtida pelas equações (6.11) a (6.13).

$$p_x = p \cdot \hat{i}_x = p_u \cdot \hat{i}_u \cdot \hat{i}_x + p_v \cdot \hat{j}_v \cdot \hat{i}_x + p_w \cdot \hat{k}_w \cdot \hat{i}_x \quad (6.11)$$

$$p_y = p \cdot \hat{j}_y = p_u \cdot \hat{i}_u \cdot \hat{j}_y + p_v \cdot \hat{j}_v \cdot \hat{j}_y + p_w \cdot \hat{k}_w \cdot \hat{j}_y \quad (6.12)$$

$$p_z = p \cdot \hat{k}_z = p_u \cdot \hat{i}_u \cdot \hat{k}_z + p_v \cdot \hat{j}_v \cdot \hat{k}_z + p_w \cdot \hat{k}_w \cdot \hat{k}_z \quad (6.13)$$

Representando essas equações na forma matricial, obtém-se:

$$C_a = \begin{bmatrix} \hat{i}_u \cdot \hat{i}_x & \hat{j}_v \cdot \hat{i}_x & \hat{k}_w \cdot \hat{i}_x \\ \hat{i}_u \cdot \hat{j}_y & \hat{j}_v \cdot \hat{j}_y & \hat{k}_w \cdot \hat{j}_y \\ \hat{i}_u \cdot \hat{k}_z & \hat{j}_v \cdot \hat{k}_z & \hat{k}_w \cdot \hat{k}_z \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} p_u \\ p_v \\ p_w \end{bmatrix} = R_a \cdot \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \end{bmatrix} \quad (6.14)$$

Considerando 0_{uvw} como o sistema de coordenadas fixo e de referência e 0_{xyz} , o sistema de coordenadas do corpo, uma matriz de rotação pode ser determinado conforme equação (6.15).

$$C_b = \begin{bmatrix} \hat{i}_x \cdot \hat{i}_u & \hat{j}_y \cdot \hat{i}_u & \hat{k}_z \cdot \hat{i}_u \\ \hat{i}_x \cdot \hat{j}_v & \hat{j}_y \cdot \hat{j}_v & \hat{k}_z \cdot \hat{j}_v \\ \hat{i}_x \cdot \hat{k}_w & \hat{j}_y \cdot \hat{k}_w & \hat{k}_z \cdot \hat{k}_w \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \end{bmatrix} = R_b \cdot \begin{bmatrix} p_u \\ p_v \\ p_w \end{bmatrix} \quad (6.15)$$

Sendo os produtos comutativos, pode-se verificar pelas equações (6.14) e (6.15) que:

$$R_b = R_a^{-1} = R_a^T \quad (6.16)$$

Portanto,

$$p_{xyz} = R \cdot p_{uvw} \quad (6.17)$$

Agora, considerando dois sistemas de coordenadas (x, y, z) e (u, v, w), de origens 0_{xyz} e 0_{uvw} , respectivamente, em que os eixos “y” e “z” apresentam uma rotação de α^0 sobre o eixo “x”, ($u \equiv x$), como mostra a Figura 6.3.

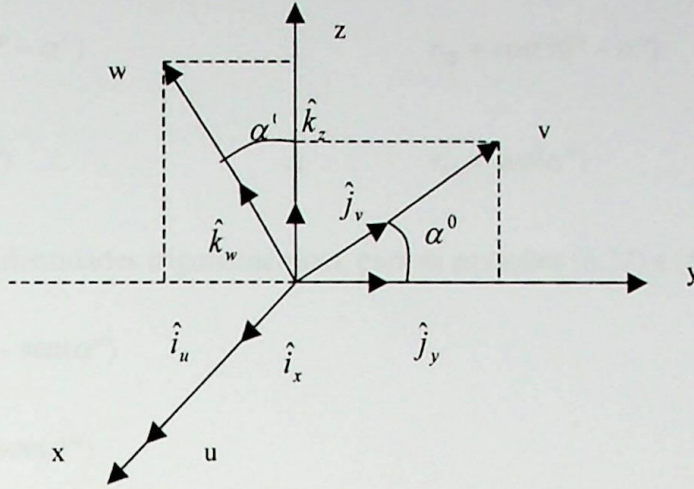


Figura 6.3 – Sistemas de coordenadas rotacionais em torno de x.

Para R_a , extraído da equação (6.14), tem-se:

$$R_{a,x} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{i}_u \cdot \hat{i}_x & \hat{j}_v \cdot \hat{i}_x & \hat{k}_w \cdot \hat{i}_x \\ \hat{i}_u \cdot \hat{j}_y & \hat{j}_v \cdot \hat{j}_y & \hat{k}_w \cdot \hat{j}_y \\ \hat{i}_u \cdot \hat{k}_z & \hat{j}_v \cdot \hat{k}_z & \hat{k}_w \cdot \hat{k}_z \end{bmatrix} \quad (6.18)$$

Como resultado do produto escalar, tem-se:

$$r_{11} = |\hat{i}_u| \cdot |\hat{i}_x| \cdot \cos(0^\circ) \quad \therefore \quad r_{11} = 1 \quad (6.19)$$

$$r_{12} = |\hat{j}_v| \cdot |\hat{i}_x| \cdot \cos(90^\circ) \quad \therefore \quad r_{12} = 0 \quad (6.20)$$

$$r_{13} = |\hat{k}_w| \cdot |\hat{i}_x| \cdot \cos(90^\circ) \quad \therefore \quad r_{13} = 0 \quad (6.21)$$

$$r_{21} = |\hat{i}_u| \cdot |\hat{j}_y| \cdot \cos(90^\circ) \quad \therefore \quad r_{21} = 0 \quad (6.22)$$

$$r_{22} = |\hat{j}_v| \cdot |\hat{j}_y| \cdot \cos(\alpha^\circ) \quad \therefore \quad r_{22} = \cos(\alpha^\circ) \quad (6.23)$$

$$r_{23} = |\hat{k}_w| \cdot |\hat{j}_y| \cdot \cos(90^\circ + \alpha^\circ) \quad \therefore \quad r_{23} = \cos(90^\circ + \alpha^\circ) \quad (6.24)$$

$$r_{31} = |\hat{i}_u| \cdot |\hat{k}_z| \cdot \cos(90^\circ) \quad \therefore \quad r_{31} = 0 \quad (6.25)$$

$$r_{32} = |\hat{j}_v| \cdot |\hat{k}_z| \cdot \cos(90^\circ - \alpha^\circ) \quad \therefore \quad r_{32} = \cos(90^\circ - \alpha^\circ) \quad (6.26)$$

$$r_{33} = |\hat{k}_w| \cdot |\hat{k}_z| \cdot \cos(\alpha^\circ) \quad \therefore \quad r_{33} = \cos(\alpha^\circ) \quad (6.27)$$

Utilizando as identidades trigonométricas, para as equações (6.24) e (6.26), obtém-se:

$$r_{23} = \cos(90^\circ + \alpha^\circ) = -\text{sen}(\alpha^\circ) \quad (6.28)$$

$$r_{32} = \cos(90^\circ - \alpha^\circ) = \text{sen}(\alpha^\circ) \quad (6.29)$$

Substituindo os resultados apresentados pelas equações (6.19) a (6.29) na equação (6.18), obtém-se:

$$R_{a,x} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\alpha^\circ) & -\text{sen}(\alpha^\circ) \\ 0 & \text{sen}(\alpha^\circ) & \cos(\alpha^\circ) \end{bmatrix} \quad (6.30)$$

De forma similar é definida as matrizes de rotação para os demais eixos. As equações (6.31) e (6.32) descrevem rotações de θ° e de ϕ° sobre os eixos “y” e “z”, respectivamente:

$$R_{\theta,y} = \begin{bmatrix} \cos(\theta^\circ) & 0 & \text{sen}(\theta^\circ) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\text{sen}(\theta^\circ) & 0 & \cos(\theta^\circ) \end{bmatrix} \quad (6.31)$$

$$R_{\phi,z} = \begin{bmatrix} \cos(\phi^\circ) & -\text{sen}(\phi^\circ) & 0 \\ \text{sen}(\phi^\circ) & \cos(\phi^\circ) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6.32)$$

6.4 – Transformação Homogênea

É amplamente utilizada em cálculos da cinemática de manipuladores por possibilitar a elaboração de uma sistemática de cálculos na forma matricial.

6.4.1 – Coordenadas homogêneas

Em um espaço tridimensional, um vetor posição $p = (p_x, p_y, p_z)$ é representado em coordenadas homogêneas um componente, apresentado na equação (6.33).

$$\begin{bmatrix} S \cdot p_x \\ S \cdot p_y \\ S \cdot p_z \\ S \end{bmatrix} \tag{6.33}$$

As coordenadas físicas são descritas pelas coordenadas homogêneas como se segue:

$$p_x = \frac{S \cdot p_x}{S} \qquad p_y = \frac{S \cdot p_y}{S} \qquad p_z = \frac{S \cdot p_z}{S}$$

A quarta componente da coordenada homogênea, S , é o fator de escala. Se o fator de escala for unitário, então a coordenada homogênea de transformação de um vetor posição é idêntica à coordenada física do vetor.

6.4.2 – Matriz de transformação homogênea

Considere os sistemas coordenados (x, y, z) e (u, v, w) , apresentados na Figura 6.4.

Para descrever o ponto “p” no espaço tridimensional, em relação ao sistema de coordenadas (x, y, z) , é necessário executar uma rotação e uma translação, simultaneamente. De acordo com a Figura 6.4, o vetor posição p_{uvw} descreve o ponto “p” em relação ao sistema coordenado (u, v, w) e o vetor posição p_{0uvw} descreve a origem do sistema de coordenadas (u, v, w) em relação ao sistema de referência (x, y, z) .

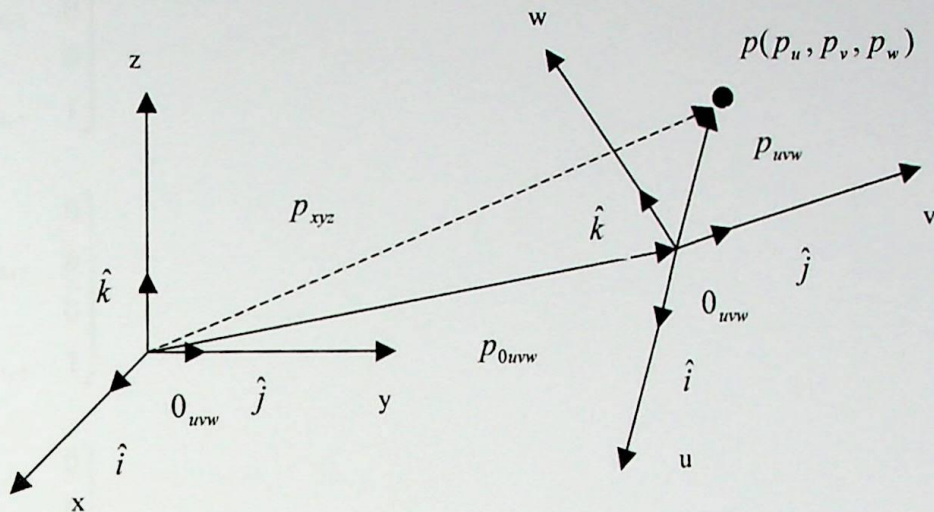


Figura 6.4 – Sistemas de coordenadas (x, y, z) e (u, v, w).

Essas operações podem ser expressas na forma matricial, conforme equação (6.34), que é designada como matriz de transformação homogênea.

$$H = \begin{bmatrix} R_{3 \times 3} & P_{3 \times 1} \\ 0_{1 \times 3} & S_{1 \times 1} \end{bmatrix} \quad (6.34)$$

onde:

$R_{3 \times 3}$ = matriz de rotação;

$P_{3 \times 1}$ = vetor posição;

$0_{1 \times 3}$ = vetor coluna, nulo;

$S_{1 \times 1}$ = fator de escala, “S”.

Em robótica o fator de escala geralmente assume o valor unitário, pois representa uma posição física real. O vetor coluna permite compensar possíveis distorções provocadas por um sistema de visão, que neste caso é inexistente.

Como exemplos, as equações (6.35) a (6.40) permitem representar um conjunto de transformações básicas, translações e rotações puras ao longo dos eixos coordenados.

As equações (6.35) a (6.37) descrevem uma translação de “a”, “b” e “c” unidades de comprimento ao longo dos eixos x, y e z, respectivamente.

$$H_{x,a} = \begin{bmatrix} & a \\ I_{3 \times 3} & 0 \\ & 0 \\ 0_{1 \times 3} & 1 \end{bmatrix} \quad (6.35)$$

$$H_{y,b} = \begin{bmatrix} & 0 \\ I_{3 \times 3} & b \\ & 0 \\ 0_{1 \times 3} & 1 \end{bmatrix} \quad (6.36)$$

$$H_{y,c} = \begin{bmatrix} & 0 \\ I_{3 \times 3} & 0 \\ & c \\ 0_{1 \times 3} & 1 \end{bmatrix} \quad (6.37)$$

onde:

$I_{3 \times 3}$ = matriz identidade.

As equações (6.38) a (6.40) descrevem uma rotação de " α ", " θ " e " ϕ " unidades angulares ao longo dos eixos x, y e z, respectivamente.

$$H_{\alpha,x} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\alpha^\circ) & -\text{sen}(\alpha^\circ) & 0 \\ 0 & \text{sen}(\alpha^\circ) & \cos(\alpha^\circ) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6.38)$$

$$H_{\theta,y} = \begin{bmatrix} \cos(\theta^\circ) & 0 & \text{sen}(\theta^\circ) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\text{sen}(\theta^\circ) & 0 & \cos(\theta^\circ) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6.39)$$

$$H_{\phi,z} = \begin{bmatrix} \cos(\phi^\circ) & -\text{sen}(\phi^\circ) & 0 & 0 \\ \text{sen}(\phi^\circ) & \cos(\phi^\circ) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6.40)$$

A Figura 6.5 permite mostrar um procedimento para se descrever um ponto “p” em relação a um sistema de coordenada inercial, 0_{xyz} . Note-se que, a princípio, “p” é descrito em relação ao sistema de coordenada 0_{LMN} .

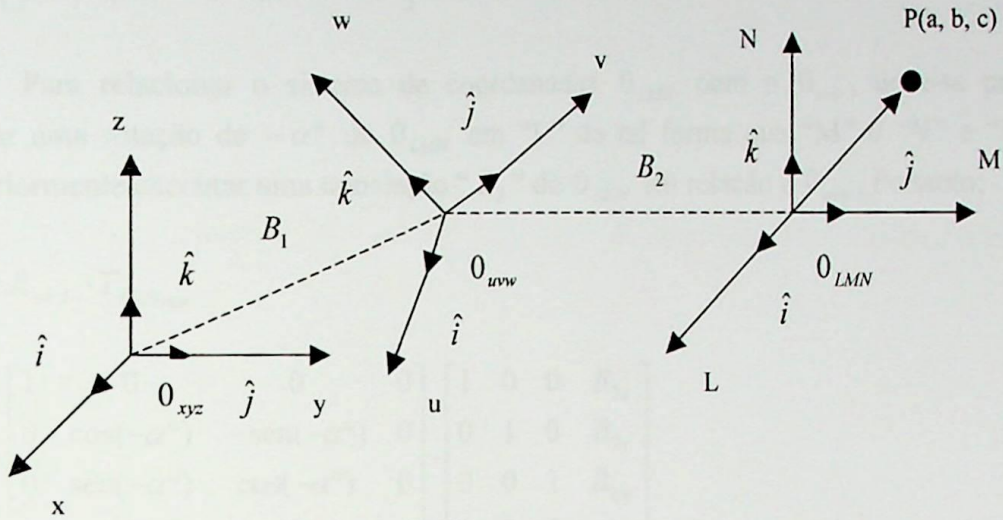


Figura 6.5 – Sistemas de coordenadas (x, y, z) , (u, v, w) e (L, M, N) .

Com base nos sistemas de coordenadas da Figura 6.4.2, “p”, com referência a 0_{LMN} , é dado pela equação (6.41).

$$p = a \cdot \hat{i}_L + b \cdot \hat{j}_M + c \cdot \hat{k}_N \quad (6.41)$$

Para relacionar o sistema de coordenadas 0_{uvw} com o 0_{xyz} , deve-se estabelecer as seguintes operações:

- Primeiro rotacionar 0_{uvw} sobre o eixo “u” de tal forma que “v” // “y” e “w” // “z”. E posteriormente executar uma translação “ B_1 ” de 0_{uvw} em relação a 0_{xyz} .

Portanto:

$$H_1 = R_{\alpha, u} \cdot T_{B_1, 0_{uvw}} \quad (6.42)$$

$$H_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\alpha^\circ) & -\text{sen}(\alpha^\circ) & 0 \\ 0 & \text{sen}(\alpha^\circ) & \cos(\alpha^\circ) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & B_{1x} \\ 0 & 1 & 0 & B_{1y} \\ 0 & 0 & 1 & B_{1z} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6.43)$$

$$H_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & B_{1x} \\ 0 & \cos(\alpha^\circ) & -\text{sen}(\alpha^\circ) & B_{1y} \\ 0 & \text{sen}(\alpha^\circ) & \cos(\alpha^\circ) & B_{1z} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6.44)$$

Para relacionar o sistema de coordenadas 0_{LMN} com o 0_{uvw} , deve-se primeiramente efetuar uma rotação de $-\alpha^\circ$ de 0_{LMN} em "L" de tal forma que "M" // "V" e "N" // "w", e posteriormente executar uma translação " B_2 " de 0_{LMN} em relação a 0_{uvw} . Portanto:

$$H_2 = R_{-\alpha, L} \cdot T_{B_2, 0_{LMN}} \quad (6.45)$$

$$H_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(-\alpha^\circ) & -\text{sen}(-\alpha^\circ) & 0 \\ 0 & \text{sen}(-\alpha^\circ) & \cos(-\alpha^\circ) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & B_{2u} \\ 0 & 1 & 0 & B_{2v} \\ 0 & 0 & 1 & B_{2w} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6.46)$$

$$H_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & B_{2u} \\ 0 & \cos(-\alpha^\circ) & -\text{sen}(-\alpha^\circ) & B_{2v} \\ 0 & \text{sen}(-\alpha^\circ) & \cos(-\alpha^\circ) & B_{2w} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6.47)$$

A equação (7.48) descreve 0_{LMN} em relação a 0_{xyz} .

$$H = H_1 \cdot H_2 \quad (6.48)$$

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & B_{1x} \\ 0 & \cos(\alpha^\circ) & -\text{sen}(\alpha^\circ) & B_{1y} \\ 0 & \text{sen}(\alpha^\circ) & \cos(\alpha^\circ) & B_{1z} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & B_{2u} \\ 0 & \cos(-\alpha^\circ) & -\text{sen}(-\alpha^\circ) & B_{2v} \\ 0 & \text{sen}(-\alpha^\circ) & \cos(-\alpha^\circ) & B_{2w} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & B_{2u} + B_{1x} \\ 0 & 1 & 0 & (B_{2v} + B_{1y}) \cdot \cos(\alpha^\circ) - (B_{2w} + B_{1z}) \cdot \text{sen}(\alpha^\circ) \\ 0 & 0 & 1 & (B_{2w} + B_{1z}) \cdot \cos(\alpha^\circ) + (B_{2v} + B_{1y}) \cdot \text{sen}(\alpha^\circ) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6.49)$$

Neste caso o ponto "p", em relação a 0_{xyz} , é obtido pela equação (6.50).

$$p_{xyz} = H \cdot p_{LMN} \quad (6.50)$$

$$p_{xyz} = \begin{bmatrix} B_{2u} + B_{1x} + p_L \\ (B_{2v} + B_{1y}) \cdot \cos(\alpha^\circ) - (B_{2w} + B_{1z}) \cdot \text{sen}(\alpha^\circ) + p_M \\ (B_{2w} + B_{1z}) \cdot \cos(\alpha^\circ) + (B_{2v} + B_{1y}) \cdot \text{sen}(\alpha^\circ) + p_N \\ 1 \end{bmatrix} \quad (6.51)$$

Considere os seguintes valores numéricos: $B_{1x} = 0, B_{1y} = 5, B_{1z} = 2, B_{2u} = 0, B_{2v} = 3$ e $B_{2w} = -3$. O ponto $p = (0, 2, 3)$ e $\alpha = 60^\circ$. Substituindo esses valores na equação (6.51) obtém-se:

$$p_{xyz} = \begin{bmatrix} 0 \\ 6,86603 \\ 9,4282 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (6.52)$$

A Figura 6.6 apresenta o mesmo ponto “p” anteriormente, agora descrito no sistema de coordenadas (x, y, z) , com base no resultado obtido na equação (6.52).

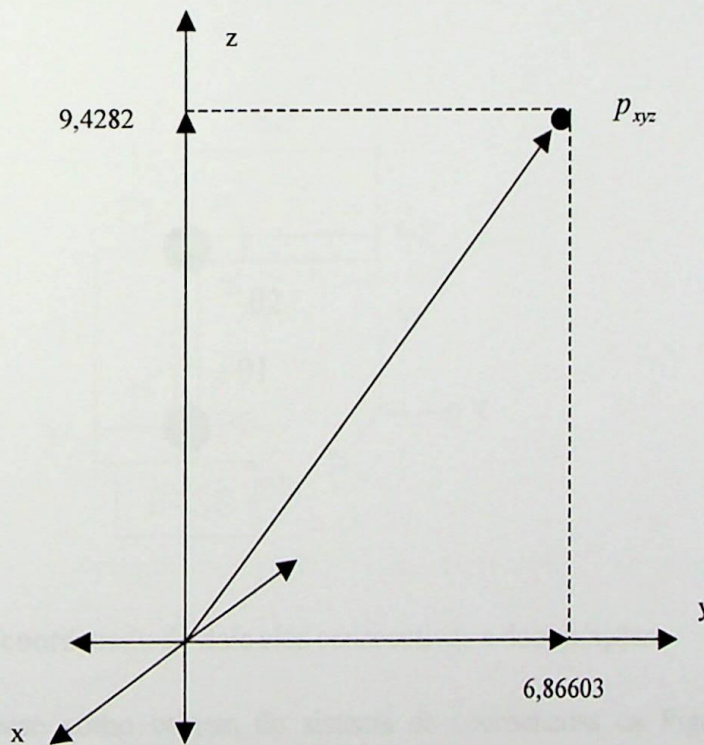


Figura 6.6 – Gráfico do ponto p em relação ao sistema de coordenadas (x, y, z) .

Cinemática do Robô

7.1 – Cinemática Direta de um Manipulador

O objetivo da cinemática direta é determinar a forma geral da transformação que relaciona os sistemas coordenados de elos vizinhos. Tais transformações podem ser concatenadas de modo a se resolver a cinemática direta para o manipulador.[6]

Existem diversas maneiras de representar e obter a cinemática direta dos manipuladores. Aqui, porém, será abordado apenas o método matricial, que pode ser usado diretamente em computadores.

A Figura 7.1 mostra os sistemas coordenados de dois elos consecutivos e duas junções.

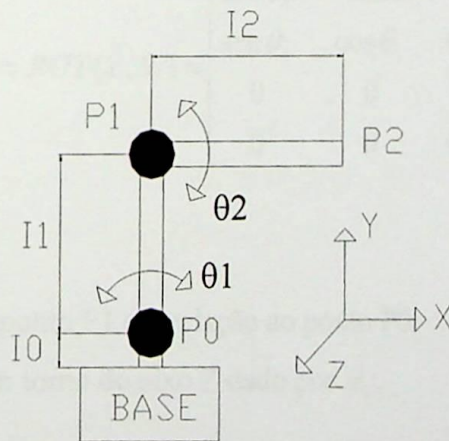


Figura 7.1 – Sistema coordenado de dois elos consecutivos e duas junções.

Adotando a base como origem do sistema de coordenadas da Figura 7.1, os pontos chamados de BASE, P0, P1 e P2 terão as seguintes coordenadas cartesianas.

$$\text{BASE} = [0, 0, 0]$$

$$\text{P0} = [0, I_0, 0]$$

$$\text{P1} = [0, I_0 + I_1, 0]$$

$$\text{P2} = [I_2, I_0 + I_1, 0]$$

Observa-se na Figura 7.1 que o manipulador possui duas juntas rotacionais, com rotações em torno do eixo Z. Entre o ponto P0 e a base ocorre somente um deslocamento.

Entre o ponto P2 e o ponto P1 ocorre uma rotação dada por θ_2 . Os valores das coordenadas cartesianas do ponto P2 em relação ao ponto P1, incluindo a rotação, podem ser obtidos por:

$${}_{P_1}^{P_2}T = ROT(\hat{Z}, \theta_2) = \begin{bmatrix} \cos \theta_2 & -\text{sen } \theta_2 & 0 & 0 \\ \text{sen } \theta_2 & \cos \theta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7.1)$$

onde:

${}_{P_1}^{P_2}T$ = transformação do ponto P2 em relação ao ponto P1.

$ROT(\hat{Z}, \theta_2)$ = rotação em torno do eixo Z dado por θ_2 .

Os valores das coordenadas cartesianas do ponto P1 em relação ao ponto P0, incluindo a rotação, que nesse elo é dada por θ_1 , são obtidos por:

$${}_{P_0}^{P_1}T = ROT(\hat{Z}, \theta_1) = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & -\text{sen } \theta_1 & 0 & 0 \\ \text{sen } \theta_1 & \cos \theta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7.2)$$

onde:

${}_{P_0}^{P_1}T$ = transformação do ponto P1 em relação ao ponto P0.

$ROT(\hat{Z}, \theta_1)$ = rotação em torno do eixo Z dado por θ_1 .

Ocorre também entre esses dois pontos uma translação de valor I_1 , que é expressa por:

$${}_{P_0}^{P_1}T = TRANS(\hat{Y}, I_1) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & I_1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7.3)$$

onde:

${}_{P_0}^{P_1}T$ = transformação do ponto P1 em relação ao ponto P0.

$TRANS(\hat{Y}, I_1)$ = translação de valor I1 no eixo Y.

No ponto P0 e a BASE ocorre uma translação de valor I0. Os valores das coordenadas cartesianas do ponto P0 em relação a BASE, podem ser obtidos por:

$${}^{P_0}_{P_{BASE}}T = TRANS(\hat{Y}, I_0) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & I_0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7.4)$$

onde:

${}^{P_0}_{P_{BASE}}T$ = transformação do ponto P0 em relação a BASE.

$TRANS(\hat{Y}, I_0)$ = translação de valor I0 no eixo Y.

Para obter as coordenadas do ponto P2 em relação a origem que é a BASE, basta multiplicar entre si as matrizes da cada movimento, desde o ponto P2 até a BASE.

$${}^{P_2}_{P_{BASE}}T = {}^{P_0}_{P_{BASE}}T \cdot {}^{P_1}_{P_0}T \cdot {}^{P_2}_{P_1}T \quad (7.5)$$

onde:

${}^{P_2}_{P_{BASE}}T$ = transformação do ponto P2 em relação a BASE.

${}^{P_0}_{P_{BASE}}T$ = transformação do ponto P0 em relação a BASE.

${}^{P_1}_{P_0}T$ = transformação do ponto P1 em relação ao ponto P0.

${}^{P_2}_{P_1}T$ = transformação do ponto P2 em relação ao ponto P1.

$${}^{P_2}_{P_{BASE}}T = TRANS(\hat{Y}, I_0) \cdot ROT(\hat{Z}, \theta_1) \cdot TRANS(\hat{Y}, I_1) \cdot ROT(\hat{Z}, \theta_2) \quad (7.6)$$

onde:

${}^{P_2}_{P_{BASE}}T$ = transformação do ponto P2 em relação a BASE.

$TRANS(\hat{Y}, I_0)$ = translação de valor I0 no eixo Y.

$ROT(\hat{Z}, \theta_1)$ = rotação em torno do eixo Z dado por θ_1 .

$TRANS(\hat{Y}, I_1)$ = translação de valor I1 no eixo Y.

$ROT(\hat{Z}, \theta_2)$ = rotação em torno do eixo Z dado por θ_2 .

Os resultados intermediários são:

$${}^{P_0}_{P_{BASE}}T = TRANS(\hat{Y}, I_0) \cdot ROT(\hat{Z}, \theta_1) \quad (7.7)$$

$${}^{P_0}_{P_{BASE}}T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & I_0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & -\text{sen } \theta_1 & 0 & 0 \\ \text{sen } \theta_1 & \cos \theta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & -\text{sen } \theta_1 & 0 & 0 \\ \text{sen } \theta_1 & \cos \theta_1 & 0 & I_0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7.8)$$

$${}^{P_1}_{P_{BASE}}T = {}^{P_0}_{P_{BASE}}T \cdot TRANS(\hat{Y}, I_1) \quad (7.9)$$

onde:

${}^{P_1}_{P_{BASE}}T$ = transformação do ponto P1 em relação a BASE.

${}^{P_0}_{P_{BASE}}T$ = transformação do ponto P0 em relação a BASE.

$TRANS(\hat{Y}, I_1)$ = translação de valor I_1 no eixo Y.

$${}^{P_1}_{P_{BASE}}T = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & -\text{sen } \theta_1 & 0 & 0 \\ \text{sen } \theta_1 & \cos \theta_1 & 0 & I_0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & I_1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & -\text{sen } \theta_1 & 0 & -I_1 \cdot \text{sen } \theta_1 \\ \text{sen } \theta_1 & \cos \theta_1 & 0 & I_1 \cdot \cos \theta_1 + I_0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7.10)$$

Finalmente:

$${}^{P_1}_{P_{BASE}}T = {}^{P_1}_{P_{BASE}}T \cdot ROT(\hat{Z}, \theta_2) \quad (7.11)$$

$${}^{P_1}_{P_{BASE}}T = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & -\text{sen } \theta_1 & 0 & -I_1 \cdot \text{sen } \theta_1 \\ \text{sen } \theta_1 & \cos \theta_1 & 0 & I_1 \cdot \cos \theta_1 + I_0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \theta_2 & -\text{sen } \theta_2 & 0 & 0 \\ \text{sen } \theta_2 & \cos \theta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^{P_1}_{P_{BASE}}T = \begin{bmatrix} \cos \theta_2 \cdot \cos \theta_1 - \text{sen } \theta_2 \cdot \text{sen } \theta_1 & -\text{sen } \theta_2 \cdot \cos \theta_1 - \cos \theta_2 \cdot \text{sen } \theta_1 & 0 & -I_1 \cdot \text{sen } \theta_1 \\ \cos \theta_2 \cdot \text{sen } \theta_1 + \text{sen } \theta_2 \cdot \cos \theta_1 & -\text{sen } \theta_2 \cdot \text{sen } \theta_1 + \cos \theta_2 \cdot \cos \theta_1 & 0 & I_1 \cdot \cos \theta_1 + I_0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Essa matriz pode ser simplificada através das seguintes identidades trigonométricas.

$$\text{sen } \theta \cdot \cos \alpha \pm \cos \theta \cdot \text{sen } \alpha = \text{sen}(\theta \pm \alpha)$$

$$\cos \theta \cdot \cos \alpha \pm \text{sen } \theta \cdot \text{sen } \alpha = \cos(\theta \pm \alpha)$$

Então:

$${}_{P_{BASE}}^{P_1} T = \begin{bmatrix} \cos(\theta_2 + \theta_1) & -\text{sen}(\theta_2 + \theta_1) & 0 & -I_1 \cdot \text{sen } \theta_1 \\ \text{sen}(\theta_2 + \theta_1) & \cos(\theta_2 + \theta_1) & 0 & I_1 \cdot \cos \theta_1 + I_0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7.12)$$

Para obter os valores das coordenadas cartesianas do ponto P2 com relação a origem (BASE), basta multiplicar a matriz acima pela a matriz de coordenadas cartesianas do ponto P2.

$$P_2 = {}_{P_{BASE}}^{P_2} T \cdot P_2 = \begin{bmatrix} \cos(\theta_2 + \theta_1) & -\text{sen}(\theta_2 + \theta_1) & 0 & -I_1 \cdot \text{sen } \theta_1 \\ \text{sen}(\theta_2 + \theta_1) & \cos(\theta_2 + \theta_1) & 0 & I_1 \cdot \cos \theta_1 + I_0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_2 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (7.13)$$

$$P_2 = \begin{bmatrix} I_2 \cdot \cos(\theta_2 + \theta_1) - I_1 \cdot \text{sen } \theta_1 \\ I_2 \cdot \text{sen}(\theta_2 + \theta_1) + I_1 \cdot \cos \theta_1 + I_0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (7.14)$$

$$\therefore P_2 = \left\{ \begin{array}{l} X = I_2 \cdot \cos(\theta_2 + \theta_1) - I_1 \cdot \text{sen } \theta_1 \\ Y = I_2 \cdot \text{sen}(\theta_2 + \theta_1) + I_1 \cdot \cos \theta_1 + I_0 \\ Z = 0 \end{array} \right\}$$

7.2 – Cálculos da Cinemática Direta de um Robô Real

A Figura 7.2 mostra um manipulador simplificado, onde serão estabelecidas as coordenadas cartesianas de cada ponto e as matrizes correspondentes a cada movimento.[10]

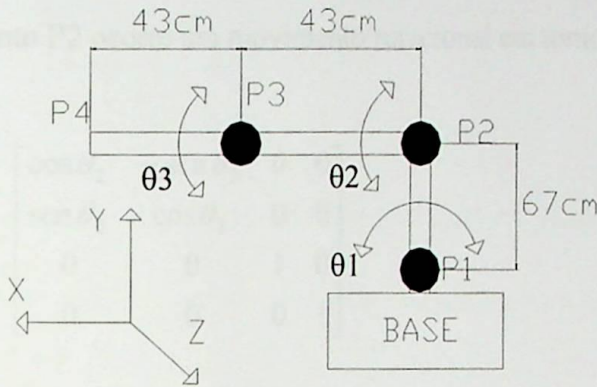


Figura 7.2 – Manipulador simplificado.

A Figura 7.2 mostra o movimento rotacional θ_1 no ponto P1. Ele poderia estar no ponto P1 ou no ponto P2, sem alterar a cinemática.

Coordenadas cartesianas de cada ponto

$$\text{BASE} = [0, 0, 0]$$

$$P1 = [0, 0, 0]$$

$$P2 = [0, 67, 0]$$

$$P3 = [43, 67, 0]$$

$$P4 = [86, 67, 0]$$

Matrizes correspondentes a cada movimento

No ponto P3 ocorre um movimento rotacional em torno do eixo Z.

$$ROT(\hat{Z}, \theta_3) = \begin{bmatrix} \cos \theta_3 & -\text{sen } \theta_3 & 0 & 0 \\ \text{sen } \theta_3 & \cos \theta_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7.15)$$

No ponto P2 ocorre um movimento rotacional em torno do eixo Z.

$$ROT(\hat{Z}, \theta_2) = \begin{bmatrix} \cos \theta_2 & -\text{sen } \theta_2 & 0 & 0 \\ \text{sen } \theta_2 & \cos \theta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7.16)$$

No ponto P1 ocorre um movimento rotacional em torno do eixo Y.

$$ROT(\hat{Y}, \theta_1) = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & 0 & \text{sen } \theta_1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\text{sen } \theta_1 & 0 & \cos \theta_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7.17)$$

Do ponto P1 para o ponto P2 ocorre um movimento de translação ao longo do eixo Y.

$$TRANS(\hat{Y}, 67) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 67 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7.18)$$

Do ponto P2 para o ponto P3 ocorre um movimento de translação ao longo do eixo X.

$$TRANS(\hat{X}, 43) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 43 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7.19)$$

Do ponto P3 para o ponto P4 ocorre um movimento de translação ao longo do eixo X.

$$TRANS(\hat{X}, 43) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 43 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7.20)$$

Cálculo da matriz correspondente para cada ponto

Da BASE para o ponto P1, somente o movimento rotacional em torno do Y.

$${}_{P_{BASE}}^{P_1}T = ROT(\hat{Y}, \theta_1) = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & 0 & \text{sen } \theta_1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\text{sen } \theta_1 & 0 & \cos \theta_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7.21)$$

Do ponto P1 para o ponto P2 ocorre um movimento de translação ao longo do eixo Y.

$${}_{P_{BASE}}^{P_2}T = {}_{P_{BASE}}^{P_1}T \cdot TRANS(\hat{Y}, 67) = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & 0 & \text{sen } \theta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\text{sen } \theta_1 & 0 & \cos \theta_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 67 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7.22)$$

$${}_{P_{BASE}}^{P_2}T = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & 0 & \text{sen } \theta_1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 67 \\ -\text{sen } \theta_1 & 0 & \cos \theta_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7.23)$$

No ponto P2 ocorre um movimento rotacional em torno do eixo Z.

$${}^{P_2}T = {}^{P_{BASE}}T \cdot ROT(\hat{Z}, \theta_2) = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & 0 & \text{sen } \theta_1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 67 \\ -\text{sen } \theta_1 & 0 & \cos \theta_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \theta_2 & -\text{sen } \theta_2 & 0 & 0 \\ \text{sen } \theta_2 & \cos \theta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7.24)$$

$${}^{P_2}T = \begin{bmatrix} \cos \theta_2 \cdot \cos \theta_1 & -\text{sen } \theta_2 \cdot \cos \theta_1 & \text{sen } \theta_1 & 0 \\ \text{sen } \theta_2 & \cos \theta_2 & 0 & 67 \\ -\cos \theta_2 \cdot \text{sen } \theta_1 & \text{sen } \theta_2 \cdot \text{sen } \theta_1 & \cos \theta_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7.25)$$

Do ponto P2 para o ponto P3 ocorre um movimento de translação ao longo do eixo X.

$${}^{P_3}T = {}^{P_2}T \cdot TRANS(\hat{X}, 43) \quad (7.26)$$

$${}^{P_3}T = \begin{bmatrix} \cos \theta_2 \cdot \cos \theta_1 & -\text{sen } \theta_2 \cdot \cos \theta_1 & \text{sen } \theta_1 & 0 \\ \text{sen } \theta_2 & \cos \theta_2 & 0 & 67 \\ -\cos \theta_2 \cdot \text{sen } \theta_1 & \text{sen } \theta_2 \cdot \text{sen } \theta_1 & \cos \theta_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 43 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7.27)$$

$${}^{P_3}T = \begin{bmatrix} \cos \theta_2 \cdot \cos \theta_1 & -\text{sen } \theta_2 \cdot \cos \theta_1 & \text{sen } \theta_1 & 43 \cdot \cos \theta_2 \cdot \cos \theta_1 \\ \text{sen } \theta_2 & \cos \theta_2 & 0 & 43 \cdot \text{sen } \theta_2 + 67 \\ -\cos \theta_2 \cdot \text{sen } \theta_1 & \text{sen } \theta_2 \cdot \text{sen } \theta_1 & \cos \theta_1 & -43 \cdot \cos \theta_2 \cdot \text{sen } \theta_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7.28)$$

No ponto P3 ocorre um movimento rotacional em torno do eixo Z.

$${}^{P_3}T = {}^{P_3}T \cdot ROT(\hat{Z}, \theta_3) \quad (7.29)$$

$$\begin{bmatrix} \cos \theta_2 \cdot \cos \theta_1 & -\text{sen } \theta_2 \cdot \cos \theta_1 & \text{sen } \theta_1 & 43 \cdot \cos \theta_2 \cdot \cos \theta_1 \\ \text{sen } \theta_2 & \cos \theta_2 & 0 & 43 \cdot \text{sen } \theta_2 + 67 \\ -\cos \theta_2 \cdot \text{sen } \theta_1 & \text{sen } \theta_2 \cdot \text{sen } \theta_1 & \cos \theta_1 & -43 \cdot \cos \theta_2 \cdot \text{sen } \theta_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \theta_3 & -\text{sen } \theta_3 & 0 & 0 \\ \text{sen } \theta_3 & \cos \theta_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^{P_3}T_{BASE} = \begin{bmatrix} M_{1,1} & M_{1,2} & M_{1,3} & M_{1,4} \\ M_{2,1} & M_{2,2} & M_{2,3} & M_{2,4} \\ M_{3,1} & M_{3,2} & M_{3,3} & M_{3,4} \\ M_{4,1} & M_{4,2} & M_{4,3} & M_{4,4} \end{bmatrix} \quad (7.30)$$

Onde:

$$M_{1,1} = \cos \theta_3 \cdot \cos \theta_2 \cdot \cos \theta_1 - \text{sen } \theta_3 \cdot \text{sen } \theta_2 \cdot \cos \theta_1$$

$$M_{1,2} = -\text{sen } \theta_3 \cdot \cos \theta_2 \cdot \cos \theta_1 - \cos \theta_3 \cdot \text{sen } \theta_2 \cdot \cos \theta_1$$

$$M_{1,3} = \text{sen } \theta_1$$

$$M_{1,4} = 43 \cdot \cos \theta_2 \cdot \cos \theta_1$$

$$M_{2,1} = \cos \theta_3 \cdot \text{sen } \theta_2 + \text{sen } \theta_3 \cdot \cos \theta_2$$

$$M_{2,2} = -\text{sen } \theta_3 \cdot \text{sen } \theta_2 + \cos \theta_3 \cdot \cos \theta_2$$

$$M_{2,3} = 0$$

$$M_{2,4} = 43 \cdot \text{sen } \theta_2 + 67$$

$$M_{3,1} = -\cos \theta_3 \cdot \cos \theta_2 \cdot \text{sen } \theta_1 + \text{sen } \theta_3 \cdot \text{sen } \theta_2 \cdot \text{sen } \theta_1$$

$$M_{3,2} = \text{sen } \theta_3 \cdot \cos \theta_2 \cdot \text{sen } \theta_1 + \cos \theta_3 \cdot \text{sen } \theta_2 \cdot \text{sen } \theta_1$$

$$M_{3,3} = \cos \theta_1$$

$$M_{3,4} = -43 \cdot \cos \theta_2 \cdot \text{sen } \theta_1$$

$$M_{4,1} = 0$$

$$M_{4,2} = 0$$

$$M_{4,3} = 0$$

$$M_{4,4} = 1$$

Cálculos das coordenadas cartesianas

Multiplicando a matriz obtida pelo deslocamento do ponto P4 em relação ao ponto P3 obtém-se:

$$P_4 = {}^{P_3}T \cdot P_4 = \begin{bmatrix} M_{1,1} & M_{1,2} & M_{1,3} & M_{1,4} \\ M_{2,1} & M_{2,2} & M_{2,3} & M_{2,4} \\ M_{3,1} & M_{3,2} & M_{3,3} & M_{3,4} \\ M_{4,1} & M_{4,2} & M_{4,3} & M_{4,4} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 43 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (7.31)$$

$$P_4 = \begin{bmatrix} 43 \cdot \cos \theta_3 \cdot \cos \theta_2 \cdot \cos \theta_1 - \text{sen } \theta_3 \cdot \text{sen } \theta_2 \cdot \cos \theta_1 \\ 43 \cdot \cos \theta_3 \cdot \text{sen } \theta_2 + \text{sen } \theta_3 \cdot \cos \theta_2 \\ 43 \cdot -\cos \theta_3 \cdot \cos \theta_2 \cdot \text{sen } \theta_1 + \text{sen } \theta_3 \cdot \text{sen } \theta_2 \cdot \text{sen } \theta_1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (7.32)$$

$$\therefore \begin{cases} X = 43 \cdot \cos \theta_3 \cdot \cos \theta_2 \cdot \cos \theta_1 - \text{sen } \theta_3 \cdot \text{sen } \theta_2 \cdot \cos \theta_1 \\ Y = 43 \cdot \cos \theta_3 \cdot \text{sen } \theta_2 + \text{sen } \theta_3 \cdot \cos \theta_2 \\ Z = 43 \cdot -\cos \theta_3 \cdot \cos \theta_2 \cdot \text{sen } \theta_1 + \text{sen } \theta_3 \cdot \text{sen } \theta_2 \cdot \text{sen } \theta_1 \end{cases}$$

Utilizando as equações obtidas, pode-se determinar as novas coordenadas da junção da garra, a partir de quaisquer ângulos θ_1 , θ_2 e/ou θ_3 (movimentos rotacionais ou graus de liberdade).

7.3 – Métodos de Programação de Robôs por Aprendizagem

Existem duas maneiras de realizar a programação por aprendizagem:

- Movimentação mecanizada;
- Movimentação manual.

Movimentação mecanizada

Este método usa um *teach-in box* para controlar os motores das várias juntas numa série de pontos no espaço. Cada ponto é registrado na memória para repetição subsequente durante o ciclo de trabalho. O *teach-in box* consiste em uma pequena caixa de controle portátil, com combinações de interruptores de alavanca, mostradores e botões para regular os movimentos físicos. É principalmente limitado a movimento ponto a ponto e não a movimentos contínuos, devido à dificuldade de utilização para regular movimentos geométricos complexos no espaço. Um grande número de aplicações industriais de robôs consiste em movimentos ponto a ponto do manipulador, tais como, tarefas de transferências, carga e descarga de peças em máquinas e soldagem a ponto.

Movimentação manual

Este método também é conhecido pelo método de “acompanhamento passo a passo”, e é usado para programação de caminho contínuo, em que o ciclo de movimento envolve movimentos curvilíneos suaves e complexos do braço do robô.

O exemplo mais comum desse tipo de aplicação na robótica é a pintura por pulverização e a solda a arco. Nesses métodos, o programador segura o braço do robô (e o órgão terminal) e executa o movimento desejado.

Para robôs de grandes dimensões é difícil para o programador executar a movimentação física. Nesse caso, substitui-se o robô por um aparelho especial de programação, que possui basicamente a mesma geometria do robô mas é mais fácil de se manipular durante a programação. Um botão de ensino, normalmente instalado perto do punho do robô, (ou do aparelho especial de programação), é pressionado durante o movimento do manipulador, tornando-se parte do ciclo programado. Isto proporciona ao programador a capacidade de realizar movimentos adicionais do braço, sem que os mesmos sejam incluídos no programa final. O ciclo de movimento é dividido em centenas ou até milhares de pontos individuais, muito próximos uns dos outros, ao longo da trajetória, e esses pontos são registrados na memória do controlador.

7.4 – Linguagem Textuais de Programação de Robôs

A primeira linguagem textual para robôs foi a WAVE, desenvolvida em 1973 como linguagem experimental de pesquisa no *Stanford Artificial Intelligence Laboratory*. A pesquisa, que usava essa linguagem, envolvia um robô interfaceado com um sistema de visão. Essa pesquisa demonstrou a viabilidade de coordenação visual e motora do robô. O desenvolvimento de uma linguagem subsequente começou em 1974, em *Stanford*. A linguagem foi chamada AL (*Assembly Language*) e podia ser usada para controlar braços múltiplos em tarefas que exigiam uma coordenação entre eles.

A linguagem VAL (*Victor Assembly Language*, de *Victor Schernman*) foi introduzida em 1979 pela *Unimation Inc.* para seus robôs da série PUMA. A nova versão, VAL II, foi lançada em 1984.

Em 1976, duas linguagens da IBM foram desenvolvidas, a AUTOPASS e a AML (*A Manufacturing Language*). A AML tornou-se comercialmente disponível em 1982, para os robôs da IBM. Ambas as linguagens são dirigidas para tarefas de montagem e tarefas correlatas.

Exemplos de linguagens textuais para robôs:

- RAIL (*Robot Automatix Incorporated Language*) introduzida em 1981 pela *Automatix*, para montagem de robôs de solda elétrica e para visão por computador;
- MCL (*Manufacturing Control Language*), desenvolvida sob o patrocínio da Força Aérea Norte Americana por McDonnell-Douglas, como melhoramento da linguagem APT (*Automatically Programed Tooling*), sendo uma linguagem de programação para usinagem por controle numérico;
- HELP, uma linguagem desenvolvida pela General Electric Company sob licença da firma italiana DEA. [2]

Capítulo 8

Projeto do Robô ROBOSSAN 2

8.1 Introdução

É um robô animatrônico, com características de movimentos parecidos com os dos seres humanos, da cintura para cima. Consiste de uma base com três rodas, as duas dianteiras destinadas a tração, independentemente e a traseira apenas para o apoio do robô. Os motores das rodas funcionam com 12VCC, com controle remoto por um transmissor.

Os movimentos das mãos, braços e antebraços, são executados por sistemas pneumáticos, sendo que na mão os dedos são controlados simultaneamente. O pescoço é acionado por um cilindro pneumático que permite um giro de 180°. A cabeça possui movimentos da boca, sobrançelha e olho, através de servos. No olho há uma microcâmera monocromática.

O sistema é comandado através de ondas rádio, com alcance de 1 km e possui um computador portátil para viabilizar tarefas autônomas.

8.2 Construção da cabeça

Na cabeça do Robossan II, está instalado uma parte do sistema de telecomunicações, que é o sistema de transmissão de áudio e vídeo e recepção de áudio.

Transmissão de áudio e vídeo

Para a transmissão dos sinais de áudio e vídeo captados pelo robô, foi utilizado um aparelho transmissor VHF, canal 12, com alcance de 50 m em espaço livre. O aparelho foi adaptado à cabeça do Robossan, que por ser o ponto mais alto, proporciona maior alcance.

A antena do transmissor deve ficar na parte externa da cabeça, visto que a sua estrutura metálica atua como uma blindagem.

A Figura 8.1 apresenta a posição em que a antena está instalada.

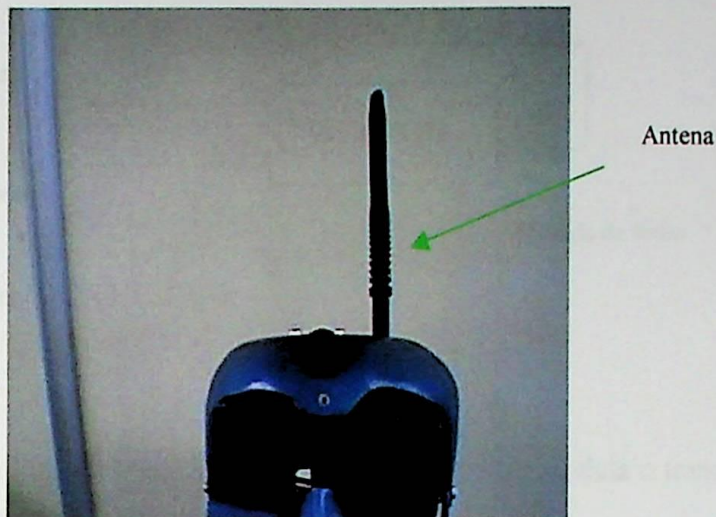


Figura 8.1 – Posição da antena de transmissão de áudio e vídeo.

As características técnicas do transmissor de RF são:

Tensão: 12 VCC
Consumo: 30 mA
Potência: 50 mW
Frequência: VHF, canal 12.

O sinal de áudio do ambiente do robô é captado por um microfone de eletreto instalado na cabeça e o sinal de vídeo é captado por uma microcâmera CCD, alojada no olho direito do robô. O olho esquerdo possui uma câmera idêntica, utilizada para visão em três dimensões ou para medir distâncias quando o robô estiver em movimento.

- Microfone de eletreto

O microfone utilizado já possui um amplificador embutido para dar um ganho no sinal.

Dados do microfone DX 50 TURBO:

- nível de ruído = 5%
- sensibilidade < 40 dBm
- consumo em 12 VDC < 15 mA
- VCC máximo = 13 V
- VCC mínimo = 6 V
- Dimensões = 15 x 24 x 13 mm

A Figura 8.2 apresenta um detalhe dos terminais do microfone.

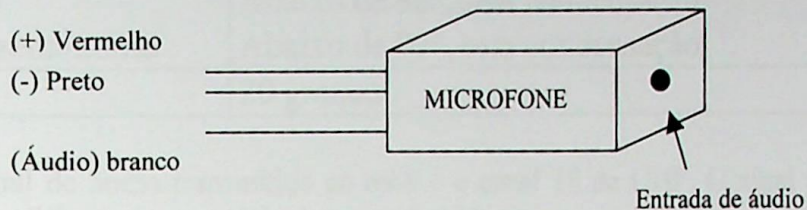


Figura 8.2 – Microfone DX 50 TURBO.

- Microcâmara

É uma câmara monocromática, CCD, cujo sinal de vídeo modula o transmissor de VHF, de alcance 50m.

A tabela 8.1 resume as características técnicas da câmara.

Tabela 8.1 – Características técnicas da câmara utilizada no robô.

Modelo	KODO REV(S) – Fabricado na Korea
Resolução horizontal	380 linhas de TV
Dispositivo de aquisição	1/3" interline CCD
Sistema de digitalização	525 linhas entrelaçadas (EIA) 625 linhas entrelaçadas (CCIR)
Sincronização	Interna
Sinal de saída	Sinal de vídeo composto, 75 Ω
Sensibilidade à luz -30 IRE	0.4 Lux
Interface de lente	1. Lente de foco fixo, $f = 3.6\text{mm}$, $F = 1.8$, Diagonal 92.5° 2. Lente de foco fixo, $f = 4.3\text{mm}$, $F = 1.8$, Diagonal 78° 3. Lente de foco fixo, $f = 2.9\text{mm}$, $F = 1.8$, Diagonal 110°
Auto-Iris	CCD Íris CCD com obturador elétrico, Max 1/100,000 s
Nível de ruído	45 dB ou mais
Gama	0.45
AGC	Disponível
Tensão de entrada	7.5 VCC a 14.5 VCC
Potencia consumida	0.96 W ou menos
Temperatura ambiente	

- Operação	Abaixo de 90°, sem condensação
- Em armazenamento	Abaixo de 90°, sem condensação
Peso	20 gramas

O canal de áudio transmitido ao robô é o canal 18 de UHF. O sinal captado pelo receptor é amplificado e encaminhado a um alto-falante.

A Figura 8.3 mostra a microcâmera instalada na cabeça do robô.

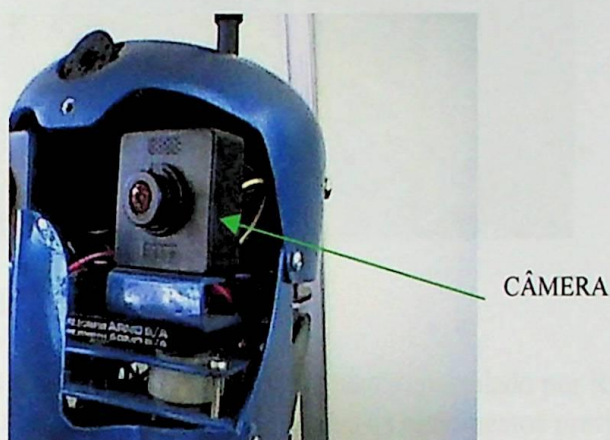


Figura 8.3 – Microcâmera Kodo monocromática.

Para que a cabeça do robô pudesse expressar alguns tipos de animação, foram construído os olhos, a boca, nariz e sobrancelha.

8.2.1 – Olho

Os dois olhos do robô são as próprias microcâmeras, instaladas sobre mancais e rolamentos, tracionadas por uma correia modelo 150 XL, interligada a um servo motor. As câmeras são monocromáticas e se movimentam na horizontal, de aproximadamente 180°.

Os mancais do olho possuem uma polia dentada, o que permite a precisão do movimento, sem deslizamento da correia.

A Figura 8.4 apresenta a montagem do olho e a instalação da microcâmera.

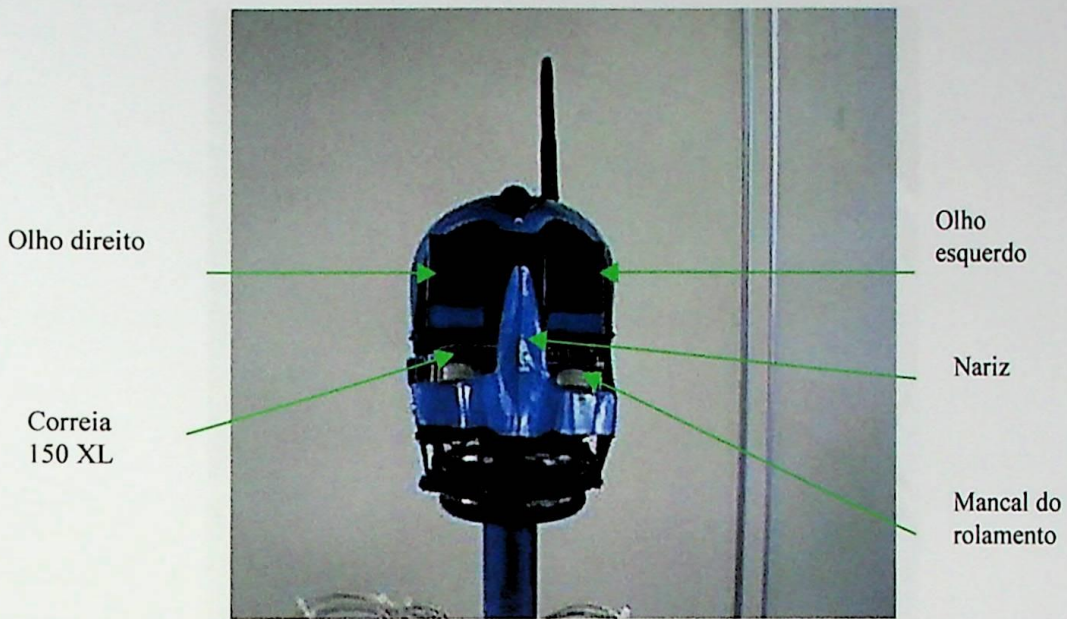


Figura 8.4 – Montagem do olho.

O acionamento do olho é feito através de um servo controlado por RF. A Figura 8.5 apresenta o servo S3003, utilizado para controlar todos os movimentos previstos no projeto do robô.

O nariz foi colocado no robô mais para dar uma expressão completa de um rosto.

Características do servo S3003

Alimentação: 4,8 VCC

Torque: 3,2Kg cm

Velocidade: 0,23s/60°

Tamanho: 40,4 x 19,8 x 36mm

Peso: 37,2g

Marca: Futaba



Figura 8.5 – Servo Futaba S3003.

Como funciona o servo S3003

O servo é composto de um motor de corrente contínua acoplado a uma caixa de redução. No eixo da caixa de redução há um potenciômetro de realimentação acoplado, que funciona como um sensor de posição do eixo.

A caixa de redução é um elemento muito importante do servo, que tem duas funções:

1^a) Reduzir a velocidade de ação, de modo que o potenciômetro acoplado não envie variações de posição muito rápidas ao circuito a ponto de causar instabilidade de funcionamento, tanto do servo como do próprio dispositivo mecânico externo a ser controlado.

2^a) Aumentar o torque de modo que possa movimentar pesos maiores.

A Figura 8.6 mostra um circuito típico de servo utilizado na robótica.

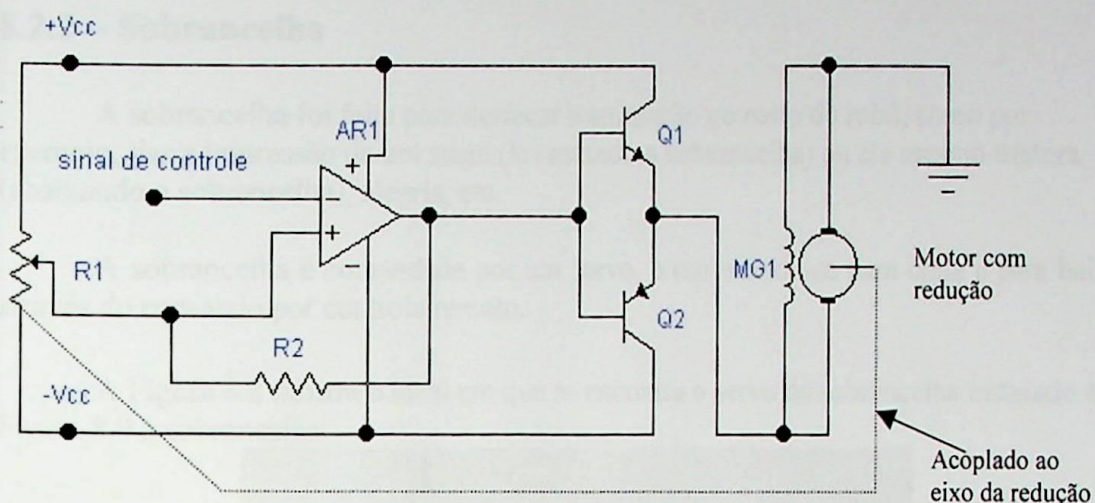


Figura 8.6 – Circuito típico de servo.

No servo são acoplados três fios: um vermelho para tensão positiva, um preto para tensão negativa e um branco que recebe o sinal de controle.

A Figura 8.7 apresenta uma foto da parte interna do servo utilizado no robô.

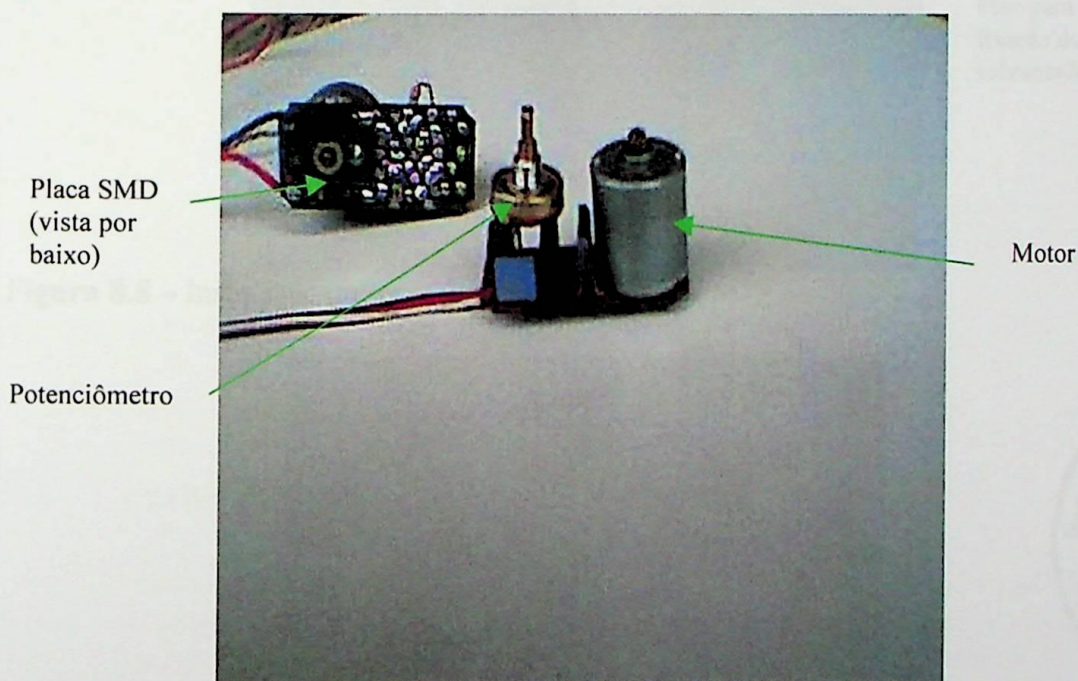


Figura 8.7 – Foto da parte interna do servo S3003.

8.2.2 – Sobrancelha

A sobrancelha foi feita para destacar a animação no rosto do robô, como por exemplo, dar a impressão de um susto (levantando a sobrancelha) ou até mesmo tristeza (abaixando a sobrancelha), alegria, etc.

A sobrancelha é comandada por um servo, e movimenta-se para cima e para baixo, através do comando por controle remoto.

A Figura 8.8 mostra o local em que se encontra o servo da sobrancelha instalado e a Figura 8.9 a sobrancelha.

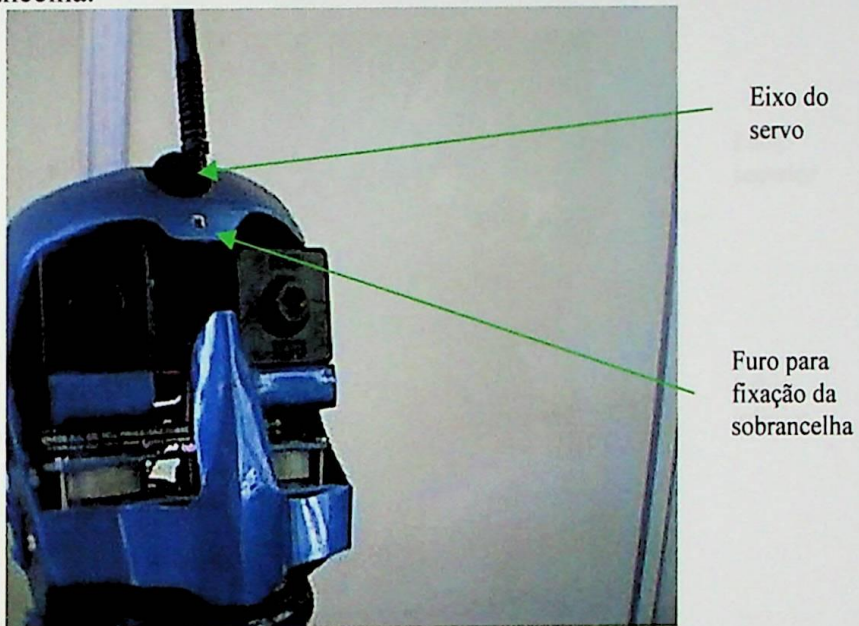


Figura 8.8 – Instalação do servo da sobrancelha.

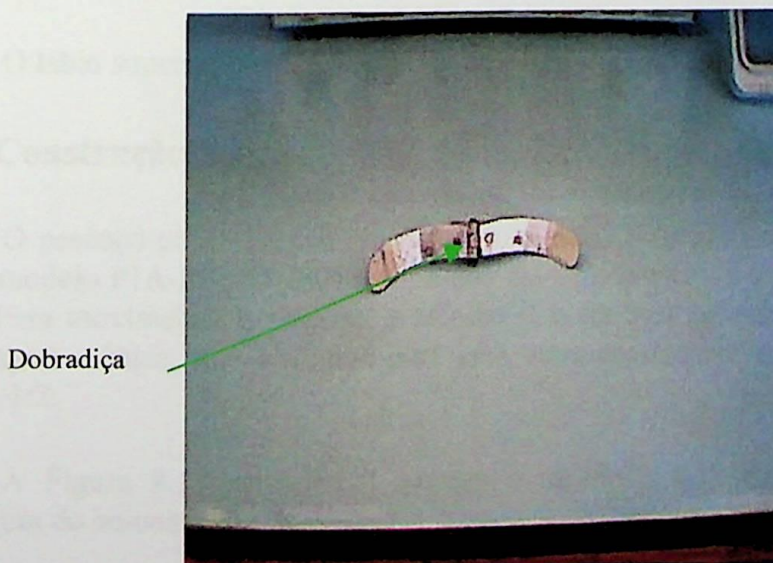


Figura 8.9 – Sobrancelha do robô.



8.2.3 – Boca

A boca é acionada por um servo, que possibilita o movimento de abrir e fechar, para simular a “fala” do robô. O controle do servo é remoto.

A Figura 8.10 mostra a boca instalada na cabeça do robô.

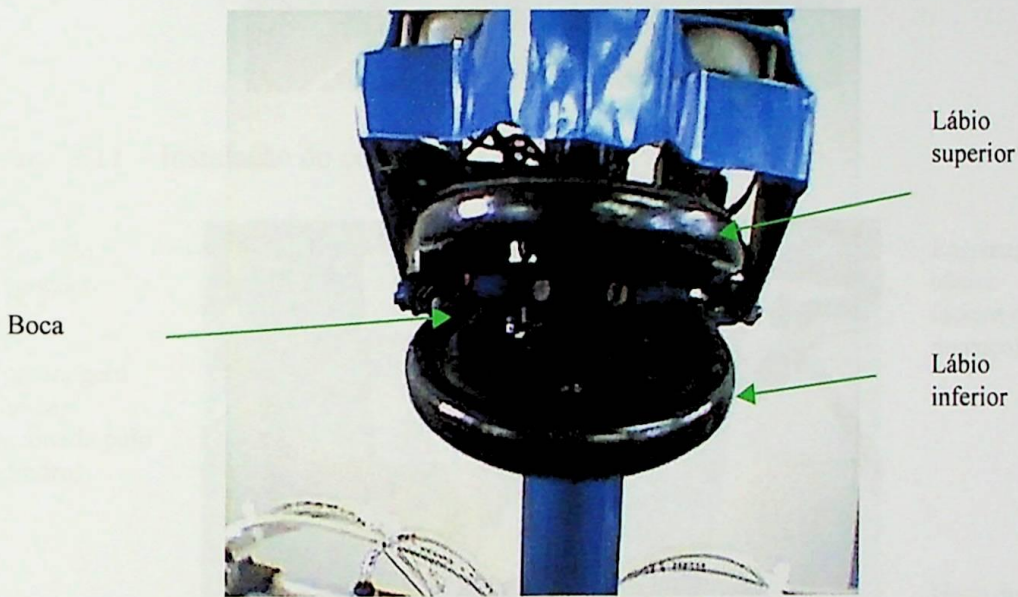


Figura 8.10 – Instalação da boca na cabeça do robô.

O lábio superior da boca é fixo e o servo aciona apenas o lábio inferior.

8.3 – Construção do pescoço

O pescoço pode executar um movimento giratório de 180°, através de um cilindro linear, modelo P1A-R010DS-0040 de pressão máxima de 10 bar e temperatura de -10°C a 80°C. Para movimentar o pescoço, o cilindro atua em uma alavanca que é fixa em uma engrenagem cônica, que transmite para uma outra engrenagem cônica pequena, numa relação 1:2.

A Figura 8.11 apresenta o pescoço e na Figura 8.12 mostra com detalhes a montagem do acionamento do pescoço.

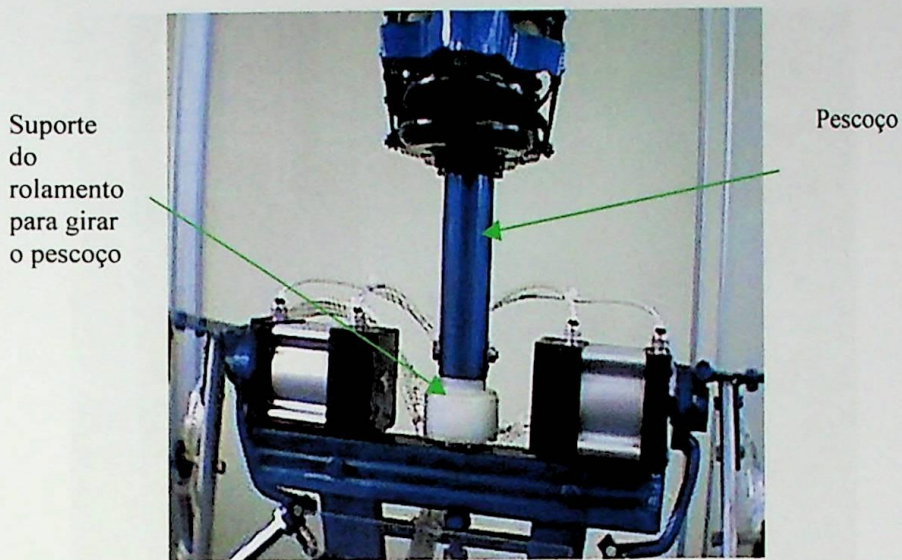


Figura 8.11 – Instalação do pesçoço.

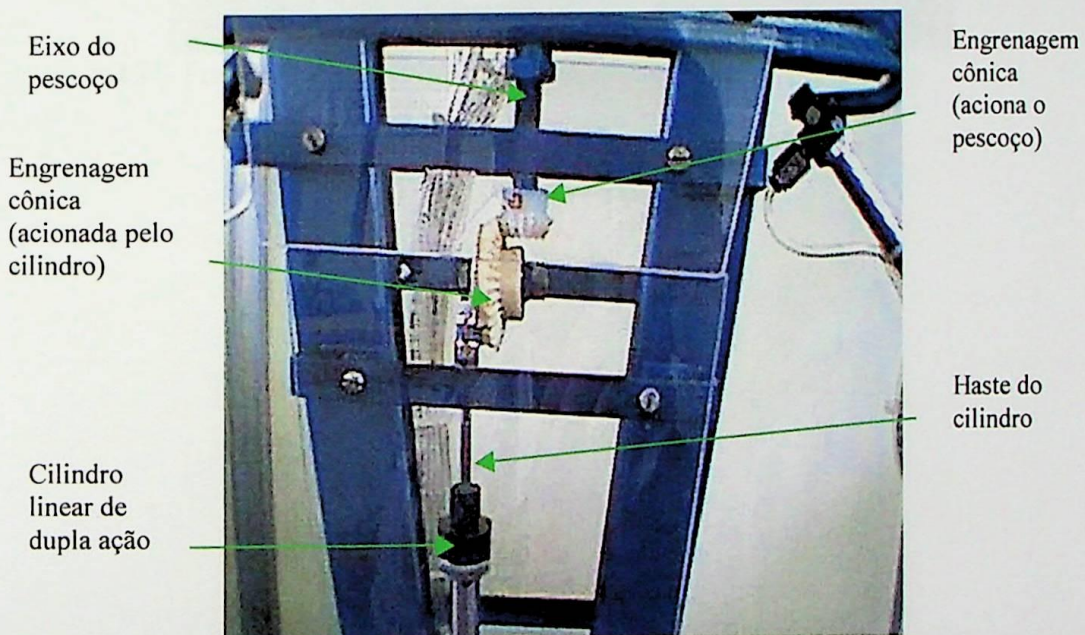


Figura 8.12 – Detalhes do acionamento do pesçoço.

A Figura 8.13 apresenta o pesçoço do robô visto por trás e a Figura 8.14 mostra o suporte do pesçoço sendo usinado.



Figura 8.13 – Foto do pescoço visto por trás.



Figura 8.14 – Usinagem do suporte do pescoço.

8.4 - Construção do tronco

No tronco foram fixados os ombros, o pescoço e a cintura do robô.

No ombro direito e esquerdo foi utilizado um cilindro giratório modelo PV22-180A-B32-B de no máximo 150 psi, que tem a finalidade de levantar e abaixar o braço do robô. Para possibilitar o movimento dos braços, foram feitas várias adaptações, mostradas detalhadamente na Figura 8.15 e na Figura 8.16.

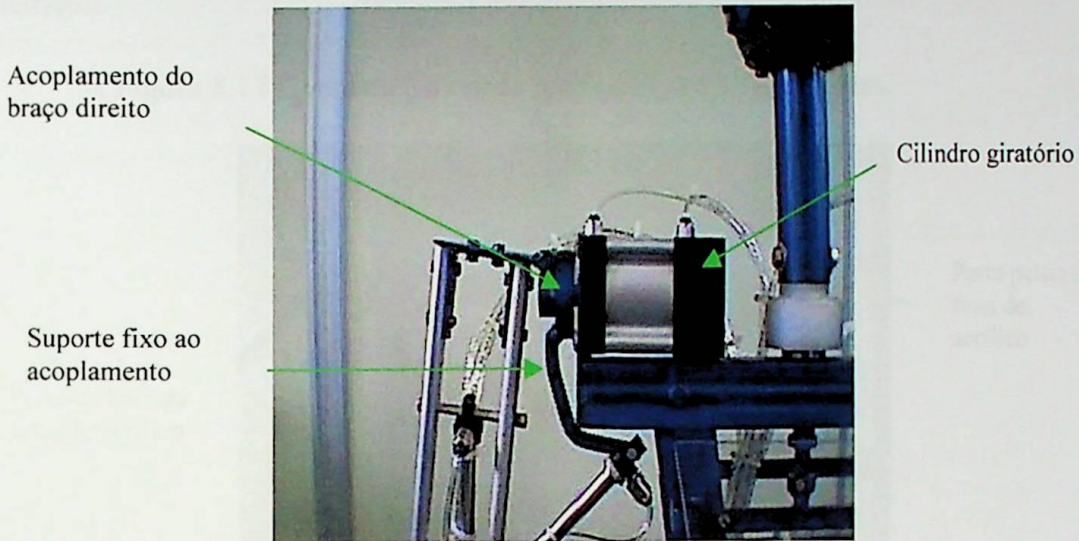


Figura 8.15 – Instalação do ombro direito (cilindro giratório).

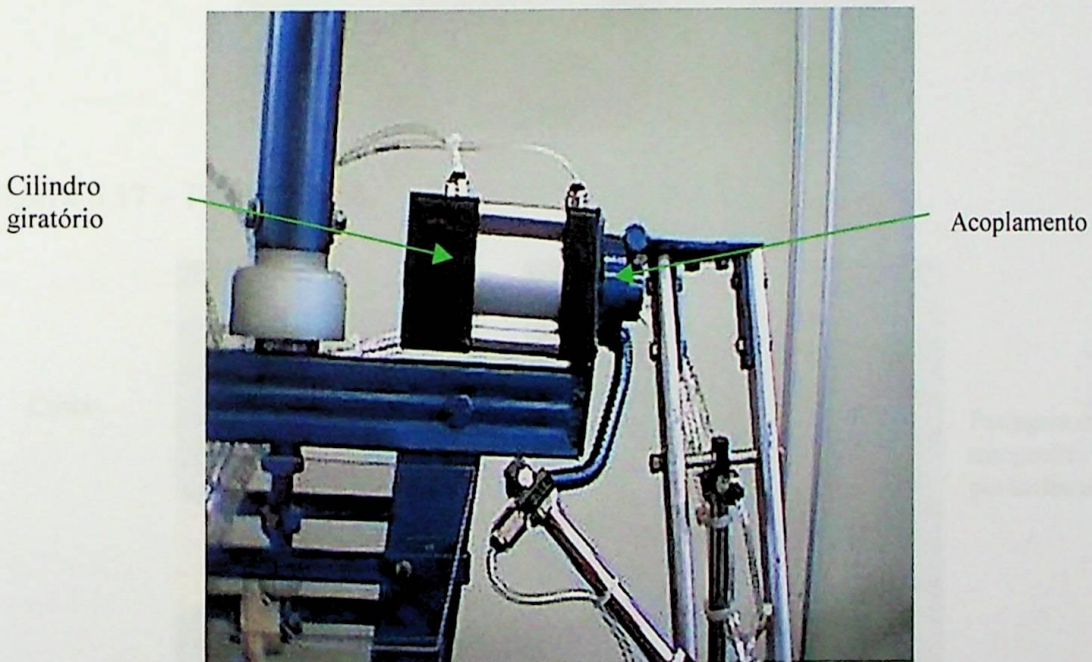


Figura 8.16 – Instalação do ombro esquerdo (cilindro giratório).

O acoplamento fixado no eixo do cilindro giratório, faz com que o braço possa ser desacoplado por inteiro, juntamente com o suporte fixo, que serve de apoio para o cilindro de abertura do braço.

8.4.1 – Tórax e costas

O tórax e as costas do robô foram construídos no formato de um trapézio e o espaço interno entre eles foi utilizado para a passagem das mangueiras pneumáticas e dos cabos elétricos.

A Figura 8.17 apresenta o tórax do robô e a Figura 8.18, as costas.

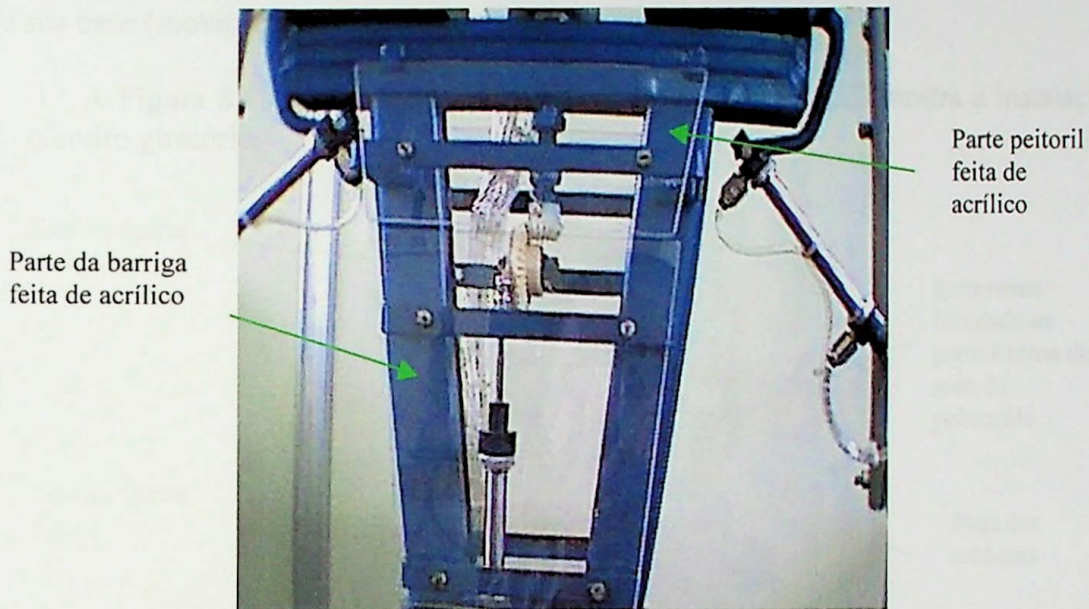


Figura 8.17 – Tórax do robô.

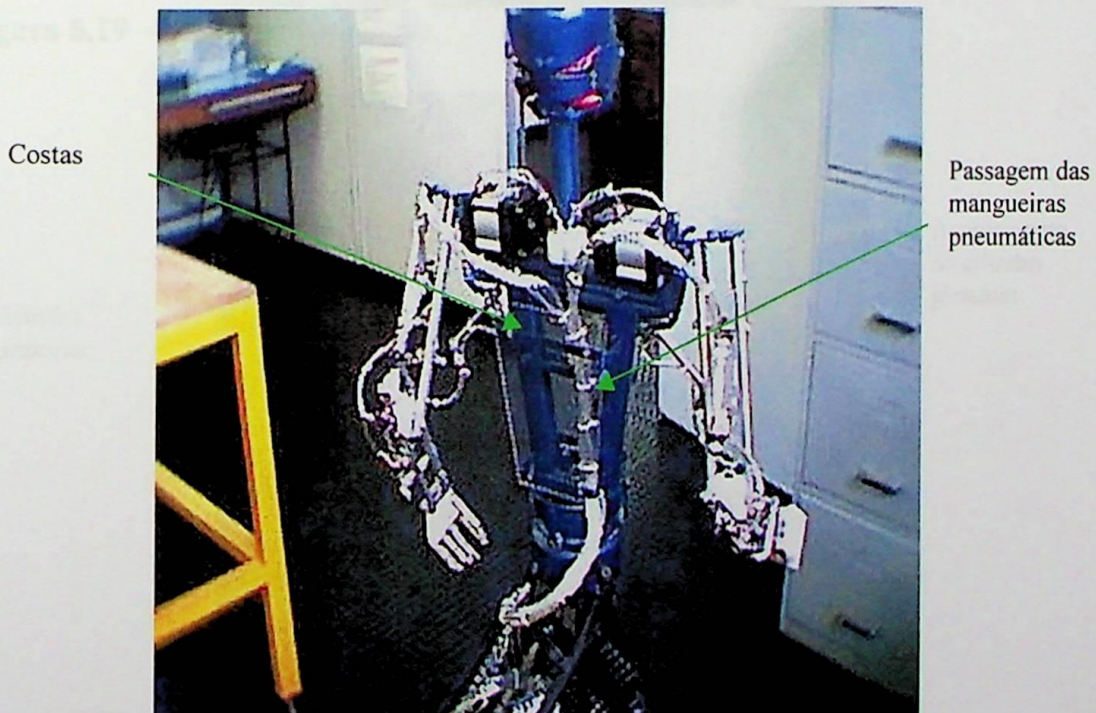


Figura 8.18 – Costas do robô.

8.4.2 – Cintura

A cintura do robô pode executar um movimento de aproximadamente 180°, com um cilindro giratório idêntico ao utilizado no ombro. O sistema de acoplamento da cintura utiliza três rolamentos na parte central e três na parte externa, no interior das rodas de poliamidas, que serve de apoio para a estrutura do tronco.

A cintura foi feita giratória para que o robô pudesse ter uma visão de 360° em torno de sua base (movimento de cintura e pescoço).

A Figura 8.19 apresenta os detalhes da cintura e a Figura 8.20 mostra a instalação do cilindro giratório.

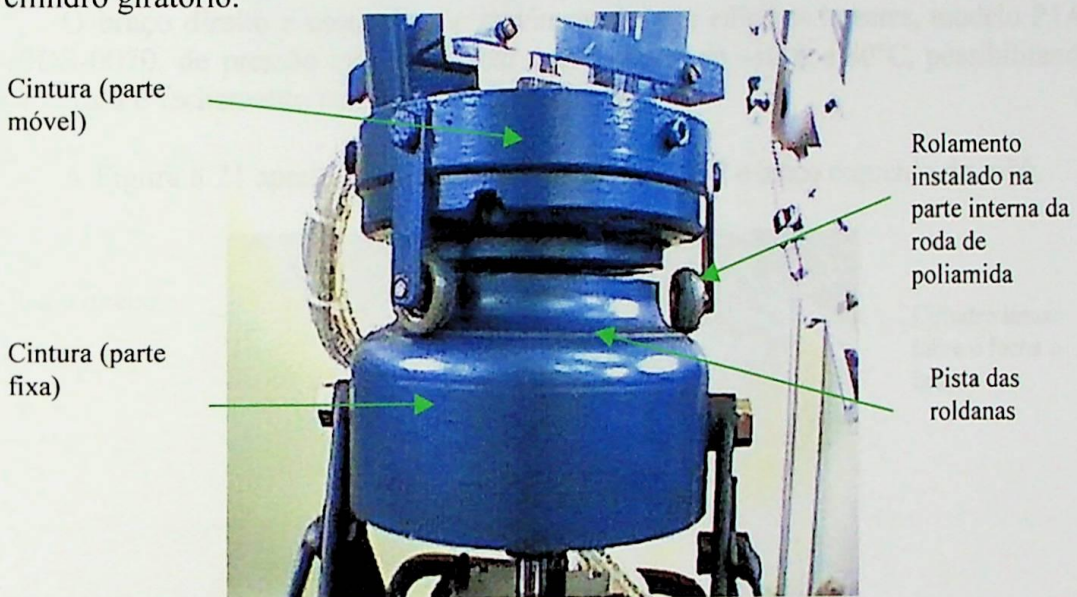


Figura 8.19 – Montagem da cintura.

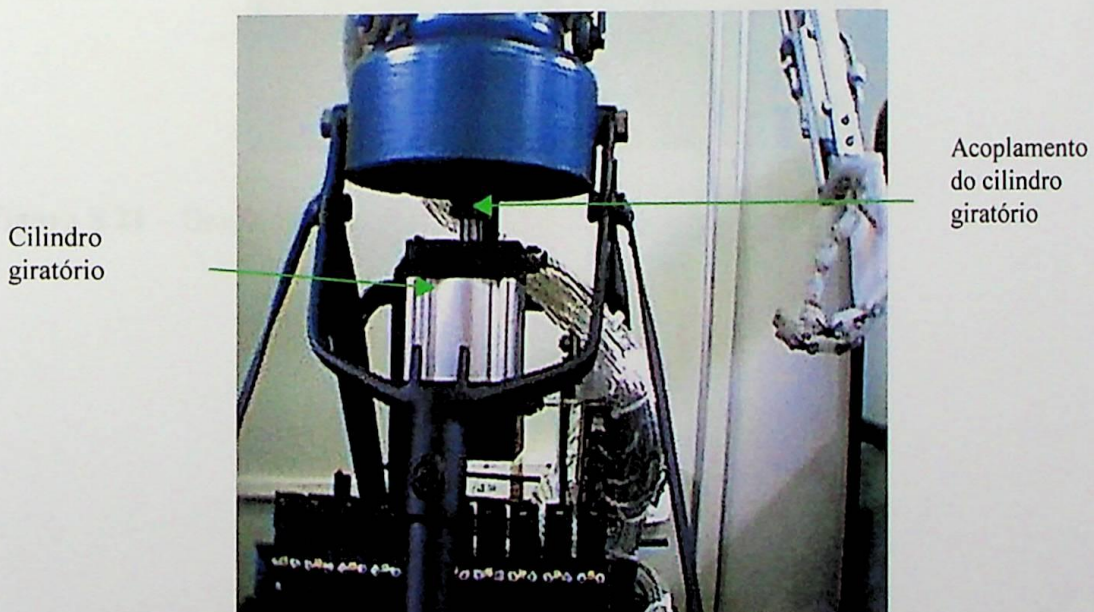


Figura 8.20 – Instalação do cilindro giratório da cintura.

As três roldanas de poliamida que ficam na parte externa da cintura, possuem ajustes que as mantêm equilibradas na pista de rodagem, evitando folga (balanço) no tronco do robô.

8.5 - Construção dos membros superiores

Os membros superiores, direito e esquerdo foram feitos de alumínio e poliamida para ficarem mais leves. Os braços e antebraços foram desenvolvidos.

8.5.1 – Braço direito e esquerdo

O braço direito e esquerdo são movimentados por cilindros lineares, modelo P1A-R010DS-0070, de pressão máxima 10 bar e temperatura de -10°C a 80°C , possibilitando sua abertura e fechamento num ângulo menor que 90° .[]

A Figura 8.21 apresenta o braço direito e a Figura 8.22 o braço esquerdo do robô.

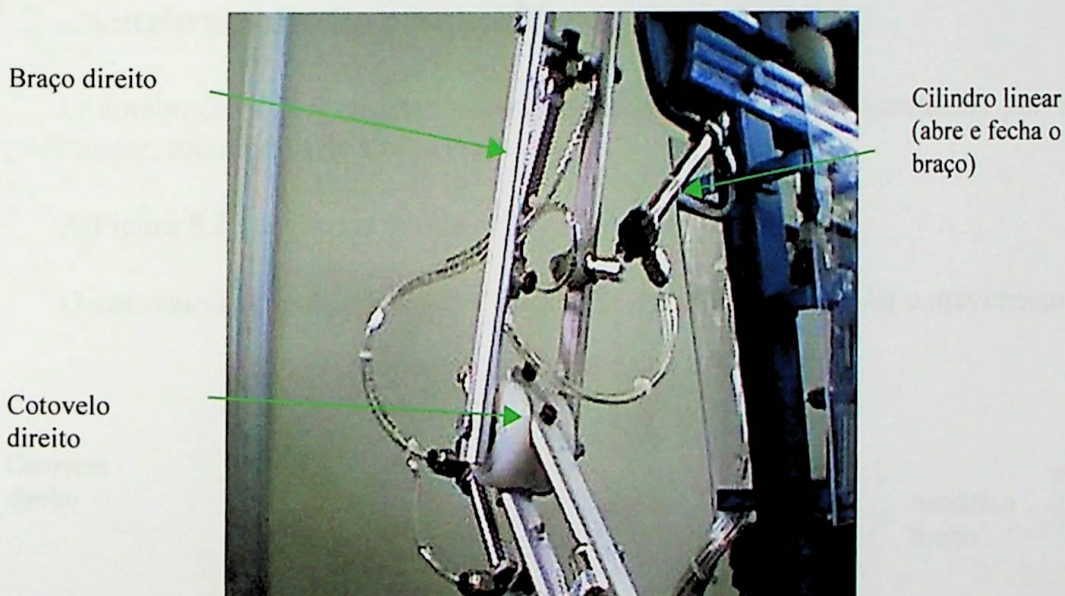


Figura 8.21 – Braço direito.

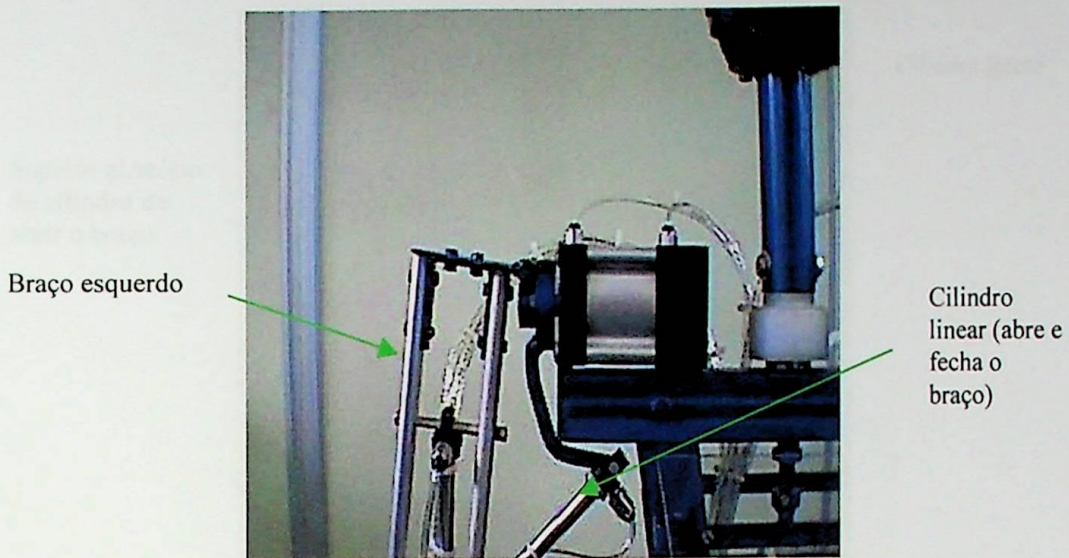


Figura 8.22 – Braço esquerdo.

8.5.2 – Antebraço direito e esquerdo

O antebraço possui um movimento de aproximadamente 90° , comandado por um cilindro linear, idêntico ao de abrir o braço.

A Figura 8.23 apresenta os detalhes da instalação do antebraço.

O cotovelo é feito de poliamida e aloja dois rolamentos para facilitar o movimento.

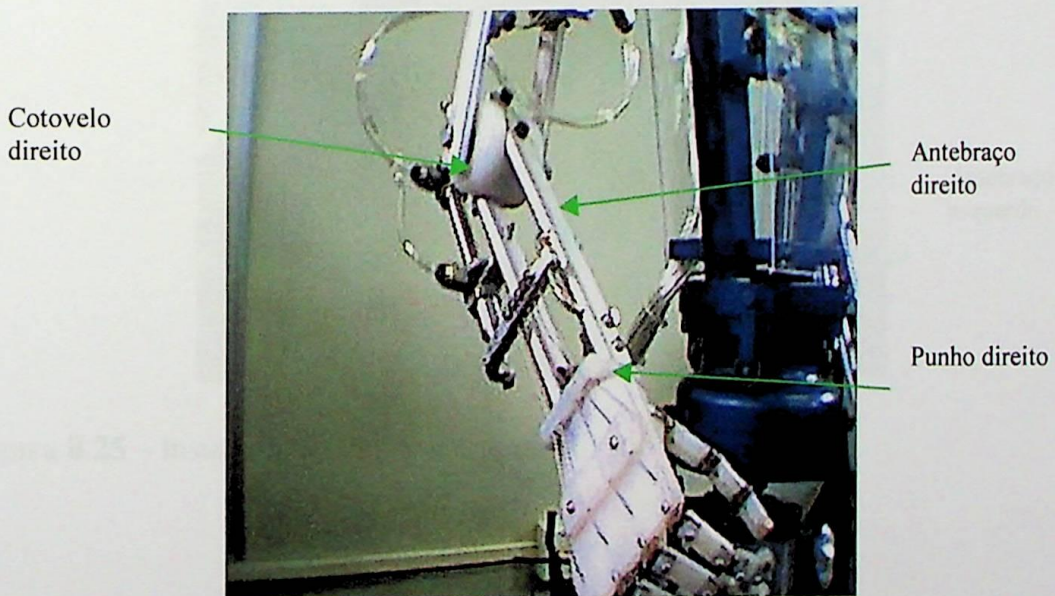
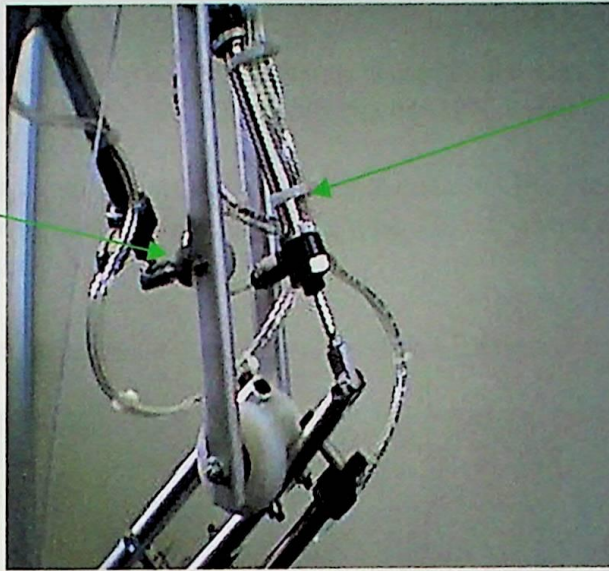


Figura 8.23 – Antebraço direito.

A Figura 8.24 apresenta a instalação do cilindro linear que movimenta o antebraço.

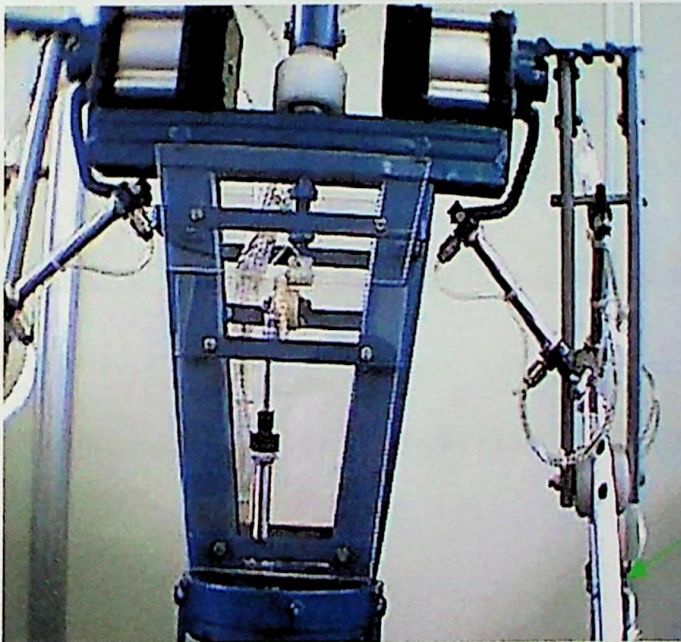
Suporte giratório
do cilindro de
abrir o braço



Cilindro linear

Figura 8.24 – Instalação do cilindro no antebraço.

A Figura 8.25 apresenta a instalação do antebraço esquerdo.



Antebraço
esquerdo

Figura 8.25 – Instalação do antebraço esquerdo.

8.5.3 – Mão direita e esquerda

A mão direita e esquerda são feitas de 5 dedos cada. A poliamida permite levantar um peso até 200g.

O cilindro utilizado para abrir e fechar os dedos simultaneamente é o P1A-R010DS-0040, com pressão máxima de 10 bar e temperatura de -10°C a 80°C . []

O cilindro atua em um suporte de alumínio onde são fixados os cabos de aço para acionar os dedos. O suporte de alumínio tem um parafuso de ajuste para cada cabo de aço que aciona os dedos.

A Figura 8.26 apresenta a mão direita com mais detalhes.

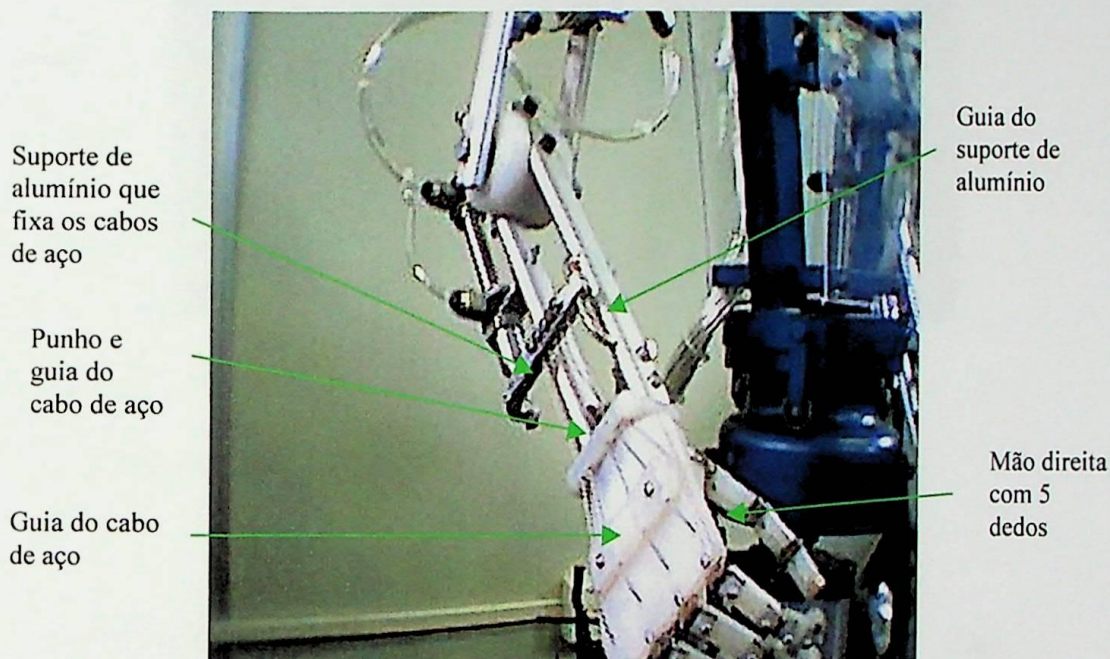


Figura 8.26 – Mão direita.

A Figura 8.27 apresenta os dedos da mão direita e suas identificações.

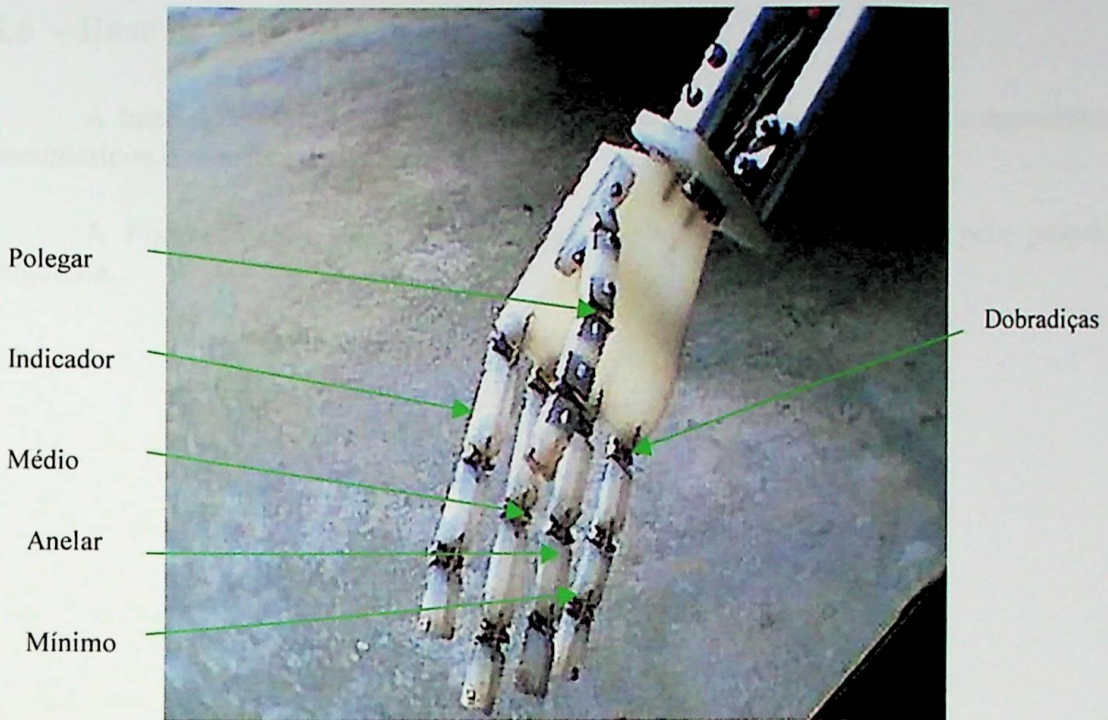


Figura 8.27 – Dedos da mão direita.

A Figura 8.28 apresenta a mão esquerda.

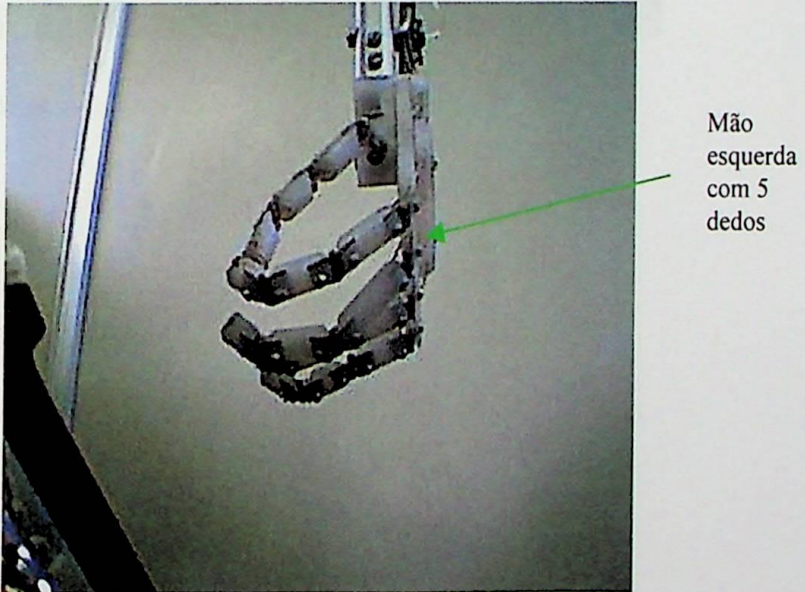


Figura 8.28 – Mão esquerda.

8.6 - Base do robô

A base do robô é praticamente o chassi onde é fixada a maioria dos componentes pneumáticos e elétricos e pesa 10,1 kg.

A Figura 8.29 e a Figura 8.30 apresenta a soldagem do chassi, pelo próprio projetista.

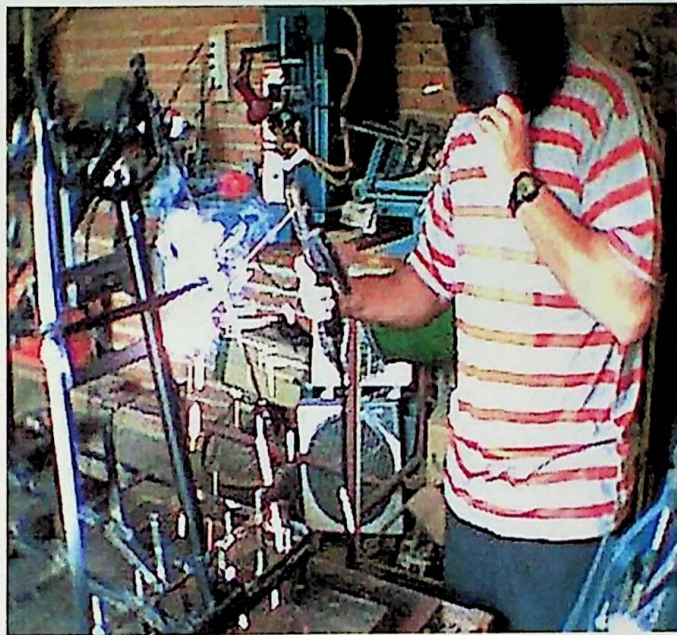


Figura 8.29 – Soldagem do chassi.



Figura 8.30 – Soldagem do suporte da eletroválvula.

A Figura 8.31 mostra o esmerilhamento da solda em excesso na parte do suporte do computador.

Suporte do computador

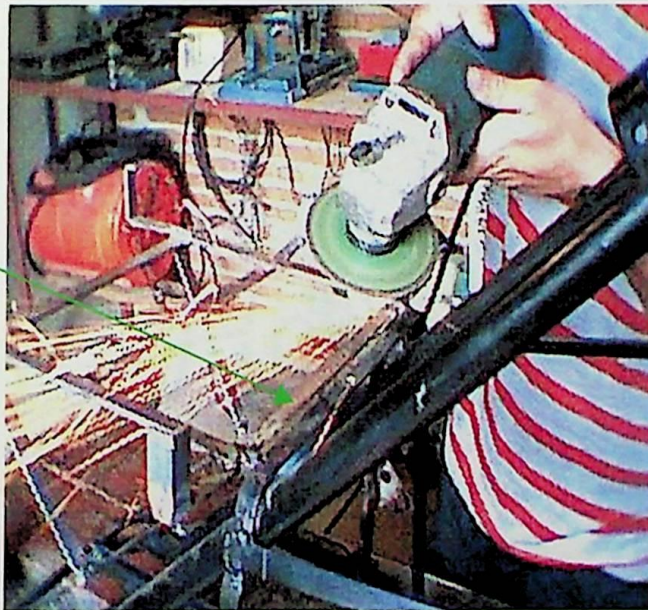


Figura 8.31 – Processo de desbaste do excesso de solda.

A Figura 8.32 apresenta o acabamento final do esmerilhamento do chassis.



Figura 8.32 – Acabamento final do esmerilhamento do chassis.

A Figura 8.33 mostra o chassis com a parte da serralheria terminada, sem a pintura de fundo.

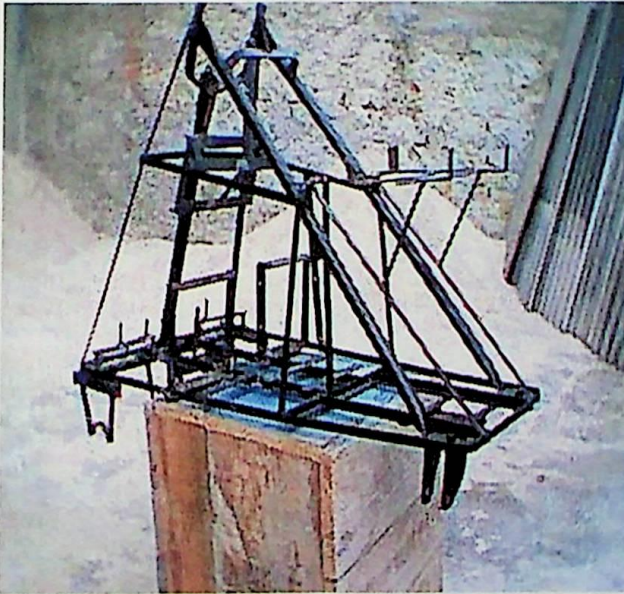


Figura 8.33 – Chassis pronto para receber a pintura de fundo.

A Figura 8.34 mostra a tinta sendo preparada para o processo de pintura de fundo.

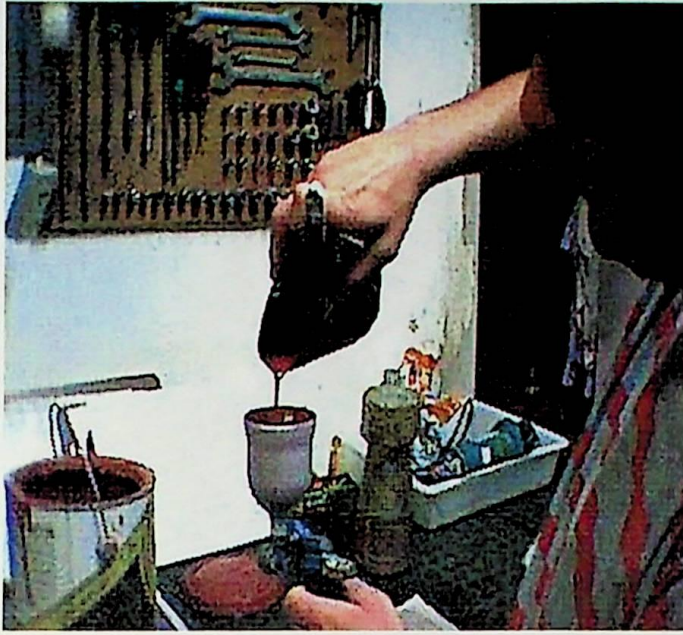


Figura 8.34 – Processo de preparação da tinta de fundo.

A Figura 8.35 e a Figura 8.36 apresenta o chassis sendo pintado.



Figura 8.35 – Pintura de fundo do chassis (cor vermelha).



Figura 8.36 – Pintura final do chassis (cor preto fosco).

A Figura 8.37 mostra o suporte do motor sendo esmerilhado.



Figura 8.37 – Suporte do motor sendo esmerilhado.

A Figura 8.38 mostra o suporte da polia dentada sendo esmerilhado.



Figura 8.38 – Suporte da polia dentada, intermediária, sendo esmerilhada.

A Figura 8.39 mostra a pintura do suporte do motor, do suporte da polia dentada e das braçadeiras do eixo da roda.

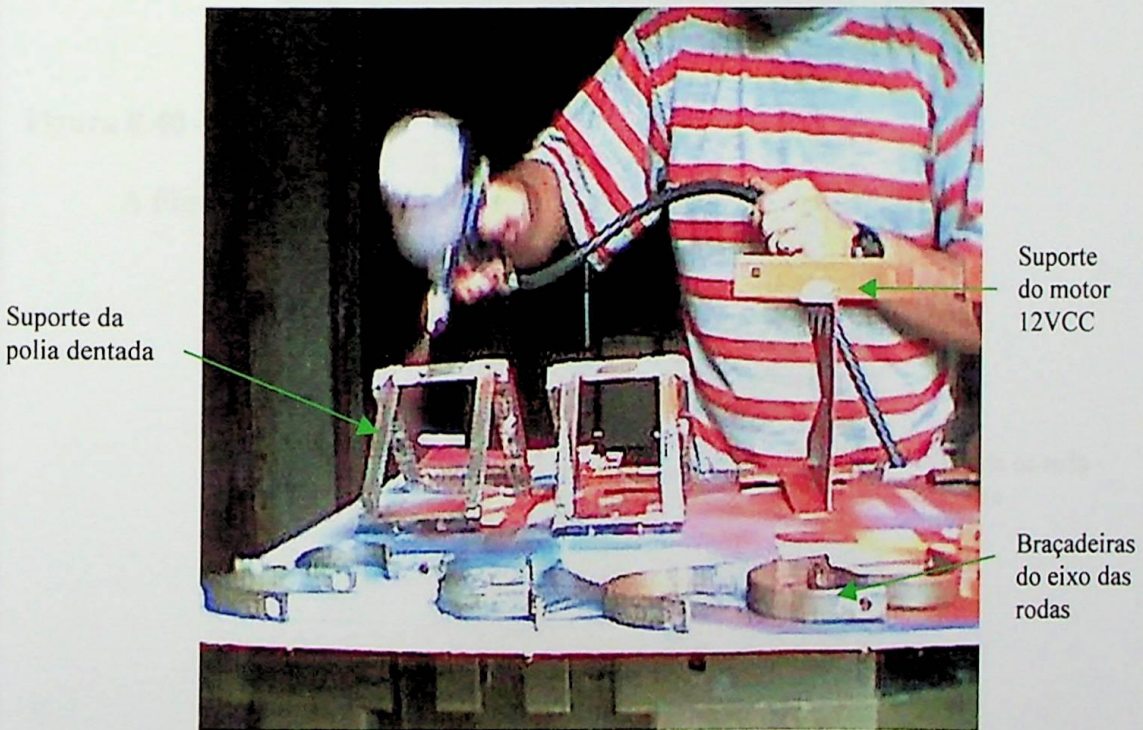


Figura 8.39 – Pintura do suporte do motor, das polias dentadas e braçadeiras do eixo das rodas.

8.6.1 – Sistema de transmissão

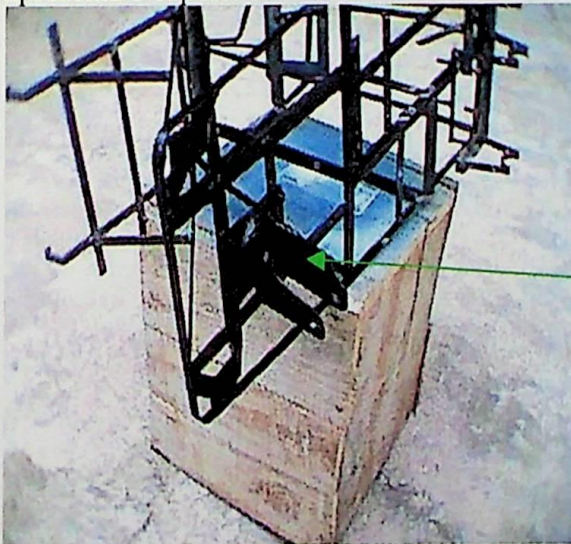
O roda traseira acompanha o movimento das duas rodas dianteiras, girando livremente em 360°, com um sistema de rolamento. O suporte, confeccionado de ferro, aloja o rolamento. A roda é feita de plástico e o pneu de borracha maciça.

A Figura 8.40 apresenta a roda traseira e seu eixo e porca para fixação.



Figura 8.40 – Roda traseira.

A Figura 8.41 apresenta o suporte da roda traseira no chassi.



Suporte da roda traseira

Figura 8.41 – Suporte da roda traseira.

A Figura 8.42 apresenta a roda traseira montada no suporte.



Figura 8.42 – Roda traseira montada no suporte.

Para acionar a roda dianteira e esquerda foi utilizado um motor potente, de longa vida tipo GPC, cujas características técnicas estão na Tabela 8.2.

Tabela 8.2 – Características técnicas do motor da roda dianteira.

Tensão	12VCC ou 24VCC
Potência máxima	210 W a 350W
Rotação	2.500 a 3.500 rpm
Consumo nominal	10 A
Sentido de giro	Horário e Anti-horário

A Figura 8.43 apresenta o motor utilizado no projeto do robô.



Figura 8.43 – Motor 12VCC utilizado na transmissão do robô.

A Figura 8.44 mostra a polia dentada intermediária do sistema de transmissão.

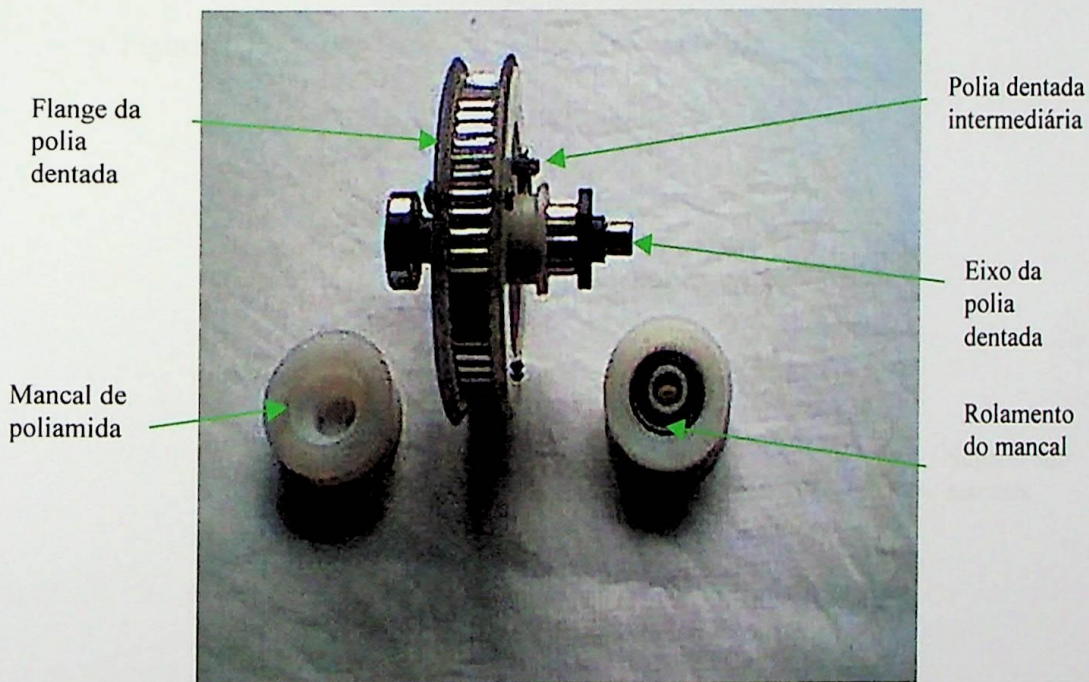


Figura 8.44 – Polia dentada intermediária.

A Figura 8.45 mostra o eixo das rodas dianteiras com mancais e polias dentadas.

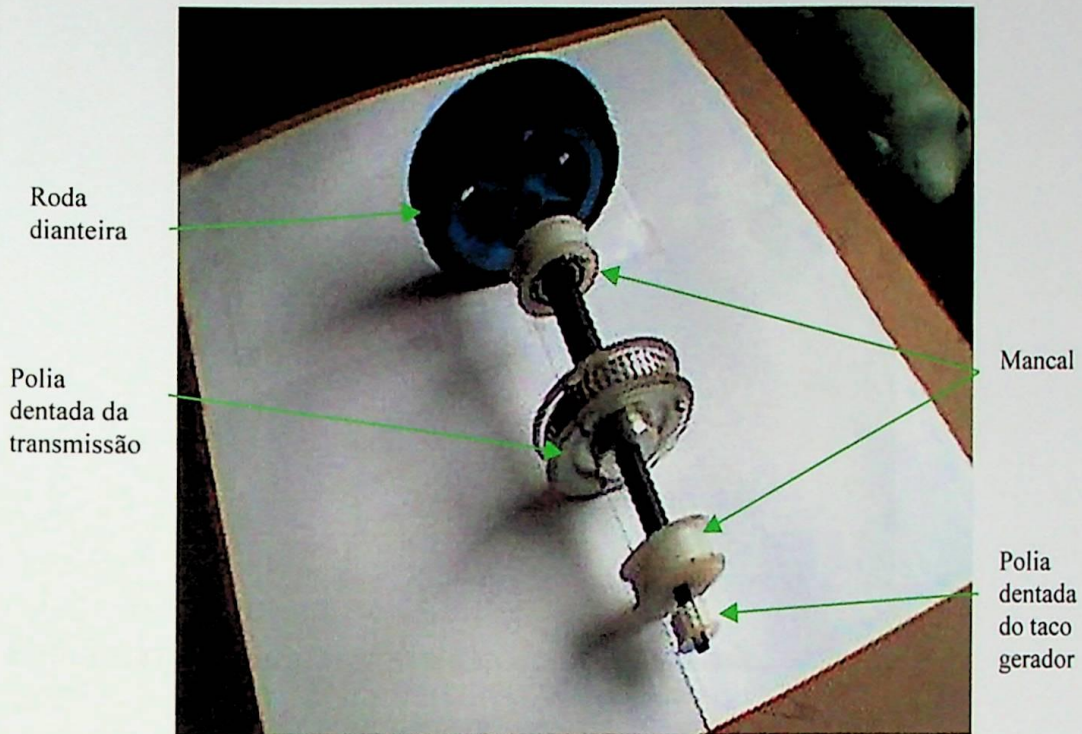


Figura 8.45 – Eixo da roda dianteira.

A Figura 8.46 mostra o suporte dos mancais no chassis.

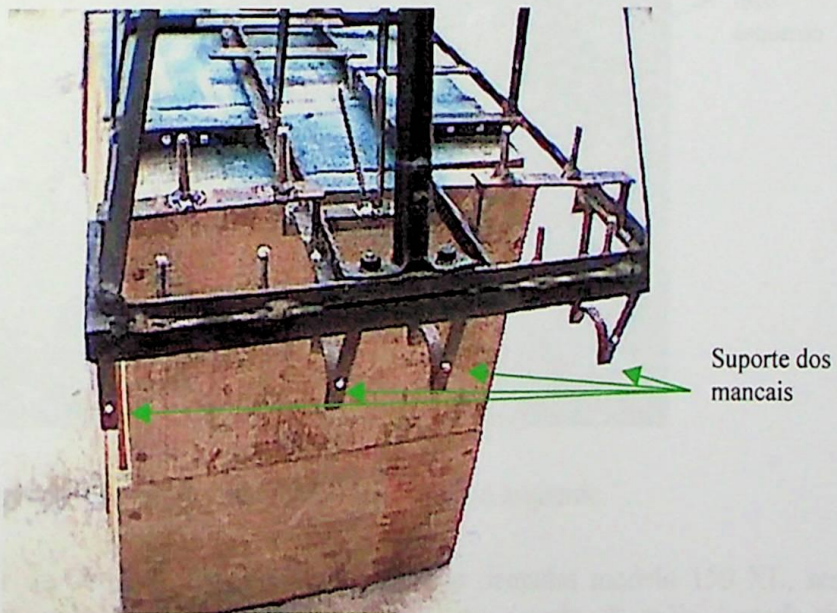


Figura 8.46 – Suporte dos mancais no chassis.

A Figura 8.47 e a Figura 8.48 mostram as rodas dianteiras montadas no eixo, juntamente com as polias dentadas no chassis.

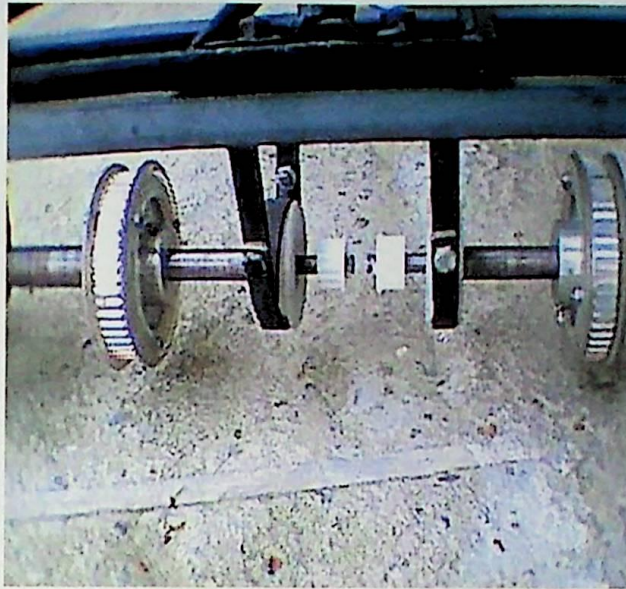


Figura 8.47 – Montagem da roda dianteira e eixo no chassis.

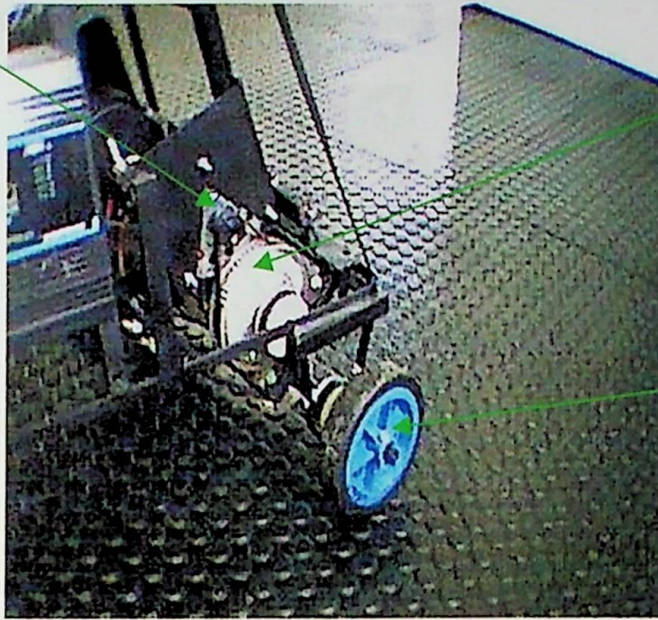


Figura 8.48 – Montagem das rodas dianteiras lado direito e esquerdo.

Cada motor de transmissão possui duas correias dentadas modelo 150 XL, sendo uma do motor até a polia dentada intermediária e a outra correia, da polia dentada até a polia dentada fixa no eixo da roda.

A Figura 8.49 mostra os detalhes da instalação do conjunto de transmissão.

Motor (lado direito)



Polia intermediária

Roda dianteira (lado direito)

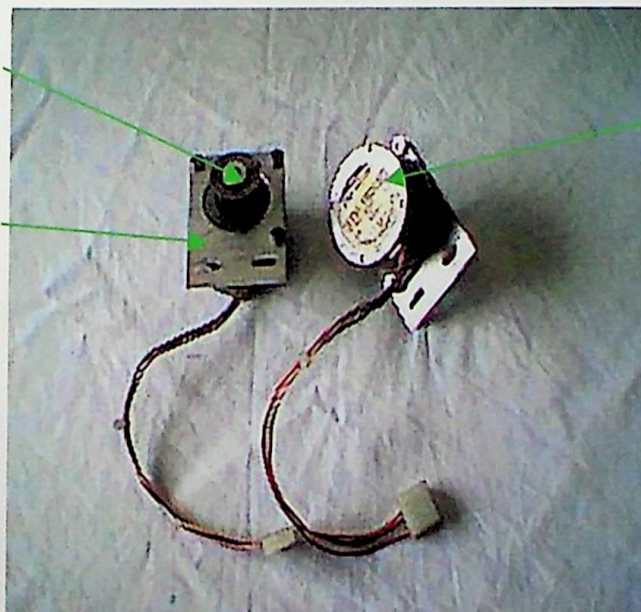
Figura 8.49 – Instalação completa da transmissão.

Em cada eixo das rodas dianteiras, encontra-se uma polia dentada clicada, que é utilizada para acionar através de uma correia modelo 150 XL, um motor de tacogerador. Da polia dentada do tacogerador à polia dentada do eixo a relação é 1:1.

A Figura 8.50 mostra os motores de tacogerador.

Polia dentada

Suporte do motor



Motor tacogerador

Figura 8.50 – Motor de tacogerador.

Na parte traseira do robô foi instalado um suporte para a fixação de um Notebook.

A Figura 8.51 mostra o suporte do microcomputador.



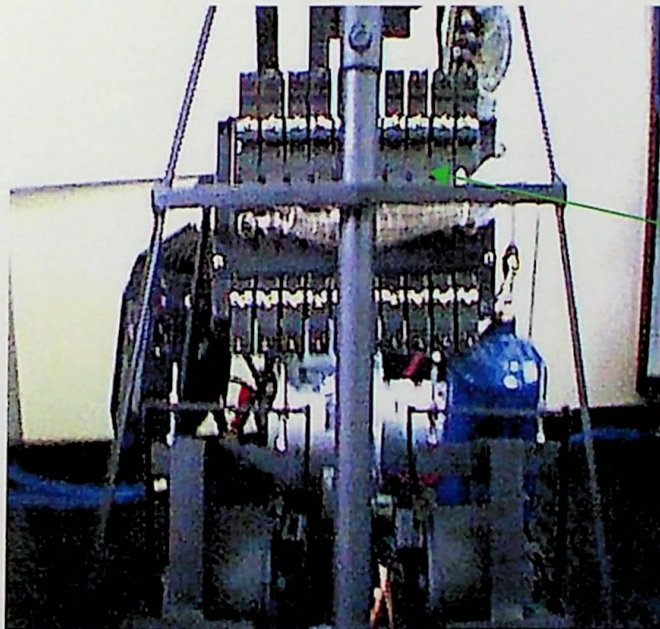
Suporte do
microcomputador

Figura 8.51 – Suporte do microcomputador compacto (Notebook).

8.6.2 – Fixação dos componentes pneumáticos

Na parte frontal do robô estão instaladas dez eletroválvulas direcionais de 5 vias, 3 posições, com bobinas de 12 VCC, utilizadas para comandar os cilindros do robô.

A Figura 8.52 mostra a instalação das eletroválvulas no chassis.



Eletroválvulas
12 VCC

Figura 8.52 – Instalação das eletroválvulas.

A Figura 8.53 mostra a eletroválvula usada no projeto.

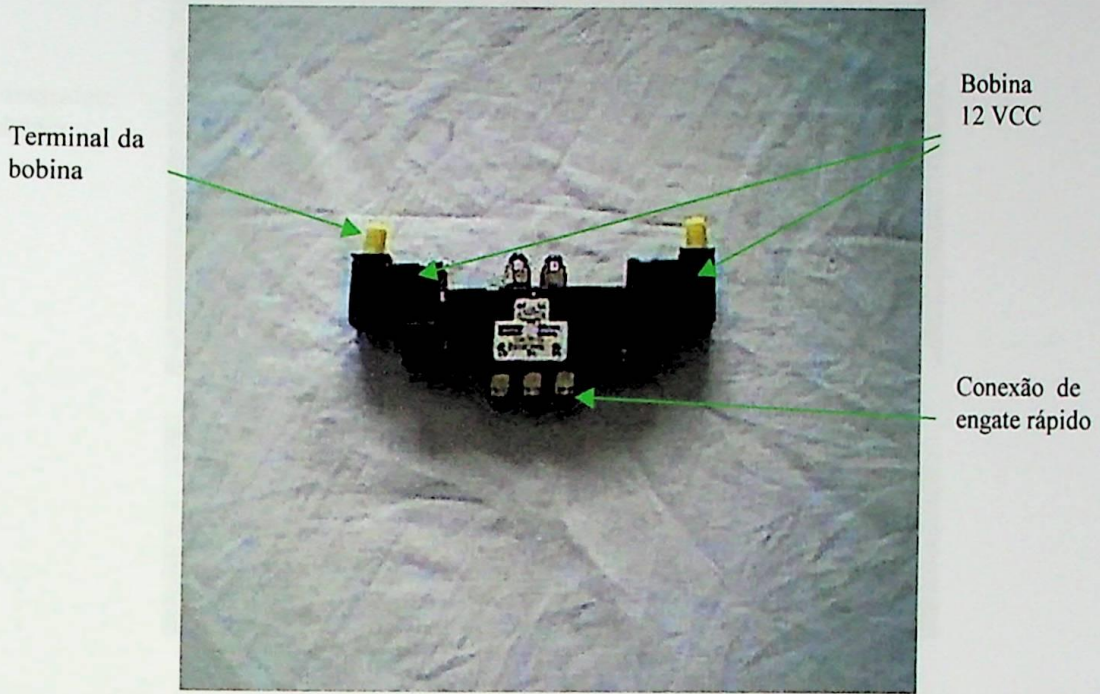


Figura 8.53 – Eletroválvula 5/3 de 12 VCC.

Ao lado do suporte do microcomputador, está instalado o pressostato elétrico, modelo 35.106 SIBQ da Margirius, de ajuste 80 / 120 psi, [] destinado a ligar e desligar o motor do compressor quando a pressão de ajuste desejada for atingida.

A Figura 8.54 mostra o pressostato elétrico (visto por cima do robô).

Pressostato elétrico

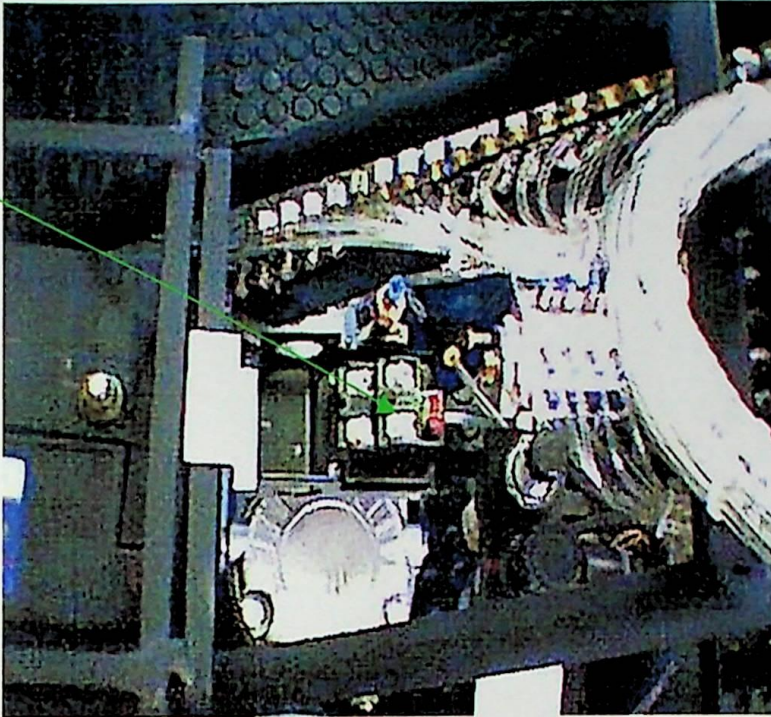
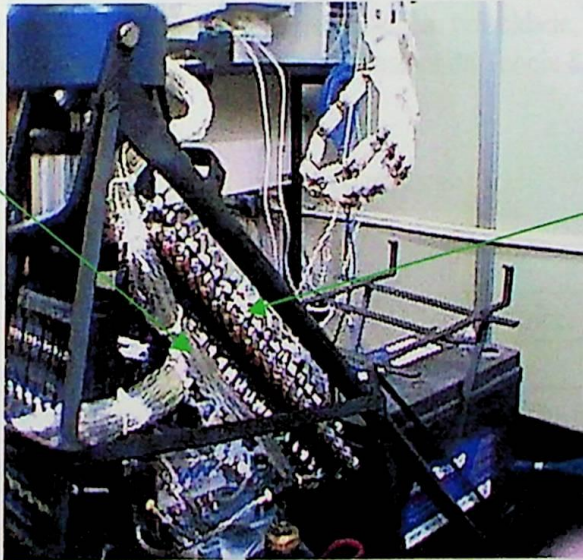


Figura 8.54 – Pressostato elétrico.

Na lateral esquerda do robô, foram instaladas as válvulas reguladoras de fluxo série 5012, destinadas ao controle de vazão unidirecional do fluxo de ar.

A Figura 8.55 mostra a instalação das válvulas reguladoras de fluxo.

Mangueiras pneumáticas modelo UM 4 x 2,5 25,5 bar



Válvula reguladora de fluxo

Figura 8.55 – Instalação das válvulas reguladora de fluxo

A Figura 8.56 mostra as 20 válvulas reguladoras de fluxo, fixadas uma ao lado da outra.

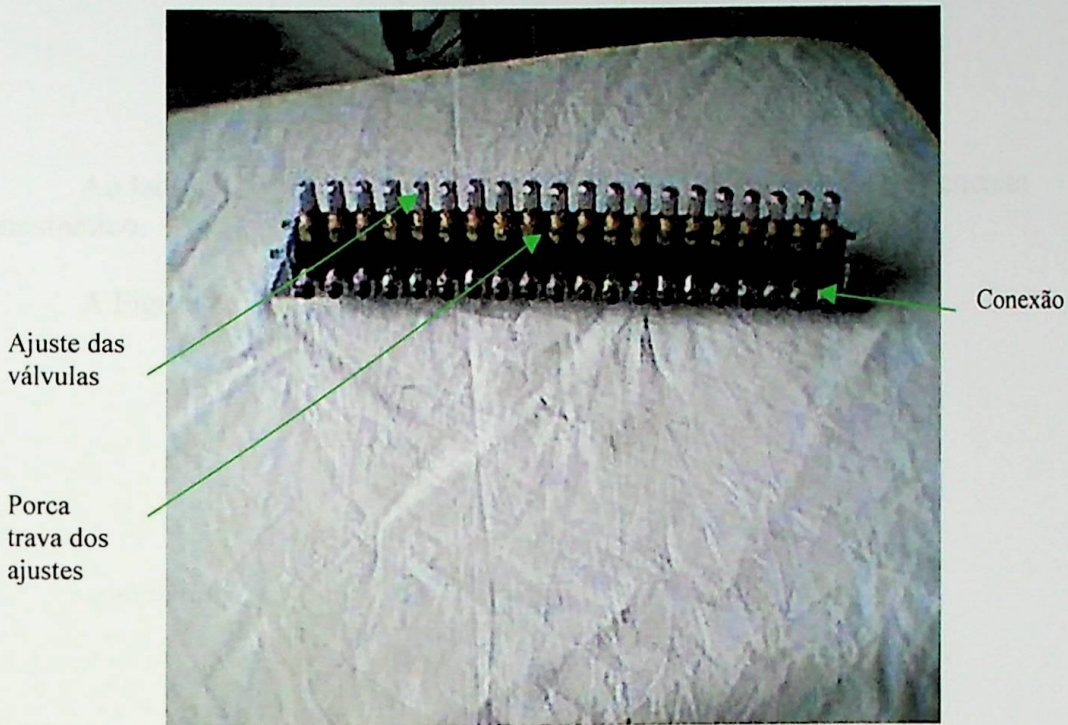


Figura 8.56 – Válvulas reguladoras de fluxo.

A válvula de controle de vazão é unidirecional, sendo utilizada para controlar a velocidade dos atuadores. A válvula possui uma porca associada ao botão de regulagem, que serve para travar o ajuste depois de controlada a velocidade, o que proporciona a segurança do sistema. As características técnicas constam da Tabela 8.3.

Tabela 8.3 – características técnicas da válvula de retenção

Corpo	Alumínio
Tipo	Série 5012 (Parker)
Rosca	NPT
Pressão de trabalho	8 bar
Temperatura de trabalho	-10°C a 80°C
Conjunto de agulhas	Latão
Vedação	Borracha níttrica
Fluido	Ar comprimido filtrado

MATERIAIS

Corpo	Alumínio
Vedações	Borracha nítica
Conjunto de agulhas	Latão

Ao lado da válvula reguladora de fluxo, foi instalado o reservatório do circuito pneumático.

A Figura 8.57 mostra o reservatório instalado no lado esquerdo do robô.

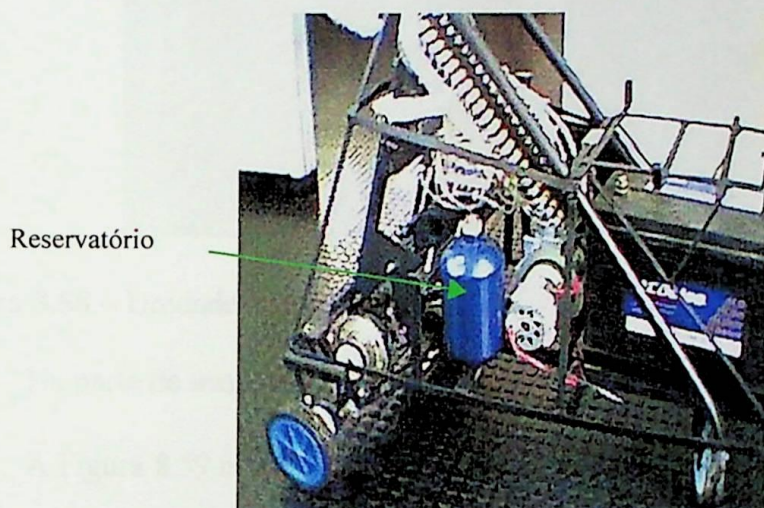


Figura 8.57 – Instalação do reservatório

Na parte interna da base do robô, foi instalada a unidade de conservação, utilizada para fazer o tratamento de ar de saída do compressor.

A Figura 8.58 mostra a unidade de conservação.

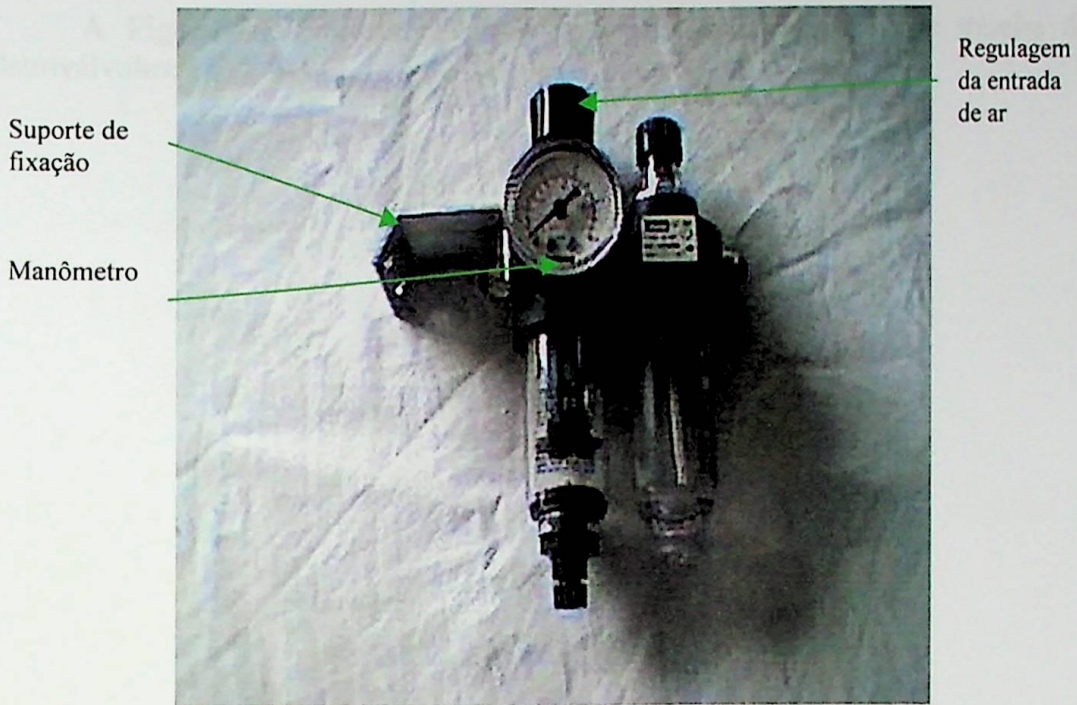


Figura 8.58 – Unidade de conservação.

Na parte de traseira das eletroválvulas, está instalada a válvula de retenção.

A Figura 8.59 mostra a válvula de retenção utilizada no projeto.

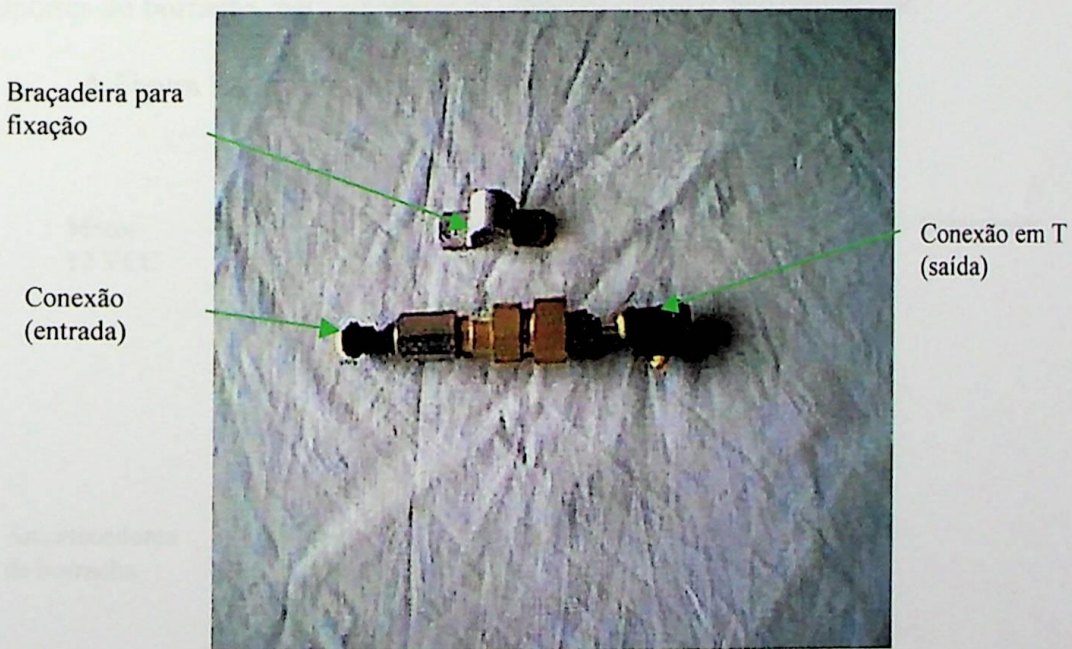


Figura 8.59 – Válvula de retenção.

A Figura 8.60 mostra a válvula de retenção instalada na parte traseira das eletroválvulas.

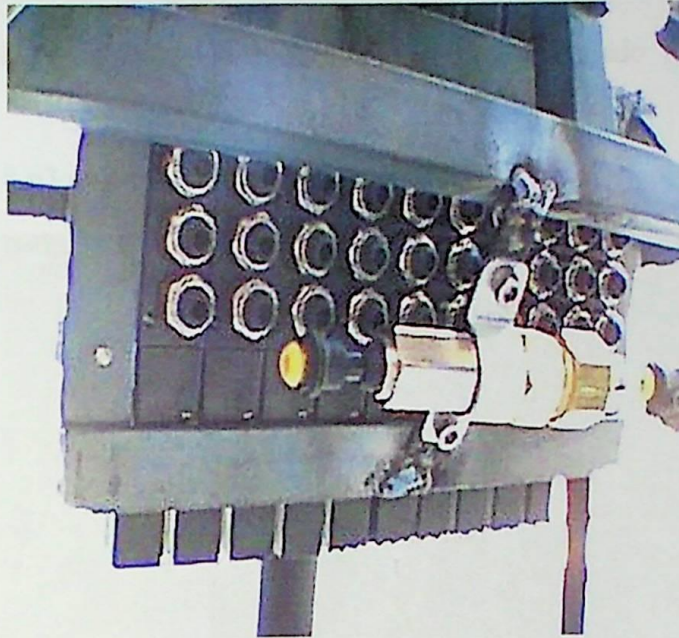


Figura 8.60 – Instalação da válvula de retenção.

Na parte central da base do robô, está instalado o compressor de 12 VCC, que alimenta todo o circuito pneumático. Na base do compressor foram colocados quatro suportes de borracha, para amortecer as vibrações causadas pelo compressor.

A Figura 8.61 mostra a instalação do compressor na base do robô.

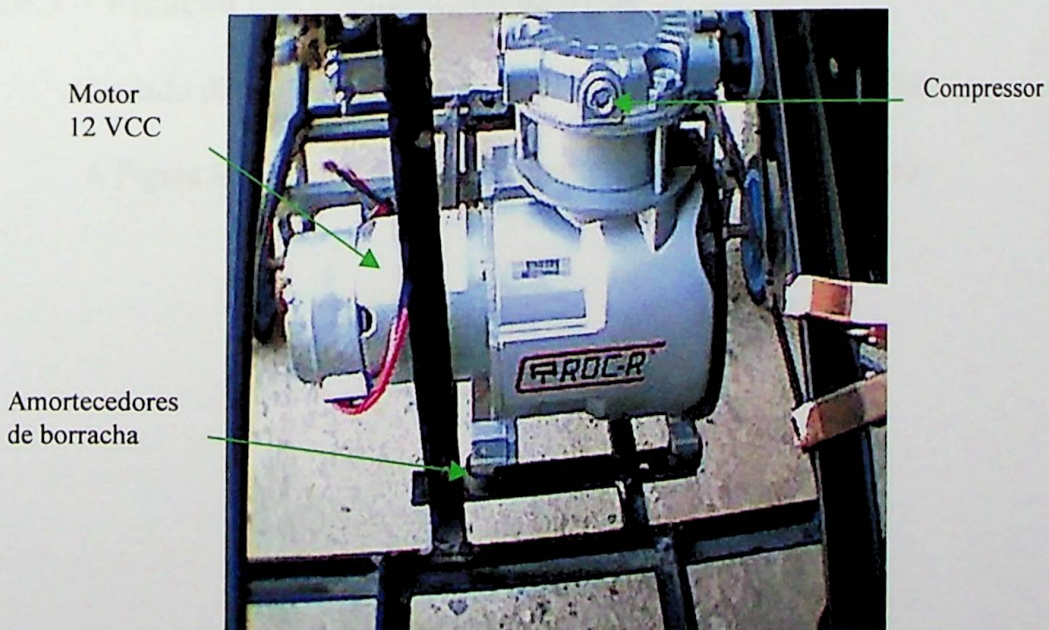


Figura 8.61 – Instalação do compressor.

Atrás das válvulas reguladoras de fluxo, foram instalados um bloco de distribuição, com dez saídas para as eletroválvulas, e um bloco com vinte entradas e uma saída, para o silenciador.

O silenciador é utilizado para abafar o barulho causado pelos escapes das eletroválvulas.

A Figura 8.62 mostra os blocos utilizados no projeto.

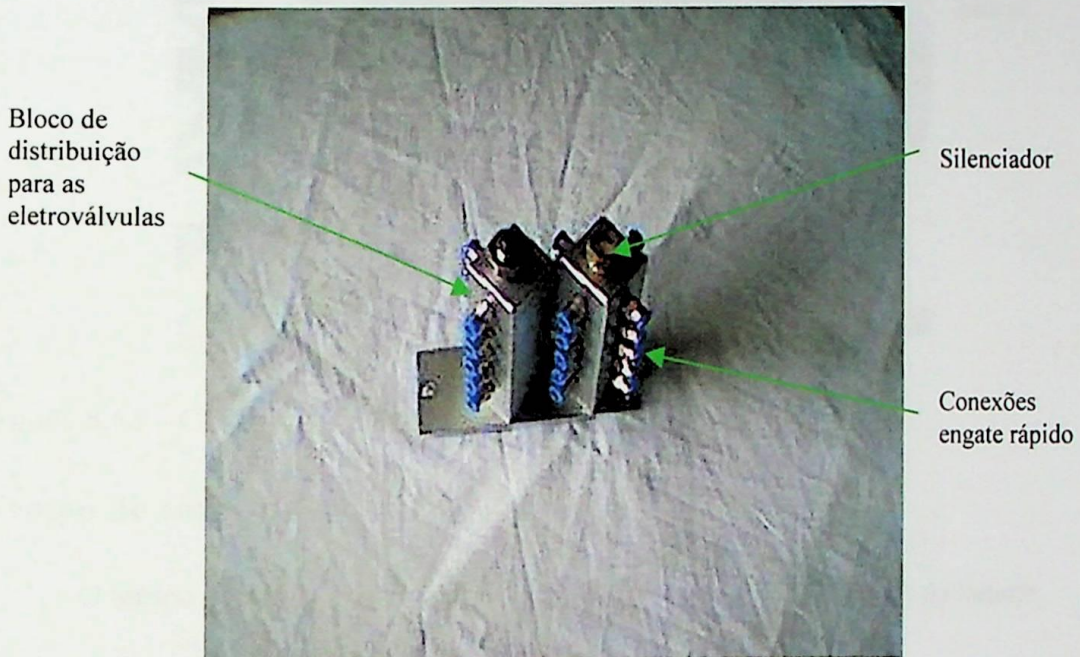


Figura 8.62 – Bloco de distribuição e bloco do silenciador.

8.6.3 – Fixação dos componentes elétricos

Ao lado direito da base do robô, está instalado o carregador de bateria.

A Figura 8.63 mostra o carregador instalado na lateral direita do robô.



Figura 8.63 – Carregador de bateria.

Tempo de carga da bateria

O tempo de carga, expresso pela equação 8.1, depende da capacidade da bateria:

$$\text{Tempo de CARGA} = \frac{CAP \times DOD}{850} \quad (\text{horas}) \quad (8.1)$$

onde:

Tempo de carga = Tempo de recarga da bateria em horas.

CAP = Capacidade da bateria em ampère-hora.

DOD = Porcentagem da descarga da bateria.

Especificações do carregador de bateria

Modelo: TRUECHARGE 10

Tensão de entrada: 115 VCA

Tensão de saída em carga: 13.8 VCC – 14.8 VCC

Tensão de saída em flutuação: 13.2 VCC – 14.0 VCC

Eficiência: 85%

Peso: 1.6 kg

Dimensões: 19 cm x 15.25 cm x 7 cm

Na parte traseira da base do robô, está instalada a bateria de 12 VCC, modelo 11E11501 – 115 Ah, marca ACDELCO, peso 32 kg.

A Figura 8.64 mostra a instalação da bateria.

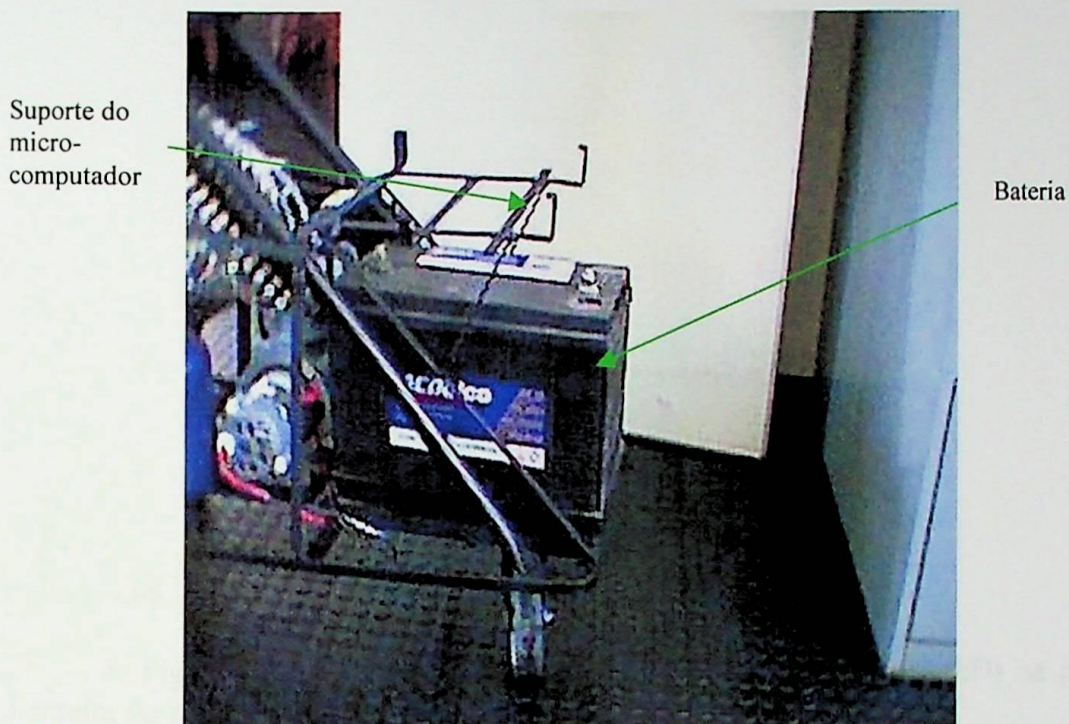


Figura 8.64 – Instalação da bateria de 12 VCC – 115 Ah.

8.7 - Circuitos pneumáticos

Para uma melhor compreensão de todo o circuito pneumático, as posições dos componentes pneumáticos na estrutura mecânica do robô serão identificadas isoladamente.

A Figura 8.65 mostra as identificações do posicionamento das 20 válvulas reguladoras de fluxo (VRF), de cima para baixo.

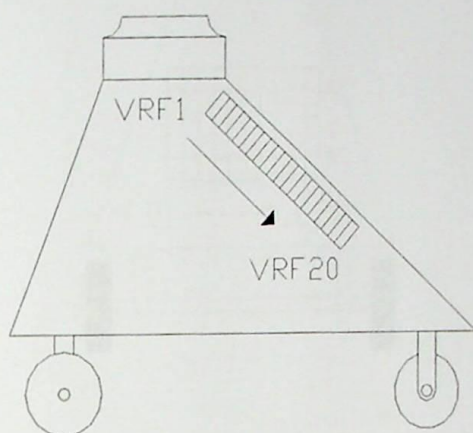


Figura 8.65 – Identificação das válvulas reguladoras de fluxo.

A Figura 8.66 mostra as posições das eletroválvulas direcionais (ED) na parte dianteira do robô.

As eletroválvulas direcionais foram colocadas na vertical, com as bobinas indicadas com a letra “A” para cima e com a letra “B” para baixo.

A Figura 8.67 mostra a identificação dos cilindros pneumáticos lineares (CL) e dos cilindros giratórios (CG).



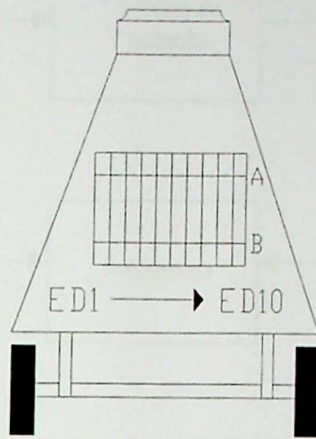


Figura 8.66 – Posição das eletroválvulas no robô.

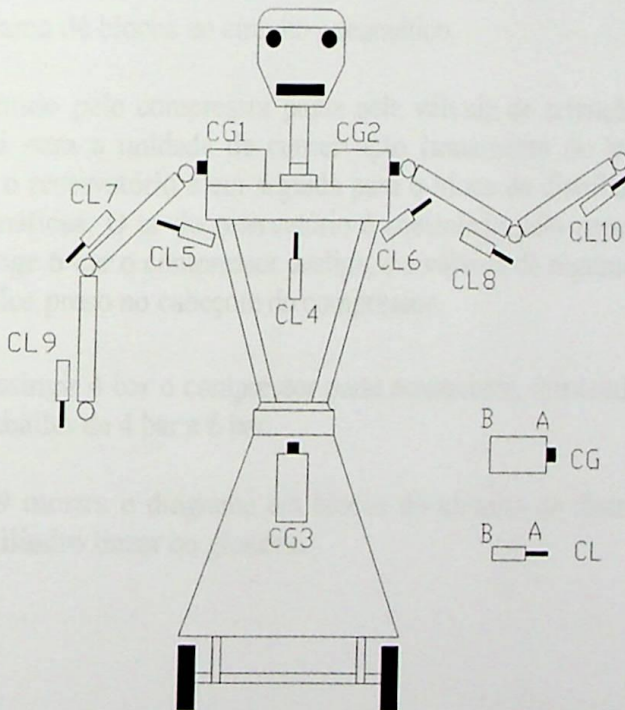


Figura 8.67 – Identificações dos cilindros.

A Figura 8.67 mostra dois cilindros, identificados na ponta do corpo do cilindro (lado do eixo) pela letra “A” e no outro lado do corpo do cilindro, pela letra “B”. Estas letras indicam as posições da entrada de ar nos cilindros, que são de dupla ação.

A Figura 8.68 mostra o diagrama de blocos do circuito pneumático, desde o compressor até a distribuição de ar para as eletroválvulas.

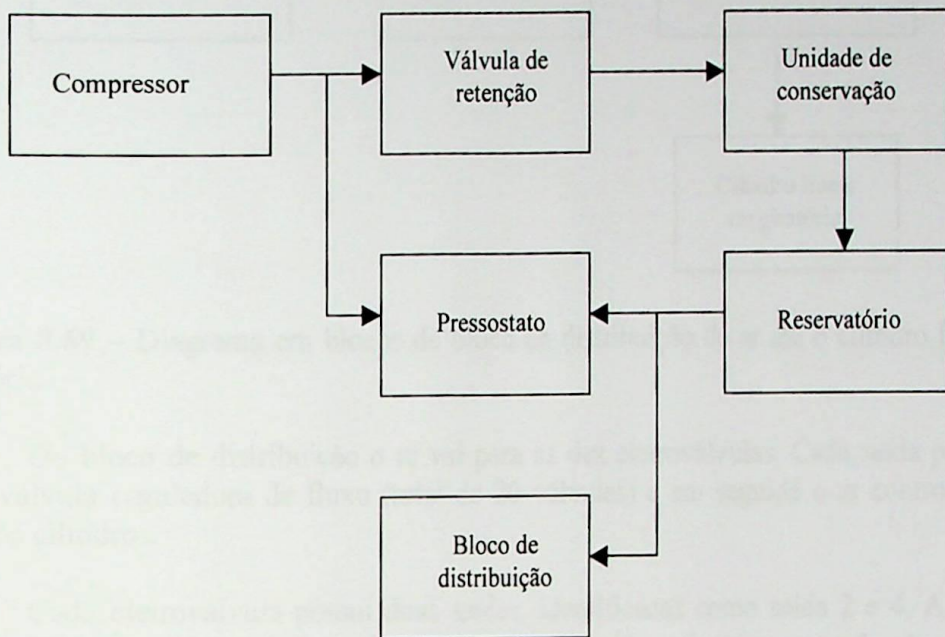


Figura 8.68 – Diagrama de blocos do circuito pneumático.

O ar comprimido pelo compressor passa pela válvula de retenção (sempre em um único sentido) e vai para a unidade de conservação (tratamento do ar). O ar filtrado e lubrificado vai para o reservatório e em seguida para o bloco de distribuição de ar para as eletroválvulas pneumáticas. O ar do reservatório é controlado pelo pressostato. Quando a pressão de ajuste atinge 6 bar o compressor desliga, e a válvula de segurança do pressostato descarrega o ar que fica preso no cabeçote do compressor.

Quando o ar atingir 4 bar o compressor parte novamente, mantendo assim a pressão dentro da faixa de trabalho de 4 bar a 6 bar.

A Figura 8.69 mostra o diagrama em blocos do circuito de distribuição de ar das eletroválvulas até o cilindro linear ou giratório.

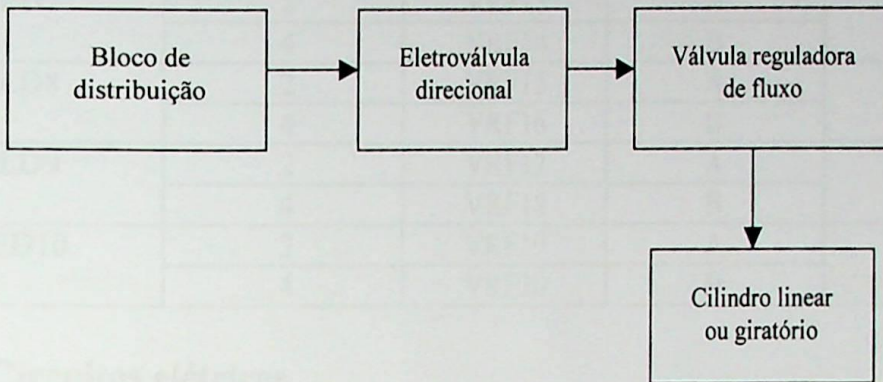


Figura 8.69 – Diagrama em blocos do bloco de distribuição de ar até o cilindro linear ou giratório.

Do bloco de distribuição o ar vai para as dez eletroválvulas. Cada saída passa por uma válvula reguladora de fluxo (total de 20 válvulas) e em seguida o ar controlado vai para os cilindros.

Cada eletroválvula possui duas saídas, identificadas como saída 2 e 4. A saída 2 passa pela válvula reguladora de fluxo e em seguida vai até a conexão do cilindro, identificada pela letra “A” e a saída 4 passa pela válvula reguladora de fluxo e vai até a conexão do mesmo cilindro, identificada por “B”.

O processo das demais eletroválvulas é o mesmo para todos os cilindros.

A Tabela 8.4 mostra as identificações numéricas dos componentes pneumáticos instalados no robô, das eletroválvulas até os cilindros.

Tabela 8.4 – Identificação dos componentes pneumáticos na instalação.

Eletroválvulas	Saída das eletroválvulas	Válvulas reguladora de fluxo	Conexão dos cilindros pneumáticos	Cilindros pneumáticos
ED1	2	VRF1	A	CL9
	4	VRF2	B	
ED2	2	VRF3	A	CL10
	4	VRF4	B	
ED3	2	VRF5	A	CL7
	4	VRF6	B	
ED4	2	VRF7	A	CL8
	4	VRF8	B	
ED5	2	VRF9	A	CL5
	4	VRF10	B	
ED6	2	VRF11	A	CL6
	4	VRF12	B	

ED7	2	VRF13	A	CL4
	4	VRF14	B	
ED8	2	VRF15	A	CG1
	4	VRF16	B	
ED9	2	VRF17	A	CG2
	4	VRF18	B	
ED10	2	VRF19	A	CG3
	4	VRF20	B	

8.8 - Circuitos elétricos

A Figura 8.70 mostra o diagrama em blocos do circuito de alimentação de energia do robô.

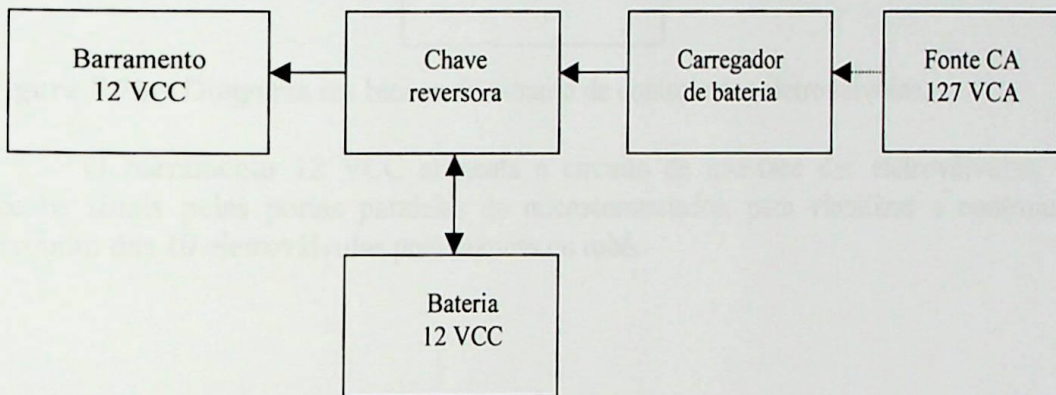


Figura 8.70 – Diagrama em blocos de alimentação de energia no robô.

A chave reversora é do tipo chave faca: de um lado aciona o carregador de bateria e do outro, conecta a bateria ao barramento de distribuição de energia para o robô.

O diagrama em blocos do circuito do compressor está ilustrado na Figura 8.71.

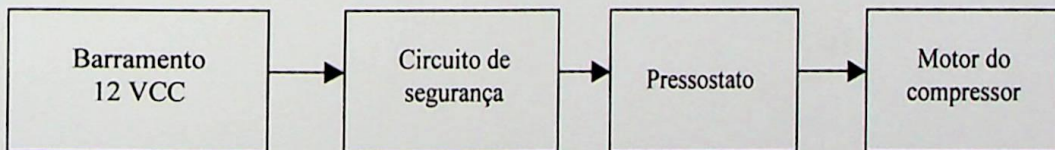


Figura 8.71 – Diagrama em blocos do circuito do compressor.

O barramento de 12 VCC alimenta o circuito de segurança, que por sua vez tem a finalidade de desligar através de um interruptor, o compressor, quando houver qualquer tipo de dano ao circuito.

O pressostato possui um diafragma controlado pelo ar, que liga ou desliga mecanicamente, através de seus contatos elétricos, o compressor.

A Figura 8.72 mostra o diagrama em blocos do circuito de controle das eletroválvulas pneumáticas.

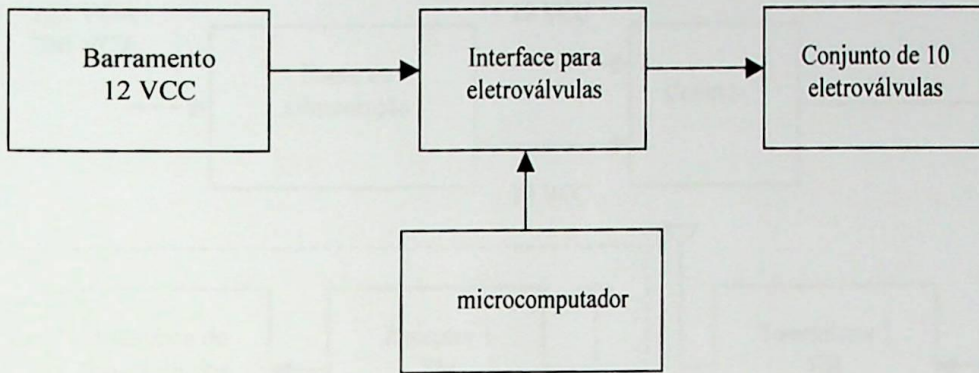


Figura 8.72 – Diagrama em blocos do circuito de controle das eletroválvulas.

O barramento 12 VCC alimenta o circuito de interface das eletroválvulas, que recebe sinais pelas portas paralelas do microcomputador, para viabilizar o controle do conjunto das 10 eletroválvulas pneumáticas do robô.

8.9 - Sistemas de Telecomunicações

O sistema de telecomunicações consta de 4 enlaces, conforme mostra a Figura 8.73.

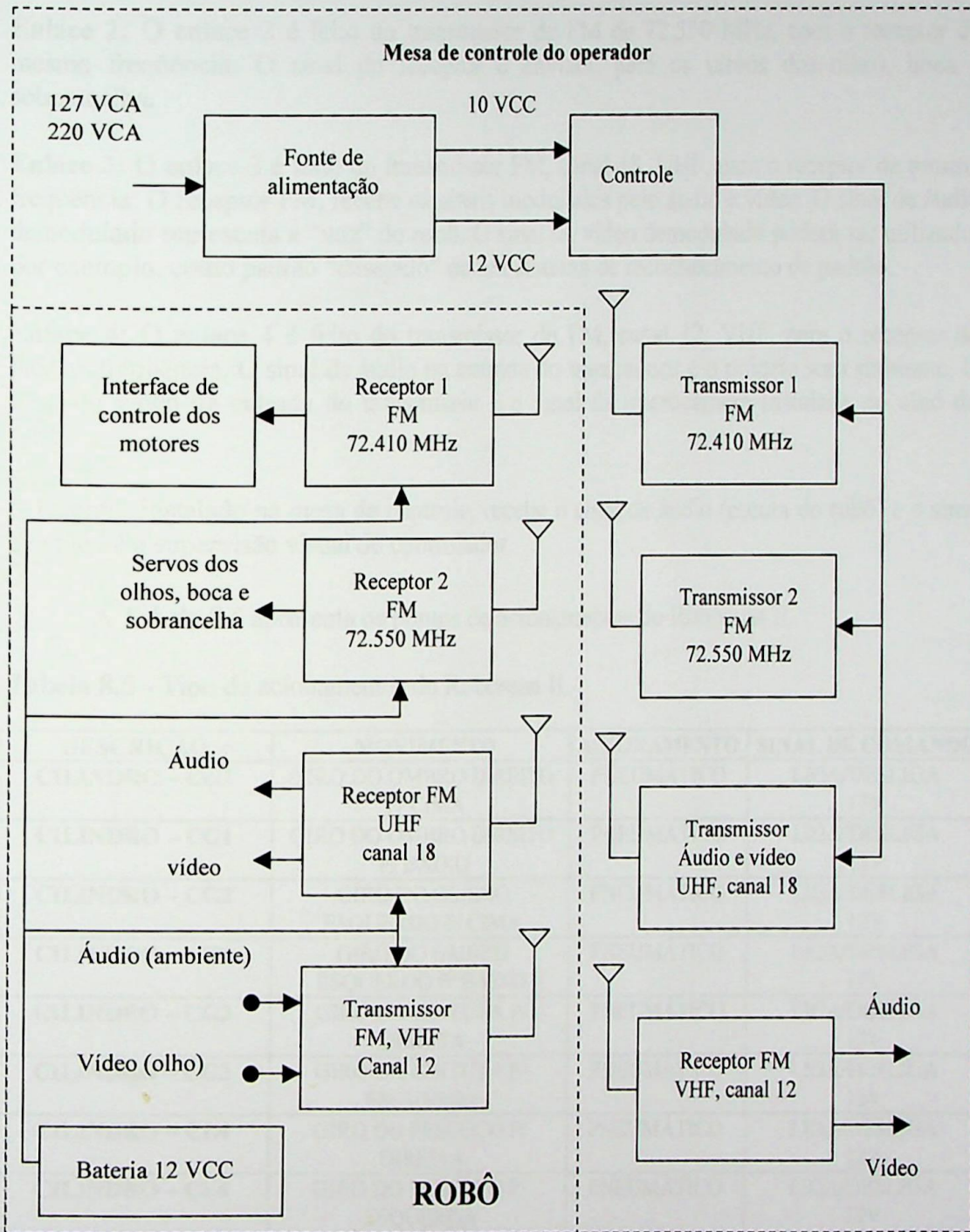


Figura 8.73 – Diagrama em blocos dos sistemas de Telecomunicações.

Enlace 1: O enlace 1 é feito entre o transmissor de FM de 72.410 MHz, com o receptor da mesma frequência. O sinal do receptor é enviado para a interface dos motores direito e esquerdo das rodas dianteiras.

Enlace 2: O enlace 2 é feito do transmissor de FM de 72.550 MHz, com o receptor da mesma frequência. O sinal do receptor é enviado para os servos dos olhos, boca e sobrelha.

Enlace 3: O enlace 3 é feito do transmissor FM, canal 18, UHF, para o receptor de mesma frequência. O receptor FM, recebe os sinais modulados pelo áudio e vídeo. O sinal de áudio demodulado representa a “voz” do robô. O sinal de vídeo demodulado poderá ser utilizado, por exemplo, como padrão “desejado” de um sistema de reconhecimento de padrão.

Enlace 4: O enlace 4 é feito do transmissor de FM, canal 12, VHF, para o receptor de mesma frequência. O sinal de áudio na entrada do transmissor é o próprio som ambiente. O sinal de vídeo na entrada do transmissor é o sinal da microcâmera instalada no olho do robô.

O receptor instalado na mesa de controle, recebe o sinal de áudio (escuta do robô) e o sinal de vídeo é a supervisão visual do controlador.

A Tabela 8.5 apresenta os pontos de acionamentos do Robossan II.

Tabela 8.5 - Tipo de acionamentos do Robossan II.

DESCRIÇÃO	MOVIMENTO	ACIONAMENTO	SINAL DE COMANDO
CILINDRO – CG1	GIRO DO OMBRO DIREITO P/ CIMA	PNEUMÁTICO	LIGA/DESLIGA 12V
CILINDRO – CG1	GIRO DO OMBRO DIREITO P/ BAIXO	PNEUMÁTICO	LIGA/DESLIGA 12V
CILINDRO – CG2	GIRO DO OMBRO ESQUERDO P/ CIMA	PNEUMÁTICO	LIGA/DESLIGA 12V
CILINDRO – CG2	GIRO DO OMBRO ESQUERDO P/ BAIXO	PNEUMÁTICO	LIGA/DESLIGA 12V
CILINDRO – CG3	GIRO DA CINTUTA P/ DIREITA	PNEUMÁTICO	LIGA/DESLIGA 12V
CILINDRO – CG3	GIRO DA CINTUTA P/ ESQUERDA	PNEUMÁTICO	LIGA/DESLIGA 12V
CILINDRO – CL4	GIRO DO PESCOÇO P/ DIREITA	PNEUMÁTICO	LIGA/DESLIGA 12V
CILINDRO – CL4	GIRO DO PESCOÇO P/ ESQUERDA	PNEUMÁTICO	LIGA/DESLIGA 12V
CILINDRO – CL5	ABRIR BRAÇO DIREITO	PNEUMÁTICO	LIGA/DESLIGA 12V
CILINDRO – CL5	FECHAR BRAÇO DIREITO	PNEUMÁTICO	LIGA/DESLIGA 12V
CILINDRO – CL6	ABRIR BRAÇO ESQUERDO	PNEUMÁTICO	LIGA/DESLIGA 12V
CILINDRO – CL6	FECHAR BRAÇO ESQUERDO	PNEUMÁTICO	LIGA/DESLIGA 12V

CILINDRO – CL7	FECHAR COTOVELO DIREITO	PNEUMÁTICO	LIGA/DESLIGA 12V
CILINDRO – CL7	ABRIR COTOVELO DIREITO	PNEUMÁTICO	LIGA/DESLIGA 12V
CILINDRO – CL8	FECHAR COTOVELO ESQUERDO	PNEUMÁTICO	LIGA/DESLIGA 12V
CILINDRO – CL8	ABRIR COTOVELO ESQUERDO	PNEUMÁTICO	LIGA/DESLIGA 12V
CILINDRO – CL9	ABRIR DEDOS DA MÃO DIREITA	PNEUMÁTICO	LIGA/DESLIGA 12V
CILINDRO – CL9	FECHAR DEDOS DA MÃO DIREITA	PNEUMÁTICO	LIGA/DESLIGA 12V
CILINDRO – CL10	ABRIR DEDOS DA MÃO ESQUERDA	PNEUMÁTICO	LIGA/DESLIGA 12V
CILINDRO – CL10	FECHAR DEDOS DA MÃO ESQUERDA	PNEUMÁTICO	LIGA/DESLIGA 12V
SERVO FUTABA – SF1	GIRAR OLHO P/ DIREITA	ELÉTRICO	FM
SERVO FUTABA – SF1	GIRAR OLHO P/ ESQUERDA	ELÉTRICO	FM
SERVO FUTABA – SF2	LEVANTAR SOBRANSELHA	ELÉTRICO	FM
SERVO FUTABA – SF2	BAIXAR SOBRANSELHA	ELÉTRICO	FM
SERVO FUTABA – SF3	ABRIR A BOCA	ELÉTRICO	FM
SERVO FUTABA – SF3	FECHAR A BOCA	ELÉTRICO	FM
MOTOR DIREITO SERVO FUTABA – SF4	IR P/ FRENTE	ELÉTRICO	FM
MOTOR DIREITO SERVO FUTABA – SF4	IR P/ TRÁS	ELÉTRICO	FM
MOTOR ESQUERDO SERVO FUTABA – SF5	IR P/ FRENTE	ELÉTRICO	FM
MOTOR ESQUERDO SERVO FUTABA – SF5	IR P/ TRÁS	ELÉTRICO	FM
VISÃO DO OLHO	DIREITA E ESQUERDA	AUTOMÁTICO	VHF
VÓZ	-	AUTOMÁTICO	UHF

A Figura 8.74 mostra o robô montado por completo e a Figura 8.75 é a foto da mesa de comando por controle remoto.

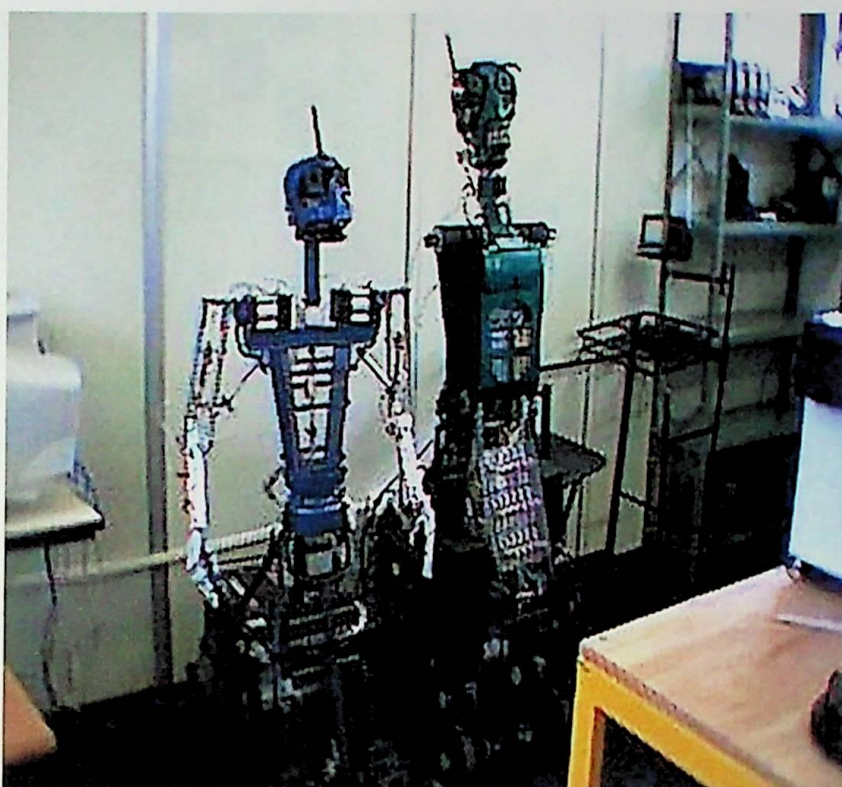


Figura 8.74 – Montagem completa do Robossan II.

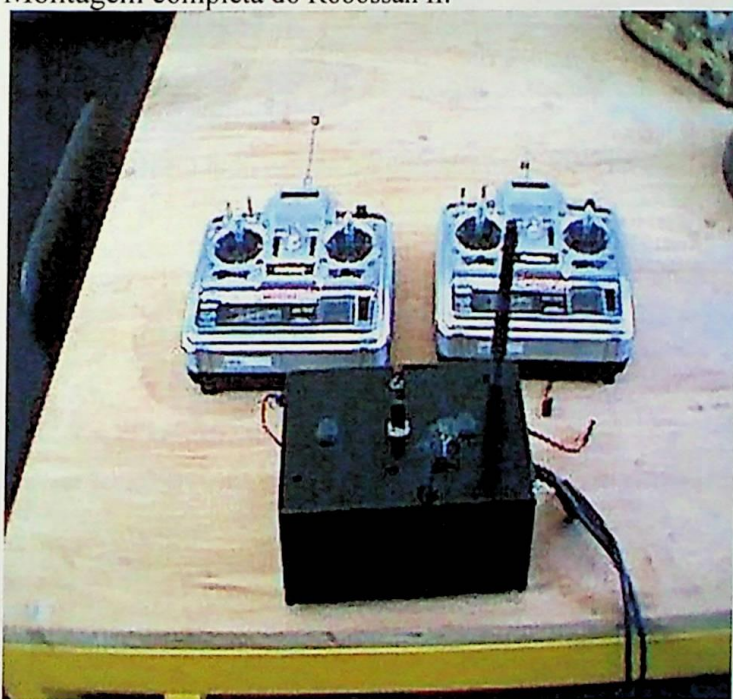


Figura 8.75 – Mesa de controle do Robossan II.

A Figura 8.76 mostra os robôs com o seu criador.



Figura 8.76 – Robossan II no lado direito e Robossan I no lado esquerdo do projetista.

CONCLUSÃO

9.1 – Considerações Finais

O robô construído, apelidado de Robossan II, atendeu às especificações do projeto. É dotado de movimentos de olhos na horizontal, em um ângulo de cerca de 150° , de cintura, em um ângulo de 180° , e de pescoço em um ângulo de 100° . Estes movimentos possibilitam a visualização de 360° em torno do robô.

A Figura 9.1 mostra o Robossan II ao lado do projetista, montado por completo, conforme especificado no projeto.



Figura 9.1 – Montagem final do robô.



Figura 9.1 – Montagem final do robô.

9.2 – Trabalhos Futuros

O Robossan II, foi projetado para aceitar diversas modificações, viabilizando assim a implementação de vários tipos de sistemas.

Algumas sugestões para o aperfeiçoamento do robô são:

1. Movimento da base do robô com PWM, utilizando “chopper” de quatro quadrantes;
2. Interface para controle das eletroválvulas via controle remoto;
3. Mudanças nos dedos da mão para movimentos independentes dos dedos.

Algumas aplicações que poderiam ser exploradas são:

- Reconhecimento de padrão (formas, objetos e voz);
- Visão tridimensional;
- Medição de distâncias;
- Manipulação de pequenas cargas.







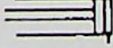

Referências Bibliográficas

- [1]. Usategui, J. M. A , León, S. J. N. S., Manual prático de Robótica, Hemus, 1990.
- [2]. Rinaldo Ferreira Martins, Fundamentos da robótica, SENAI, 1996.
- [3]. FESTO do Brasil, Catálogo de pneumática, 2000 .
- [4]. Internet http://www.geocities.com/area1/dunes/5580/eletronic_robotica_links.html
- [5]. Adilson Peloggia, Técnica em mecânica, apostila do SENAI, 2000.
- [6]. Mikell P. Groover, Mitchell Weiss, Roger N. Nagel, Nicholas G. Odrey, Robótica Tecnologia e Programação, McGraw-Hill, 1995.
- [7]. D. A Bradley, D. Dawson, N. C. Burd and ^a J. Loader, Mechatronics, Chapman & Hall, 1991.
- [8]. Angelo José Junqueira Resek, Projeto e implementação de um acionamento controlado analógico e digital para máquinas de CC, utilizando “chopper” de quatro quadrantes, 2000.
- [9]. João B. Gonçalves, Alexandre F. Souza, Etienne C. Ortiz, Cinemática de manipuladores robóticos industriais, monografia de trabalho de conclusão de curso.
- [10]. Alberto Adade Filho, Fundamentos de Robótica, apostila do ITA.

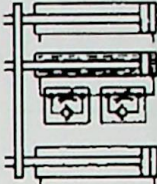
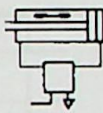
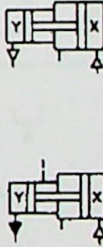
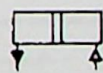








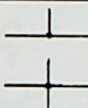








ANEXO I













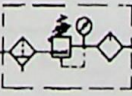


Tabela 1 - Símbolos normalizados de componentes pneumáticos ou hidráulicos utilizados na confecção de circuitos.

Denominação	Descrição	Símbolo
Transformação de energia		
Compressor	De deslocamento de ar constante (sempre um sentido de fluxo)	
Motor pneumático	De volume de deslocamento de ar constante:	
	Com um sentido de fluxo	
	Com dois sentidos de fluxo	
	De volume de deslocamento de ar variável:	
	Com um sentido de fluxo	
	Com dois sentidos de fluxo	
Atuador Giratório	Pneumático com ângulo de giro limitado	
Cilindro de simples ação	Cilindros nos quais a pressão atua sempre num único sentido	
	Retorno por uma força não especificada	
	Retorno por mola	

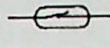




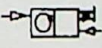
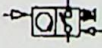





Denominação	Descrição	Símbolo
Cilindro de dupla ação	Cilindros nos quais a pressão atua alternadamente em ambos os sentidos (avanço e retorno) Com haste simples	
	Com haste passante	
Cilindro com amortecimento	Com amortecimento fixo (não regulável, agindo num único sentido)	
	Com amortecimento fixo não regulável (agindo em dois sentidos)	
	Com amortecimento simples regulável	
	Com amortecimento regulável em ambos os sentidos	
Cilindro de frenagem hidráulica	Regulagem num único sentido	
	Regulagem em dois sentidos	
Amortecimento	Regulagem num único sentido	

Denominação	Descrição	Símbolo
Unidade de avanço	Unidade de avanço, cilindro pneumático e de frenagem hidráulica com regulagem da velocidade em dois sentidos	
Cilindro de acionamento permanente	Cilindro pneumático, no qual se comuta automaticamente o movimento da haste depois de ligado o ar comprimido e alcançada uma das posições finais do êmbolo. Mantém-se o movimento de avanço e retorno do êmbolo até que se bloqueie a linha de alimentação	
Multiplicador de pressão	Equipamento destinado a multiplicar a pressão para um tipo de fluido; ou para dois tipos de fluidos.	
Conversor hidro-pneumático	Equipamento destinado a transformar pressão pneumática em uma pressão hidráulica teoricamente igual ou vice-versa.	

Denominação	Descrição	Símbolo
Transmissão e condicionamento de energia		
Fonte de pressão		
Linha de trabalho	Linha para a transmissão de energia	
Linha de comando	Linha para transmissão de energia de comando (inclusive ajustagem e regulagem)	
Linha de escape ou dreno	Linha para a exaustão	
Mangueiras flexíveis	Para a conexão de partes móveis	
Linha elétrica	Linha para a transmissão da energia elétrica	
União de linhas	União fixa, por exemplo soldada, chumbada, parafusada (inclusive conexões e uniões rosqueadas)	
Linhas cruzadas		
Sangria de ar		
Conexão de descarga	Simples, não conectável. Rosqueado por conexão	
Tomada de potência	Conexão em equipamentos ou linhas para tomada ou medição de energia bloqueada Com linha conectada	
Engate rápido	Conectado, sem válvula de retenção	
	Conectado, com válvula de retenção operada mecanicamente	
	Não conectado, com extremidade aberta	
	Não conectado, fechado por válvula de retenção sem mola	

Denominação	Descrição	Símbolo
União rotativa	União de linhas que permite movimento circular em serviço	
	Uma via	
	Três vias	
Silenciador		
Reservatório (de ar comprimido)		
Secador de ar		
Separador	Com dreno manual	
	Com dreno automático	
Filtro		
Filtro com drenos	Esta unidade é uma combinação de filtro e dreno	
	Com dreno manual	
	Com dreno automático	
Lubrificador	Unidade na qual se adicionam pequenas quantidades de óleo ao ar passante, para a lubrificação dos equipamentos	
Manômetro		
Unidade de conservação	Unidade composta de filtro, válvula reguladora de pressão, manômetro e lubrificador	
	Símbolo simplificado	
Indicador óptico		

Denominação	Descrição	Símbolo
Meios de acionamento		
Por ação muscular	Geral (sem identificação do modo de operação)	
	Botão	
	Alavanca	
	Pedal	
Por ação mecânica	Apalpador ou pino	
	Por mola	
	Rolete	
	Rolete, operando num único sentido (gatilho)	
Acionamento pneumático	Acionamento direto por piloto	
	Por alívio de pressão	
	Por diferencial de áreas (no símbolo, o retângulo maior representa a maior área de acionamento)	
	Acionamento indireto pilotado	
	Por acréscimo de pressão da válvula servopilotada	
Acionamento elétrico	Por solenóide com uma bobina	
	Com duas bobinas operando em um único sentido	
	Com duas bobinas operando em sentidos opostos	
Acionamento combinado	Por solenóide e válvula servopilotada	
	Por solenóide ou válvula servopilotada	
Trava	Dispositivo para manter uma posição sistemática de um equipamento	

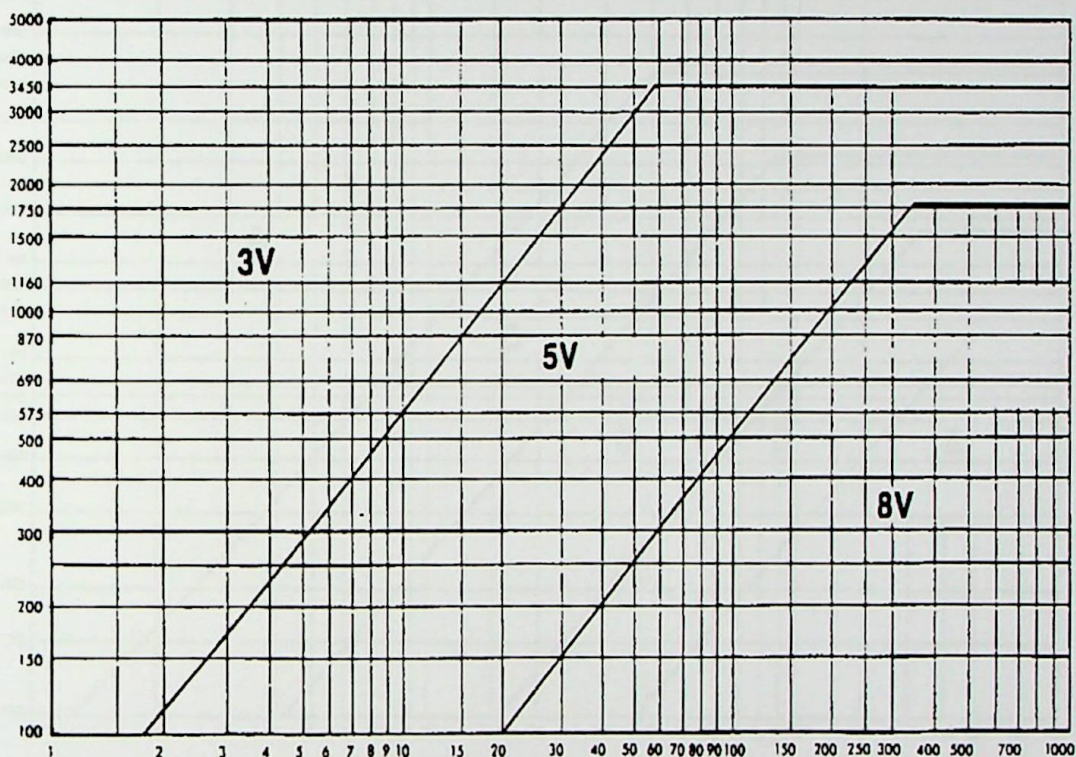
Denominação	Descrição	Símbolo
Conversores, Contadores, Sensores		
Detector de proximidade sem contato	Emissor de sinais elétricos sem contato direto. Comutação em função de campo magnético	
	Emissor de sinais de acionamento pneumático	
Chave elétrica fim de curso		
Conversor de sinais pneumático-elétrico	Sinais pneumáticos são transformados em sinais elétricos de saída	
Pressostato		
Contador pneumático de adição		
Contador pneumático predeterminador		
Sensor por reflexão		
Sensor por contato		
Barreira de ar, bico emissor		
Barreira de ar, bico receptor		
Barreira de ar, forma de garfo		

ANEXO II

Tabela 1 - Fator de serviço.

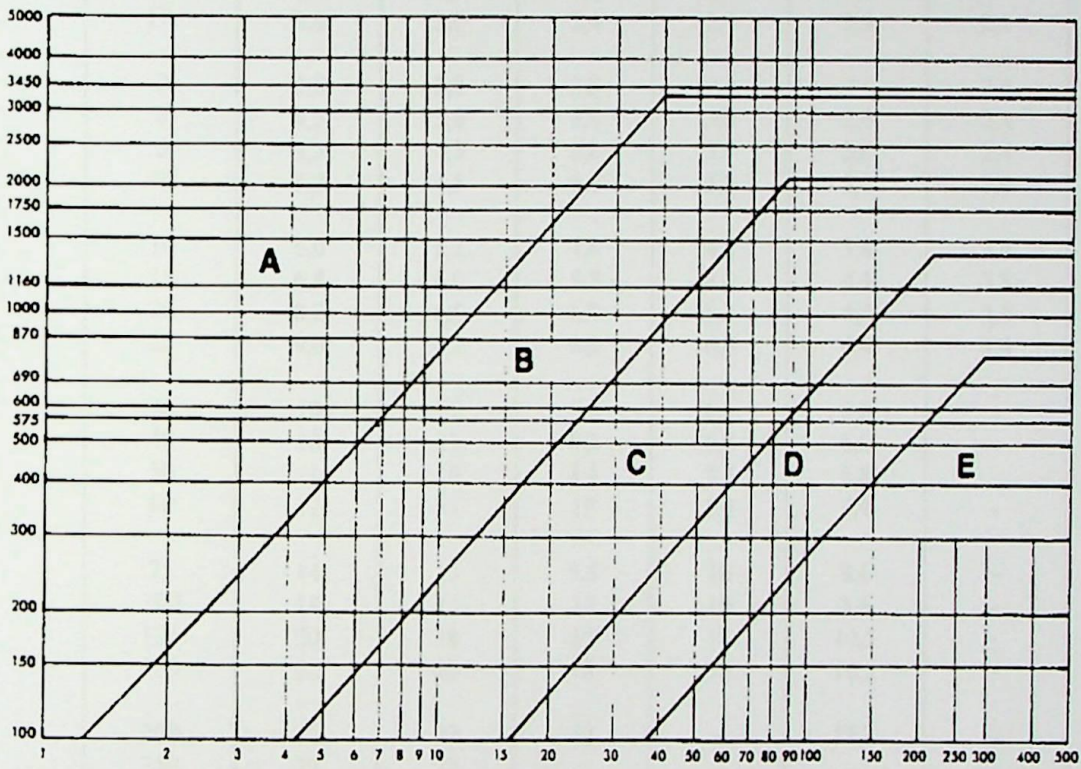
Máquina conduzida	Máquina condutora					
	Motores AC: Torque nominal, Rotor gaiola de anéis, Sincrônicos, Divisão de fase Motores DC: Enrolados em derivação Motores estacionários: Combustão interna de múltiplos cilindros			Motores AC: Alto torque, alto escorregamento, Repulsão-indução, monofásico, Enrolado em série, anéis coletores Motores DC: Enrolados em série, misto Motores estacionários: Combustão interna de um cilindro* Eixos de transmissão Embreagens		
	Serviço Intermitente	Serviço normal	Serviço contínuo	Serviço intermitente	Serviço Normal	Serviço Contínuo
As máquinas relacionadas são apenas exemplos representativos. Escolha o grupo cujas características sejam mais semelhantes à máquina em consideração.	3-5 h diárias ou periodicamente	8-10 h diárias	16-24 h diárias	3-5 h diárias ou periodicamente	8-10 h diárias	16-24 h diárias
Agitadores p/ líquidos Sopradores e exaustores Bombas centrífugas e compressores Ventiladores até 10HP Transportadores de carga leve	1,0	1,1	1,2	1,1	1,2	1,3
Correias transportadoras Ventiladores mais de 10HP Geradores Eixos de transmissão Maquinário de lavanderia Punções, prensas Máquinas gráficas Bombas centrífugas Peneiras vibratórias	1,1	1,2	1,3	1,2	1,3	1,4
Maquinário para olaria Elevadores de canecas Excitadores Compressores de pistão Moinhos de martelo Bombas de pistões Serrarias, carpintaria Maquinários textéis	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5	1,5
Britadores Guindastes Misturadores, calandras Moinhos para borracha	1,3	1,4	1,5	1,6	1,6	1,8

* O fator de serviço deverá ser aplicado sobre o valor para regime contínuo, mencionado na placa de identificação do próprio motor. Subtraia 0,2 (com um fator de serviço mínimo de 1,0) quando se tratar de classificação máxima intermitente. Recomenda-se o uso de um fator de serviço de 2,0 para equipamento sujeito a sufocações ou afogadiços.



Eixo RPM mais rápido x Potência projetada

Figura 1 - Seleção de perfil de correias SUPER HC.



Eixo RPM mais rápido x Potência projetada

Figura 2 - Seleção de perfil de correias HI-POWER II.

Tabela 2 – Diâmetro externo mínimo recomendado para correias SUPER HC (em polegadas).

HP do Motor	RPM do motor (50 e 60 ciclos)					
	575 485*	690 575*	870 725*	1160 950*	1750 1425*	3450 2850*
1/2	-	-	2,2	-	-	-
3/4	-	-	2,4	2,2	-	-
1	3,0	2,5	2,4	2,4	2,2	-
1 1/2	3,0	3,0	2,4	2,4	2,4	2,2
2	3,8	3,0	3,0	2,4	2,4	2,4
3	4,5	3,8	3,0	3,0	2,4	2,4
5	4,5	4,5	3,8	3,0	3,0	2,4
7 1/2	5,2	4,5	4,4	3,8	3,0	3,0
10	6,0	5,2	4,4	4,4	3,8	3,0
15	6,8	6,0	5,2	4,4	4,4	3,8
20	8,2	6,8	6,0	5,2	4,4	4,4
25	9,0	8,2	6,8	6,0	4,4	4,4
30	10	9,0	6,8	6,8	5,2	-
40	10	10	8,2	6,8	6,0	-
50	11	10	8,4	8,2	6,8	-
60	12	11	10	8,0	7,4	-
75	14	13	9,5	10	8,6	-
100	18	15	12	10	8,6	-
125	20	18	15	12	10,5	-
150	22	20	18	13	10,5	-
200	22	22	22	-	13,2	-
250	22	22	-	-	-	-
300	27	27	-	-	-	-

*Rotação para motores elétricos de 50 ciclos.

Tabela 3 – Diâmetro Pitch (primitivo) mínimo recomendado para correias HI-POWER II (em polegadas).

HP do Motor	RPM do motor (50 e 60 ciclos)					
	575 485*	690 575*	870 725*	1160 950*	1750 1425*	3450 2850*
1/2	2,5	2,5	2,2	-	-	-
3/4	3,0	2,5	2,4	2,2	-	-
1	3,0	3,0	2,4	2,4	2,2	-
1 1/2	3,0	3,0	2,4	2,4	2,4	2,2
2	3,8	3,0	3,0	2,4	2,4	2,4
3	4,5	3,8	3,0	3,0	2,4	2,4
5	4,5	4,5	3,8	3,0	3,0	2,6
7 1/2	5,2	4,5	4,4	3,8	3,0	3,0
10	6,0	5,2	4,6	4,4	3,8	3,0
15	6,8	6,0	5,4	4,6	4,4	3,8
20	8,2	6,8	6,0	5,4	4,6	4,4
25	9,0	8,2	6,8	6,0	5,0	4,4
30	10	9,0	6,8	6,8	5,4	-
40	10	10	8,2	6,8	6,0	-
50	11	10	9,0	8,2	6,8	-
60	12	11	10	9,0	7,4	-
75	14	13	10,5	10	9,0	-
100	18	15	12,5	11	10,0	-
125	20	18	15	12,5	11,5	-
150	22	20	18	13	-	-
200	22	22	22	-	-	-
250	22	22	-	-	-	-
300	27	27	-	-	-	-

*Rotação para motores elétricos de 50 ciclos.

Tabela 4 – Escolha da correia SUPER HC.

3V			
Circ. Externa Pol-mm	Correia Super HC ref.	Circ. Externa Pol-mm	Correia Super HC ref.
25-635	3V250	71-1805	3V710
26½-675	3V265	75-1905	3V750
28-710	3V280	80-2030	3V800
30-760	3V300	85-2160	3V850
31½-800	3V315	90-2285	3V900
33½-850	3V335	95-2415	3V950
35½-900	3V355	100-2540	3V1000
37½-955	3V375	106-2690	3V1060
40-1015	3V400	112-2995	3V1120
42½-1080	3V425	118-2995	3V1180
45-1145	3V450	125-3175	3V1250
47½-1205	3V475	132-3355	3V1320
50-1270	3V500	140-3555	3V1400
53-1345	3V530		
56-1420	3V560		
60-1525	3V600		
63-1600	3V630		
67-1700	3V670		

5V				8V			
Circ. Externa Pol-mm	Correia Super HC ref.	Circ. Externa Pol-mm	Correia Super HC ref.	Circ. Externa Pol-mm	Correia Super HC ref.	Circ. Externa Pol-mm	Correia Super HC ref.
50-1270	5V500	140-3555	5V1400	100-2540	8V1000	280-7110	8V2800
53-1345	5V530	150-3810	5V1500	106-2690	8V1060	300-7620	8V3000
56-1420	5V560	160-4065	5V1600	112-2845	8V1120	315-8000	8V3150
60-1525	5V600	170-4320	5V1700	118-2995	8V1180	335-8510	8V3350
63-1600	5V630	180-4570	5V1800	125-3175	8V1250	355-9017	8V3550
67-1700	5V670	190-4825	5V1900	132-3355	8V1320	375-9525	8V3750
71-1805	5V710	200-5080	5V2000	140-3555	8V1400	400-10160	8V4000
75-1905	5V750	212-5385	5V2120	150-3810	8V1500	425-10795	8V4250
80-2030	5V800	224-5690	5V2240	160-4065	8V1600	450-11430	8V4500
85-2160	5V850	236-5995	5V2360	170-4320	8V1700	474-12065	8V4750
90-2285	5V900	250-6350	5V2500	180-4570	8V1800	500-12700	8V5000
95-2415	5V950	265-6730	5V2650	190-4825	8V1900	560-14225	8V5600
100-2540	5V1000	280-7110	5V2800	200-5080	8V2000		
106-2690	5V1060	300-7620	5V3000	212-5385	8V2120		
112-2845	5V1120	315-8000	5V3150	224-5690	8V2240		
118-2995	5V1180	335-8510	5V3350	236-5995	8V2360		
125-3175	5V1250	355-9015	5V3550	250-6350	8V2500		
132-3355	5V1320			265-6730	8V2650		

Tabela 5 – Escolha da correia HI-POWER II.

PERFIL A			PERFIL B			PERFIL C			PERFIL D			PERFIL E		
Ref.	Circunf. PITCH		Ref.	Circunf. PITCH		Ref.	Circunf. PITCH		Ref.	Circunf. PITCH		Ref.	Circunf. PITCH	
	Pol.	mm		Pol.	mm		Pol.	Mm		Pol.	Mm		Pol.	mm
A-26	27.3	695	B-35	36.8	935	C-51	53.9	1370	D-120	123.3	3130	E-180	184.5	4685
27	28.3	720	37	38.8	985	55	57.9	1470	128	131.3	3335	195	199.5	5065
31	32.3	820	38	39.8	1010	58	60.9	1545	136	139.3	3540	202	206.5	5245
32	33.3	845	39	40.8	1035	60	62.9	1600	144	147.3	3740	210	214.5	5450
33	34.3	870	42	43.8	1115	63	65.9	1675	158	161.3	4095	225	229.5	5830
35	36.3	920	46	47.8	1215	68	70.9	1800	162	165.3	4200	240	241.0	6120
37	38.3	975	48	49.8	1265	71	73.9	1875	173	176.3	4480	270	271.0	6885
38	39.3	1000	50	51.8	1315	72	74.9	1900	180	183.3	4655	300	301.0	7645
41	42.3	1075	51	52.8	1340	73	75.9	1930	195	198.3	5035	325	326.0	8280
42	43.3	1100	52	53.8	1365	75	77.9	1980	210	213.3	5420	330	331.0	8405
45	46.3	1175	53	54.8	1390	81	83.9	2130	225	225.8	5735	360	361.0	9170
46	47.3	1200	55	56.8	1445	85	87.9	2235	240	240.8	6115	390	391.0	9930
47	48.3	1225	60	61.8	1570	90	92.9	2360	250	250.8	6370	420	421.0	10695
49	50.3	1280	63	64.8	1645	96	98.9	2510	270	270.8	6880	480	481.0	12215
50	51.3	1305	64	65.8	1670	100	102.9	2615	300	300.8	7640			
51	52.3	1330	65	66.8	1695	105	107.9	2740	330	330.8	8400			
53	54.3	1380	68	69.8	1775	112	114.9	2920	360	360.8	9165			
54	55.3	1405	71	72.8	1850	120	122.9	3120	390	390.8	9925			
55	56.3	1430	73	74.8	1900	128	130.9	3325	420	420.8	10690			
57	58.3	1480	75	76.8	1950	136	138.9	3530	480	480.8	12210			
60	61.3	1555	78	79.8	2025	144	146.9	3730						
62	63.3	1610	81	82.8	2105	158	160.9	4085						
64	65.3	1660	85	86.8	2205	162	164.9	4190						
66	67.3	1710	90	91.8	2330	173	175.9	4470						
68	69.3	1760	93	94.8	2410	180	182.9	4645						
69	70.3	1785	95	96.8	2460	195	197.9	5025						
71	72.3	1835	97	98.8	2510	210	212.9	5410						
75	76.3	1940	105	106.8	2715	225	225.9	5740						
80	81.3	2065	112	113.8	2890	240	240.9	6120						
85	86.3	2190	120	121.8	3095	255	255.9	6500						
90	91.3	2320	124	125.8	3175	270	270.9	6880						
96	97.3	2470	128	129.8	3295	300	300.9	7645						
105	106.3	2700	136	137.8	3500	330	330.9	8405						
112	113.3	2880	144	145.8	3705	360	360.9	9165						
120	121.3	3080	158	159.8	4060	390	390.9	9930						
128	129.3	3285	162	163.8	4160	420	420.9	10690						
136	137.3	3485	173	174.8	4440									
144	145.3	3690	180	181.8	4620									
158	159.3	4045	195	196.8	5000									
162	163.3	4150	210	211.8	5380									
173	174.3	4425	225	225.3	5725									
180	181.3	4605	240	240.3	6105									
			270	270.3	6865									
			300	300.3	7630									
			330	330.3	8390									
			360	360.3	9150									

Tabela 6 – Fator de correção da distância entre centros (h).

$\frac{D-d}{A}$	Fator h	$\frac{D-d}{A}$	Fator h	$\frac{D-d}{A}$	Fator h	$\frac{D-d}{A}$	Fator h	$\frac{D-d}{A}$	Fator H	$\frac{D-d}{A}$	Fator h
0,00	0,00	0,12	0,06	0,23	0,12	0,34	0,18	0,43	0,24	0,51	0,30
0,02	0,01	0,14	0,07	0,25	0,13	0,35	0,19	0,44	0,25		
0,04	0,02	0,16	0,08	0,27	0,14	0,37	0,20	0,46	0,26		
0,06	0,03	0,18	0,09	0,29	0,15	0,39	0,21	0,47	0,27		
0,08	0,04	0,20	0,10	0,30	0,16	0,40	0,22	0,48	0,28		
0,10	0,05	0,21	0,11	0,32	0,17	0,41	0,23	0,50	0,29		

Tabela 7 – Fator de correção de comprimento de correias Super HC.

3V		5V		8V	
Ref. Super HC	Fator De correção	Ref. Super HC	Fator De correção	Ref. Super HC	Fator De Correção
3V250	0,83	5V500	0,85	8V1000	0,87
3V265	0,84	5V530	0,86	8V1060	0,88
3V280	0,85	5V560	0,87	8V1120	0,88
3V300	0,86	5V600	0,88	8V1180	0,89
3V315	0,87	5V630	0,89	8V1250	0,90
3V335	0,88	5V670	0,90	8V1320	0,91
3V355	0,89	5V710	0,91	8V1400	0,92
3V375	0,90	5V750	0,92	8V1500	0,93
3V400	0,92	5V800	0,93	8V1600	0,94
3V425	0,93	5V850	0,94	8V1700	0,94
3V450	0,94	5V900	0,95	8V1800	0,95
3V475	0,95	5V950	0,96	8V1900	0,96
3V500	0,96	5V1000	0,96	8V2000	0,97
3V530	0,97	5V1060	0,97	8V2120	0,98
3V560	0,98	5V1120	0,98	8V2240	0,98
3V600	0,99	5V1180	0,99	8V2360	0,99
3V630	1,00	5V1250	1,00	8V2500	1,00
3V670	1,01	5V1320	1,01	8V2650	1,01
3V710	1,02	5V1400	1,02	8V2800	1,02
3V750	1,03	5V1500	1,03	8V3000	1,03
3V800	1,04	5V1600	1,04	8V3150	1,03
3V850	1,06	5V1700	1,05	8V3350	1,04
3V900	1,07	5V1800	1,06	8V3550	1,05
3V950	1,08	5V1900	1,07	8V3750	1,06
3V1000	1,09	5V2000	1,08	8V4000	1,07
3V1060	1,10	5V2120	1,09	8V4250	1,08
3V1120	1,11	5V2240	1,09	8V4500	1,09
3V1180	1,12	5V2360	1,10	8V4750	1,09
3V1250	1,13	5V2500	1,11	8V5000	1,10
3V1320	1,14	5V2650	1,12	8V5600	1,12
3V1400	1,15	5V2800	1,13		
		5V3000	1,14		
		5V3150	1,15		
		5V3350	1,16		
		5V3550	1,17		

Tabela 8 – Fator de correção de comprimento de correias HI-POWER II.

Perfil A		Perfil B		Perfil C		Perfil D		Perfil E	
Ref. HI-POWER II	Fator De correção	Ref. HI-POWER II	Fator De correção	Ref. HI-POWER II	Fator De correção	Ref. HI-POWER II	Fator De correção	Ref. HI-POWER II	Fator De correção
A-26	0,57	B-35	0,77	C-51	0,77	D-120	0,86	E-180	0,92
A-27	0,76	B-37	0,78	C-55	0,79	D-128	0,88	E-195	0,93
A-31	0,79	B-38	0,79	C-60	0,81	D-144	0,90	E-210	0,95
A-32	0,80	B-39	0,80	C-68	0,83	D-158	0,92	E-240	0,97
A-33	0,81	B-42	0,81	C-71	0,84	D-162	0,92	E-270	0,99
A-35	0,82	B-46	0,83	C-75	0,86	D-173	0,94	E-300	1,01
A-37	0,84	B-48	0,84	C-81	0,87	D-180	0,94	E-330	1,03
A-38	0,85	B-52	0,86	C-85	0,88	D-195	0,96	E-360	1,04
A-41	0,86	B-55	0,88	C-90	0,90	D-210	0,98	E-390	1,06
A-42	0,87	B-60	0,90	C-96	0,91	D-225	0,99	E-420	1,07
A-45	0,89	B-64	0,92	C-100	0,92	D-240	1,00	E-480	1,09
A-46	0,90	B-68	0,93	C-105	0,93	D-270	1,02		
A-49	0,91	B-71	0,94	C-112	0,95	D-300	1,04		
A-53	0,93	B-75	0,95	C-120	0,96	D-330	1,06		
A-57	0,95	B-78	0,96	C-128	0,97	D-360	1,08		
A-60	0,97	B-85	0,99	C-136	0,99	D-390	1,10		
A-64	0,99	B-90	1,00	C-144	1,00	D-420	1,11		
A-68	1,00	B-95	1,01	C-158	1,02	D-480	1,14		
A-71	1,01	B-97	1,02	C-162	1,03				
A-75	1,03	B-105	1,04	C-173	1,04				
A-80	1,04	B-112	1,05	C-180	1,05				
A-85	1,06	B-120	1,07	C-195	1,07				
A-90	1,08	B-128	1,09	C-210	1,08				
A-96	1,09	B-136	1,10	C-225	1,10				
A-105	1,12	B-144	1,12	C-240	1,11				
A-112	1,13	B-158	1,14	C-255	1,13				
A-120	1,15	B-162	1,15	C-270	1,14				
A-128	1,17	B-173	1,16	C-300	1,16				
		B-180	1,17	C-330	1,18				
		B-195	1,19	C-360	1,20				
		B-210	1,22	C-390	1,22				
		B-225	1,23	C-420	1,24				
		B-240	1,24						
		B-270	1,27						
		B-300	1,30						

Tabela 9 – Fator de correção do arco contato.

$\frac{D-d}{DC}$	Arco de contato Da polia menor (Graus)	Fator "G"
0,00	180	1,00
0,10	174	0,99
0,20	169	0,97
0,30	163	0,96
0,40	157	0,94
0,50	151	0,93
0,60	145	0,91
0,70	139	0,89
0,80	133	0,87
0,90	127	0,85
1,00	120	0,82
1,10	113	0,80
1,20	106	0,77
1,30	99	0,73
1,40	91	0,70
1,50	83	0,65

ANEXO III

Tabela 1 – Sistema de visão comercial.

NOME	EMPRESA	RESOLUÇÃO	UTILIZAÇÃO
AUTOVISÃO II	Automix	256 x 256 pixels 16 níveis de cinza	Ajustes e soldagem a arco
UNIVISÃO II	Unimation		Soldagem a arco
IAP 2200	Octek	320 x 240 pixels 16 níveis de cinza	
i-bot	Object Recognition System		Trabalha com peças sobrepostas
Sistema de Visão ASEA	ASEA		Programa-se diretamente com uma pistola
OPTOMATION II	General Electric	256 x 256 pixels 256 níveis de cinza	

