

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Mecânica

PMC – 581 – Projeto Mecânico II

“Robôs Autômatos para Trajetórias não Previstas”

Estudo de Viabilidade

Alunos:

Alexandre Moreira Nascimento
Marcelo Pierrotti Manjon

NUSP:

663723
1463659

Professor Orientador:

Prof. Dr. Marcelo Godoy Simões

10,0 (dez)
hbm



Apresentação

Este é o nosso trabalho de finalização do curso, mas não do encerramento de nossa busca ávida por conhecimentos e desafios. Muitos desafios surgirão durante nossas vidas, alguns iremos superar, outros não. Mas uma coisa é certa: depois destes 5 anos nesta escola, estamos mais preparados para enfrentá-los.

Este trabalho se destina a incentivar início de uma prática muito comum em várias Escolas de Engenharia em todo o mundo: o Micromouse Contest. Muito mais do que uma competição de mini-robôs, a construção de um Micromouse exige a aplicação de diversos conceitos adquiridos no curso de Engenharia.

Tendo em vista este propósito, este trabalho se prestará como uma referência inicial à futuros trabalhos desta espécie, procurando descrever diversas possibilidades de soluções que podem ser implementadas. Neste contexto, as informações aqui contidas não se limitam apenas a descrever os conhecimentos adquiridos relacionados ao Micromouse, mas procuram atingir um escopo mais amplo visando a reunião do maior volume de informações possíveis no campo da robótica experimental.

Esperamos que este trabalho seja útil à futuros Politécnicos e engenheiros em geral para que os mesmos possam contribuir com seus conhecimentos com o desenvolvimento científico de nossa nação.

Dedicamos este trabalho à todas as pessoas que encheram nossos corações de alegria nestes 5 anos difíceis de nossas vidas, e principalmente à nossos pais, amigos e irmãos.

Dedicatória

Dedico este trabalho às pessoas que me ensinaram a sonhar, lutar e conquistar:
Meus pais, irmãos e amigos, com os quais minha dívida é eterna.

Alexandre Moreira Nascimento

Dedicatória

Dedico este trabalho aos poucos
que muito me ensinaram

Marcelo Pierrotti Manjon

Dedicatória

Dedicamos este trabalho também às estas pessoas:
Al Pacino, Cássio , Nélon (Xerox) e Paulo Francis.

Alexandre Moreira Nascimento
Marcelo Pierrotti Manjon

Bibliografia

- [1] Osborne, Adam - "Microprocessadores – Conceitos Básicos" – Volume 1 – McGraw-Hill
- [2] CONSIDUNE, Douglas - "Encyclopedia of Instrumentation and Control" California - McGraw Hill, 1971.
- [3] GANSSELE, J. - "The Art of Programming Embedded Systems" San Diego - Academic Press, 1992.
- [4] HERSCH, Russ. – "8051 Frequently Asked Questions"
<http://www.ece.orst.edu/~pricec/8051/FAQ>
- [5] HERSCH, Russ. – "68HC11 Microcontroller F.A.Q."
<http://www.cs.ruu.nl/wais/html/na-dir/microcontroller-FAQ/68HC11.html>
- [6] KADIE, Carl. - "Robot-building lab and contest at the 1993 National AI Conference". - AI Magazine (California), v.14, Winter 1993, p.73-77.
- [7] KANESALINGAM, Chelliah. - Design Guidelines of Micromouse - 1996
<http://www.ucl.ac.uk/pers/C.Kanesalingam/kanesh.htm>
- [8] MACKENZIE, I. Scott. - "The 8051 Microcontroller" - 2nd Edition. Englewood Cliffs, N. J. - Prentice Hall, c1995.
- [9] McCLOYD, D. and HARRIS M.- "Robotics an introduction" - England, Open University Press, 1986.
- [10] McCOMB, Gordon. - "The Robot Builders Bonanza 99 Inexpensive Robotics Projects" - Philadelphia, McGraw-Hill inc., 1987.

- [11] MARTIN, Fred G.- "The Handy Board Technical Reference"
Cambridge MA, The Media Laboratory of the Massachusetts Institute of
Technology, 1996.
- [12] OGDEN, James. - University of California Davis MicroMouse Homepage, 1996
- <http://www.ece.ucdavis.edu/umouse>
- [13] ROBILLARD, Mark. - "Building a robot from the bottom up". - Radio Electronics
(New York), v.56, p.90+, September 1985.
- [14] SPASOV, Peter - "Microcontroller Technology: The 68HC11" - 2nd Edition
Sir Sanford Flemming College, Ontario, Prentice Hall, c1995.
- [15] THOMAS, D.E., ADAMS, J.K. and SCHMIT, H.- "A Model and Methodology for
Hardware-Software Co-Design". - IEEE Design & Test of Computers, Vol.10 No.3
pp 6-15, September 1993.
- [16] WATKINS, Steven K., SCHWINDT, Eric W., CONRAD, James M. - "The
Making of an Introductory Mobile Robot" - Arkansas, University of Arkansas, 1996.
- [17] Micromouse Rules, <http://www.cp.eng.chula.ac.th/mmouse/mmrules.htm> - 1996
- [18] Datasheet MC68HC11 Motorola
- [19] Manual de Referência do *Handy Board*
- [20] Revistas Saber Eletrônica
- [21] Pallás-areny, Ramón & Webster, John G. – "Sensors and signal conditioning"-
Wiley-interscience publication 1991

[22] Sze , S.M. – “Physics of Semiconductor devices” - Wiley interscience 1969

[23] Revistas Saber Eletrônica

[24] Jones, Joseph L. & Flynn, Anita M. – “Mobile Robots – Inspiration to Implementation” – A K Peters Wellesley, Massachusetts

[25] Datasheet sensor QRD 1114

[26] Datasheet NEC PD70320

[27] Datasheet NEC PD70325

[28] Datasheet Parallax Basic Stamp

[29] MARTIN, Fred G.- " Manual Interactive C"
Cambridge MA, The Media Laboratory of the Massachusetts Institute of
Technology, 1996.

1	Estudo de Viabilidade	2
1.1	Necessidade	2
1.2	Formulação do Projeto	4
1.3	Síntese das Soluções.....	7
1.4	Detalhamento dos Componentes	13
1.4.1	Lego MindStorms.....	13
1.4.2	Microprocessadores.....	19
1.4.3	Memória	98
1.4.4	Interface com o Computador	127
1.4.5	Sensores.....	129
	O Kit Sonar da Polaroid pode ser encontrado na RobotStore.	149
1.4.6	Motores e Redutores.....	150
1.4.7	Interface com Motores.....	172
1.4.8	Fonte de Energia.....	179
1.4.9	Sistema de Movimentação.....	189
1.4.10	Rodas.....	194
1.4.11	Material da estrutura do robô	195
1.4.12	Componentes de Fixação:	197
1.5	Solução 1.....	198
1.5.1	Componentes da Solução	198
1.5.2	Descrição da Solução	199
1.5.3	Valor Econômico.....	202
1.6	Solução 2.....	204
1.6.1	Componentes da solução	204
1.6.2	Descrição da Solução	206
1.6.3	Valor Econômico.....	208
1.7	Solução 3.....	210
1.7.1	Componentes da Solução	210
1.7.2	Descrição da Solução	211
1.7.3	Valor Econômico.....	217
1.8	Solução 4.....	219
1.8.1	Componentes da Solução	219
1.8.2	Descrição da Solução	220
1.8.3	Valor Econômico.....	224

1 Estudo de Viabilidade

Como etapa inicial de um projeto, procurou-se com o Estudo de Viabilidade analisar a necessidade do projeto, bem como o seu detalhamento, as especificações e a elaboração de algumas alternativas de solução.

1.1 Necessidade

A necessidade deste projeto pode ser explicada por mais de uma forma. Analisando o pequeno número de projetos envolvendo robôs autômatos no Brasil, e num universo pouco menor, na Universidade de São Paulo, pode-se estabelecer uma necessidade quase que imediata. Esta seria a divulgação e o incentivo ao desenvolvimento de novas pesquisas e projetos nesta área. Comparativamente, analisando os cursos equivalentes em outras Universidades do mundo, este projeto é realizado por alunos de graduação a partir do 2º ou 3º ano, como um projeto prático, geralmente associado à uma matéria. Nestas Universidades, o Micromouse é apenas um dos projetos desenvolvidos no meio de muitos outros de mesma espécie.

A importância deste projeto é principalmente sua capacidade de reunir um grande número de conceitos estudados no curso, além de permitir que os alunos os conheça na prática e veja o seu produto acabado atendendo às necessidades. O fato do projeto estar vinculado à uma competição é, além de um fator motivante, uma maneira de preocupar o projetista com a qualidade e a otimização da solução. Diante disto, é realmente muito importante que o desenvolvimento deste projeto se torne algo comum em nosso meio acadêmico, como é nas Universidades no resto do mundo.

Outra necessidade do desenvolvimento deste projeto pelos alunos durante o curso é sua capacidade de elevar grau de motivação dos mesmos pelo curso. Isto é algo muito sério, visto que cada vez mais há uma desmotivação

dos alunos, principalmente por parte dos alunos da Mecatrônica, que esperam Ter contato com um conteúdo maior de projetos deste âmbito.

O resultado deste projeto, além do protótipo, será a reunião de um material que servirá de base para o desenvolvimento de novos projetos, justificando assim mais uma necessidade do mesmo.

1.2 *Formulação do Projeto*

A formulação do projeto do Micromouse foi retirada dos objetivos/regras do IEEE Micromouse Contest. Desta forma, este projeto objetiva a construção de um robô autômato de acordo com as seguintes especificações:

- O micromouse deve ser um robô autônomo (sem controles remotos) e não poderá possuir nenhuma fonte de energia externa.
- O micromouse não poderá deixar nenhuma parte de si durante a locomoção pelo labirinto.
- O micromouse não poderá pular, voar, escalar, cortar, queimar, marcar, danificar ou destruir as paredes do labirinto.
- Cada micromouse não deverá ser maior, tanto em comprimento quanto em largura que 25 centímetros. Suas dimensões máximas atingidas durante a locomoção pelo labirinto também não deverá ultrapassar 25 cm x 25 cm. Não há nenhuma restrição quanto a altura do micromouse.
- O custo total do robô (em materiais) não deverá exceder U\$ 600. Isto é julgado com base nos valores atuais de mercado de todos os materiais que possam ser utilizados para o projeto do robô.

Como o local onde o Micromouse irá funcionar é um labirinto com característica bem definidas, o projeto do robô deverá seguir também as especificações do mesmo. Com relação ao labirinto, tem-se as seguintes especificações:

- Labirinto é composto de 256 (16 x 16) células de 18 cm x 18 cm quadrados (medidos do centro de cada parede ao centro da outra parede). As paredes do labirinto tem 5 cm de altura e 1.2 cm de espessura com uma tolerância de 5 %. A parede externa engloba todo o labirinto.
- O início do labirinto é localizado em um dos quatro cantos possíveis. O robô deverá iniciar a negociação com o labirinto na direção horária. A célula inicial

terá três paredes e uma única passagem possível em sentido horário. No centro do labirinto está um quadrado central composto de quatro células totais. Este quadrado central é o ponto final que o robô deverá alcançar. O centro deste quadrado é pintado por uma etiqueta vermelha. Esta poderá ser removida caso o participante assim desejar. Este quadrado terá somente uma única entrada. A linha inicial estará entre os dois primeiros quadrados, e o tempo iniciará quando o robô ultrapassar o primeiro quadrado.

- A área central do labirinto terá dimensões de 12 x 12 células quadradas. Para manter as regras internacionais, o ponto final do labirinto estará localizado o centro de um labirinto 16 x 16. Também não haverá nenhuma etiqueta no centro do mesmo.
- As pequenas zonas quadradas, cada uma de 1.2 cm x 1.2 cm em cada um dos quatro cantos de cada célula são conhecidas por lattice points. O labirinto é então construído de forma que haja pelo menos uma parede em cada lattice point, com exceção para o quadrado final. Assim, as passagens entre as paredes terão 16.8 cm.
- Os lados das paredes do labirinto serão pintados de branco, a parte superior será vermelha e o chão será preto. O labirinto é feito de madeira e pintado por uma tinta non-gloss.
- labirinto pode consistir de uma combinação de seções do tipo "L", "T", "J", "+" e "I". Para as seções do tipo "+", haverá células quadradas não cobertas por paredes.
- Múltiplos caminhos entre o ponto inicial e o ponto final serão permitidos e esperados.
- Com relação aos intervalos entre as paredes, podem ser de no máximo 2 mm. Um intervalo também pode existir entre as folhas da madeira (até 2 mm).

Além das especificações acima, há algumas importas pelo grupo para o projeto do Micromouse em questão:

1. Funcionais

- Desempenho: o Micromouse deverá ser capaz de resolver o labirinto, ou seja, chegar a té o centro do mesmo partindo da região de início, sem ajuda externa, e num tempo menor que 15 minutos.

2. Construtivas

- Autonomia: o Micromouse deverá possuir autonomia suficiente de pelo menos 30 minutos de funcionamento contínuo.
- Peso Máximo: o Micromouse deverá pesar menos que 5 Kg.

1.3 Síntese das Soluções

Este projeto pode ser dividido em 2 sub-projetos devido sua modularidade:

- ◆ Projeto Eletrônico: é o responsável por todos os circuitos eletrônicos envolvidos no controle do Micromouse. Estes circuitos podem ser subdivididos nos seguintes subsistemas:
 1. Circuito Microcontrolador: é o responsável pelo controle do robô propriamente dito, realizando o processamento do programa de controle do mesmo, das informações dos sensores e exercendo controle sobre os motores.
 2. Circuito de Memória: é a parte do circuito onde os algoritmos de controle do Micromouse ficam armazenados, bem como as informações coletadas a respeito do labirinto
 3. Interface com os Sensores: é o circuito responsável pelo interfaceamento entre os sensores utilizados no Micromouse e o circuito Microcontrolador.
 4. Sensores: são os componentes responsáveis pela "percepção" do meio-externo, ou seja, as paredes do labirinto.
 5. Interface com os Motores: é o circuito responsável pelo interfaceamento entre os motores (atuadores) e o Microcontrolador. Por trabalhar com uma potência mais elevada, os motores necessitam de um circuito de potência para realizar esta interface
 6. Circuito de Alimentação: é o circuito responsável pelo fornecimento de energia aos circuitos eletrônicos e aos motores. Este circuito deve garantir qualidade na energia fornecida, ou seja, garantir estabilidade da mesma, níveis bem conhecidos de

variação e imunidade à ruídos, principalmente na alimentação dos circuitos eletrônicos.

7. Fonte de Energia: é o sistema responsável pela armazenamento de energia para o funcionamento dos circuitos. Deve garantir a autonomia desejada.
 8. Interface com o Computador: é o circuito que realiza a conexão entre os circuitos do Robô e um Microcomputador para carga dos algoritmos desenvolvidos e *debug* dos mesmos.
- ◆ Projeto Mecânico: é a parte responsável pela concepção da estrutura que irá abrigar os circuitos eletrônicos do robô, os motores, as reduções, as rodas, a fonte de energia e os demais componentes responsáveis pelo sistema de locomoção do robô. Os Componentes básicos deste sub-projeto são:
1. Chassi: é a estrutura responsável sustentação e fixação dos demais componentes do robô. Deve ser de material resistente devido a sua função, e de preferência leve para não contribuir significativamente com o peso do robô, diminuindo a potência necessária para a locomoção do mesmo.
 2. Motores: são os componentes responsáveis pela movimentação do robô. Devem, de preferência, possuir a menor relação peso/potência e serem de dimensões compatíveis com o Micromouse.
 3. Redutores: é o conjunto de componentes responsável pela transmissão na energia mecânica dos motores para as rodas, geralmente composto por um conjunto de engrenagem com a relação de diâmetros convenientes. A redução garante a adequação do torque e velocidade fornecidos pelo motor ao necessário para a movimentação de toda a estrutura do robô.

4. Rodas: as rodas devem ser selecionadas ou projetadas adequadamente, levando-se em consideração o tipo da aplicação e a superfície de contato das mesmas.
5. Suportes e Fixadores: são os componentes responsáveis pela fixação dos diversos componentes do robô ao chassi.

A figura 1 mostra a relação entre estes sub-sistemas.

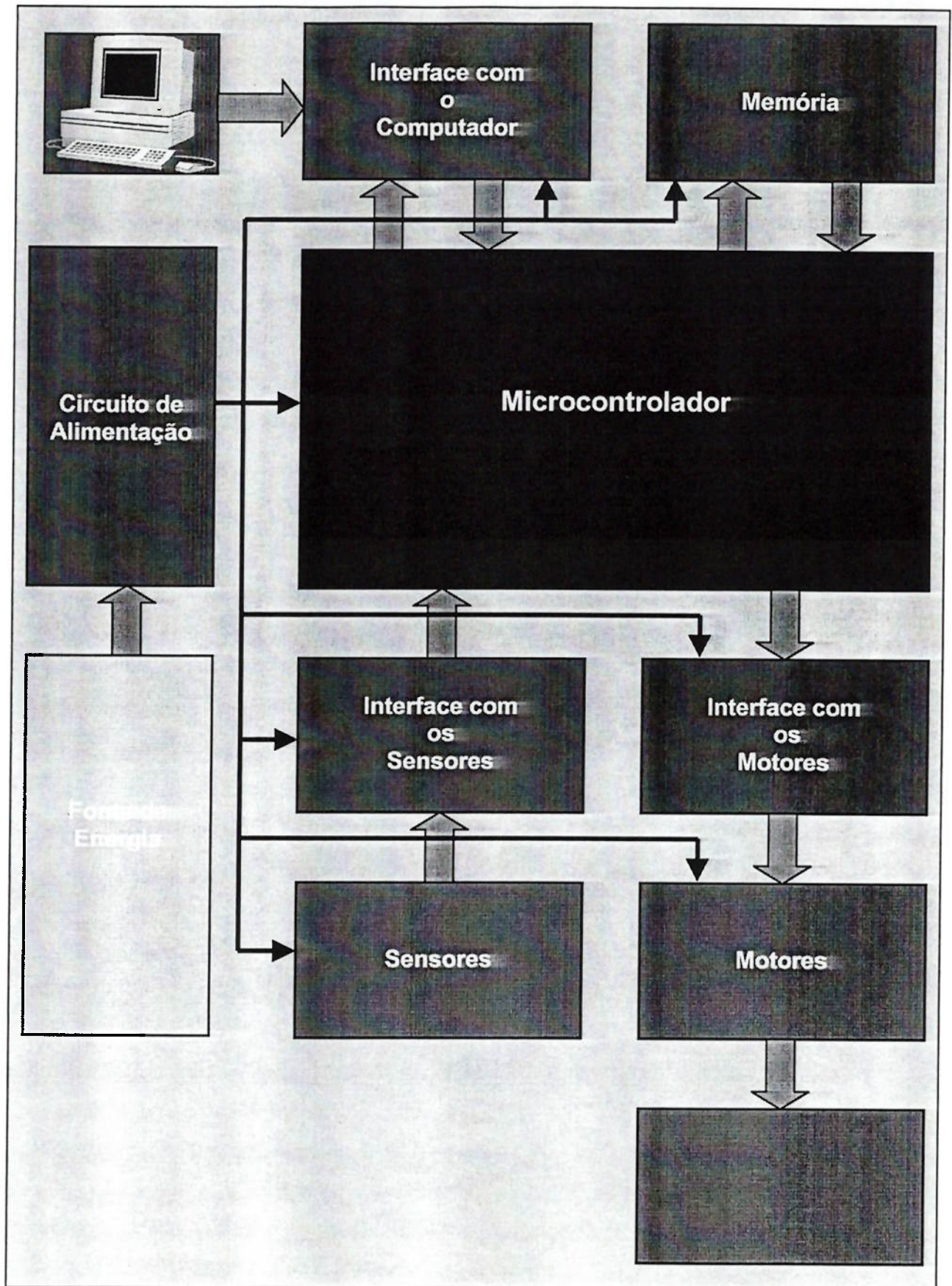


Figura 1 – Relação entre os diversos sub-sistemas

Devido esta possibilidade de divisão, os dois projetos foram tratados como independentes até onde foi possível visando uma maior simplificação.

Das diversas concepções e idéias surgidas para os diversos sub-sistemas descritos, as mais plausíveis foram sintetizadas em tabelas, possibilitando a combinação das mesmas para formação de soluções.

Sub-sistema	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Alternativa 5
Microcontrolador	Nenhum	NEC PD70320	Parallax Basic Stamp	Zilog-80	Motorola 68HC11
Memória	Nenhuma	Static RAM	EPROM	EEPROM	RAM
Interface com Computador	Nenhuma	Serial	Paralela	IR	Serial via RF
Interface com Sensores	Nenhuma	Conversor A/D	-	-	-
Sensores	Push Button	Sensor IR	Sonar	-	-
Interface com Motores	Nenhuma	L293D	H-Bridge		
Circuito de Alimentação	Nenhum				
Fonte de Energia	Pilhas Zinco- Carbono	Pilha NiCd			

Tabela 1 – Síntese das diversas soluções para o Projeto Elétrico do Micromouse

Sub-sistema	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Alternativa 5
Chassi	Alumínio	PVC	Madeira	Lego	-
Motores	Motor DC	Servo-Motor	Motor de Passo	-	-
Redutores					
Rodas	Borracha	Madeira	Espuma	-	-
Fixadores	Cola Quente	Cola Fria	Parafuso	Prego	Braçadeira
Suportes	Alumínio	PVC	Madeira	Lego	-

Tabela 2 – Síntese das diversas soluções para o Projeto Mecânico do Micromouse

Utilizando-se as tabelas acima, através da combinação das várias alternativas, é possível a concepção de diversas soluções. Os materiais citados nas tabelas acima podem ser encontrados nos revendedores/fabricantes descritos nos ANEXOS.

Existem opções de sistemas de controle para robôs muito consagradas pelo uso, como por exemplo a Handyboard e a F1 Board, baseadas no CI 68HC11 da Motorola, que já incluem conversores A/D, interface com o computador, memória, e etc. A vantagem destes sistemas é que já contam com uma ampla documentação disponível, diversos fontes e a experiência de utilização em diversas Universidades.

Um outra opção é o LEGO MindStorms, que é um kit a lego especialmente desenvolvido para a construção de robôs baseado em componentes padrão Lego e contendo todos os componentes eletrônicos necessários. Com este kit é possível a construção do Micromouse, assim uma infinidade de outros robôs. Por esta flexibilidade, este Kit têm sido amplamente utilizado para fins didáticos em Universidades americanas. Este Kit será descrito a parte neste relatório.

1.4 Detalhamento dos Componentes

1.4.1 Lego MindStorms

O Lego MindStorms é uma linha de produtos produzidos pela Lego e largamente utilizada em experimentos relacionados à robótica nas Universidades americanas que reúne a versatilidade de reconfiguração e montagem do padrão Lego com a experiência dos alunos e pesquisadores do M.I.T. na construção de robôs experimentais. O controle do sistema é o RCX, que é um microcomputador acoplado à encaixes Lego e que pode ser programado através de um PC comum. O RCX recebe sinais de um transmissor infravermelho conectado à porta serial do PC e armazena o programa em sua memória. Após o encaixe dos atuadores e sensores, basta pressionar o botão "RUN" e o robô funciona. A programação do RCX é muito simples e utiliza uma linguagem de programação modularizada e customizada chamada RCX code. Os Kits Lego MindStorm acompanham uma fita de vídeo com orientações de como utilizar o RCX.

Para se ter uma noção da versatilidade e facilidade destes kits há um manual de montagem utilizando estes componentes nos ANEXOS.

A Lego comercializa três kits voltados a construção de robôs experimentais:

- ◆ **Lego MindStorms Robotics Invention System**

Este kit é o "coração" da linha de produtos MindStorm pois inclui todos os componentes necessários para começar a programação dos Robôs a partir do PC. Este kit é, portanto, um pré-requisito para os kits de expansão MindStorms.

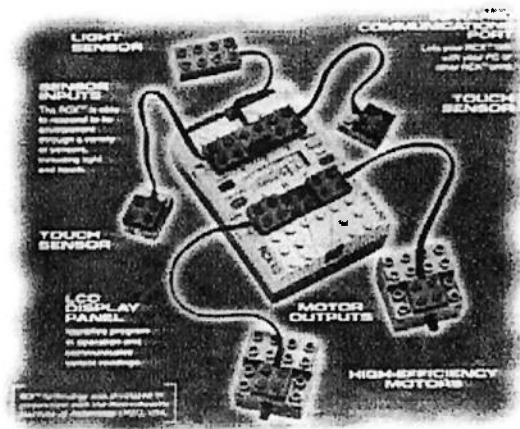
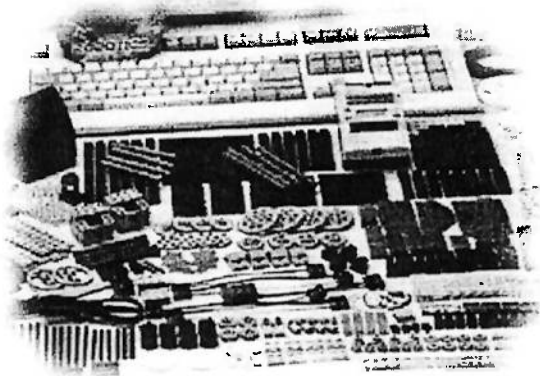


Figura 2 - Lego MindStorms Robotics Invention System

Característica	Descrição
Série	H8/3297
Nome do Produto	H8/3292
Part number	HD6433292
Tamanho da ROM	16 Kbytes
Tamanho da RAM	512 bytes
Velocidade	16 MHz (à 5 Volts)
Timers de 8-bits	2
Timers de 16-bits	1
Timers Watchdog	1
Conversores A/D	Oito 10-bit
Pinos de I/O	43 (8 somente entrada)
Porta Serial	1 Full Duplex
Saídas de 10mA	10

As fotos a seguir mostram algumas vistas do RCX.



Figura 3 - Transmissor/receptor de infra-vermelho no RCX

Este kit inclui os seguintes componentes:

- ◆ O microcomputador RCX
- ◆ 1 CD-ROM com os softwares necessários para programação e comunicação
- ◆ 2 Motores
- ◆ 2 Sensores de Toque
- ◆ 1 Sensor de Luz
- ◆ Manuais
- ◆ Um transmissor infra-vermelho com cabo serial e adaptador
- ◆ 12 Guided Challenges
- ◆ Mais de 700 peças padrão Lego incluindo engrenagens e etc.

O RCX utiliza 6 pilhas AA para sua alimentação, enquanto que o transmissor infra-vermelho utiliza 1 bateria de 9 Volts.

O RCX é baseado em um CI da Hitachi, o H8/3297 (no item ANEXOS está o Datasheet deste CI), cujas características mais relevantes podem se encontradas na tabela a seguir.



Figura 4 - Um array de capacitores para regular a tensão



Figura 5 - Lado de baixo da placa de circuito impresso



Figura 6 - Circuitos integrados na lado de trás da placa de circuito impresso

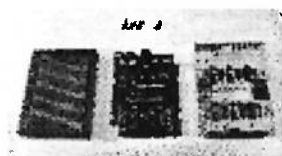


Figura 7 - O suporte para pilhas, a placa de circuito impresso e a tampa de cima do gabinete



Figura 8 - Vista superior frontal da tampa de cima do gabinete



Figura 9 - Vista superior frontal da placa de circuito impresso

Maiores informações sobre o RCX e os kits Lego podem ser encontradas nos sites da WEB listados nos ANEXOS.

Este kit pode ser adquirido por US\$ 198,00 na RobotStore.

◆ Lego Extreme Creatures

Este kit expande as possibilidades do Robotics Invention System, permitindo que sejam criados robôs com pincers, jaws e claws que permitam sua programação para atacar, se defender ou escapar do perigo. Este kit foi criado em função das necessidades criadas por inúmeras competições entre robôs.

Este kit inclui:

- ◆ Strands de Fibra Óptica
- ◆ CD-ROM com programas
- ◆ Manual de instruções
- ◆ 12 Guided Challenges

- ◆ Mais de 140 peças lego incluindo todas as partes necessárias para criar pincers, jaws e claws

Este kit pode ser adquirido na RobotStore por US\$58,00

- ◆ Lego RobotSports

Este kit possibilita a criação de robôs que *grap balls, shoot hoops, slap pucks, maneuver around obstacles, e até mesmo dodge opponents*. É um kit bastante interessante para algumas construção de robôs voltados para competições “esportivas”.

Este kit inclui:

- ◆ 1 motor Extra
- ◆ CD-ROM com programas
- ◆ Manual de Instruções
- ◆ 12 Guided Challenges
- ◆ Playing Field Sheet
- ◆ 90 peças Lego incluindo 2 bolas, 2 pucks e diversos componentes para construir um robô “*atleta*”

Este kit pode ser adquirido na RobotStore por US\$58,00

1.4.2 Microprocessadores

Os primeiros computadores utilizavam circuitos eletromecânicos e válvulas. O aparecimento do transistor trouxe a redução do tamanho e da potência consumida em relação as válvulas, além de serem dispositivos mais robustos e confiáveis. Os computadores usando essa tecnologia estão classificados como de segunda

geração. O domínio da tecnologia da física do estado sólido permitiu a integração de vários transistores em uma única embalagem com aproximadamente as mesmas dimensões de um único transistor. Surgiram então os circuitos integrados que foram responsáveis pelo aparecimento dos computadores de terceira geração. Estes computadores tinham maior potência de cálculo, eram mais rápidos, confiáveis e menores fisicamente de que seus antecessores de segunda geração.

Atualmente, o processo de integração tem praticamente o mesmo custo para se integrar centenas, milhares ou milhões de transistores em uma única pastilha. Pode-se falar então na quarta geração de computadores pela utilização da integração em altíssima escala (VLSI).

Graças ao desenvolvimento da microeletrônica é possível construir toda uma Unidade Central de Processamento em uma única pastilha de silício. Essa pastilha, ou chip, denomina-se microprocessador, sendo conhecido pelo nome de seu fabricante seguido de um determinado número. Exs: INTEL 8080, INTEL 8088, Z80, MOTOROLA 6800, etc.

Os microprocessadores são classificados pelo tamanho da palavra - ou comprimento, em bits, da unidade de informação - que são capazes de processar de uma só vez. Os primeiros microprocessadores foram de 8 bits, seguidos pelos de 16 bits e, mais recentemente, pelos de 32 bits.

O microprocessador é, portanto, a Unidade Central de Processamento de um microcomputador. Sem grandes ambições, esta seção procura descrever alguns dos microprocessadores mais utilizados em Micromouses.

1.4.2.1 NEC PD70320

Este microprocessador da NEC é na verdade um microcontrolador com uma CPU de 16 bits, memória RAM, interface serial, timer, controlador DMA, e etc. Este microcontrolador possui uma arquitetura interna de 16 bits com uma via de dados externa de 8 bits. O ciclo mínimo de instruções é de 400 ns/5 MHz e 250 ns/8

MHz, no caso do PD70320 e PD70320-8, respectivamente. Há uma memória RAM no próprio encapsulamento com capacidade de 256 palavras x 8 bits. A porta de entrada (Porta T) com comparador é de 8 bits. Existe ainda uma porta de entrada de 4 bits e uma porta I/O de 20 bits.

Este CI apresenta uma interface serial de 2 canais em modo assíncrono e um mode interface I/O.

O PD70320 incorpora funções de refresh de DRAM e SRAM. O controlador de DMA é de 2 canais e há um timer de 16 bits com 2 canais. O gerador de clock está no próprio CI.

O diagrama de blocos deste CI pode ser visualizado na figura abaixo.

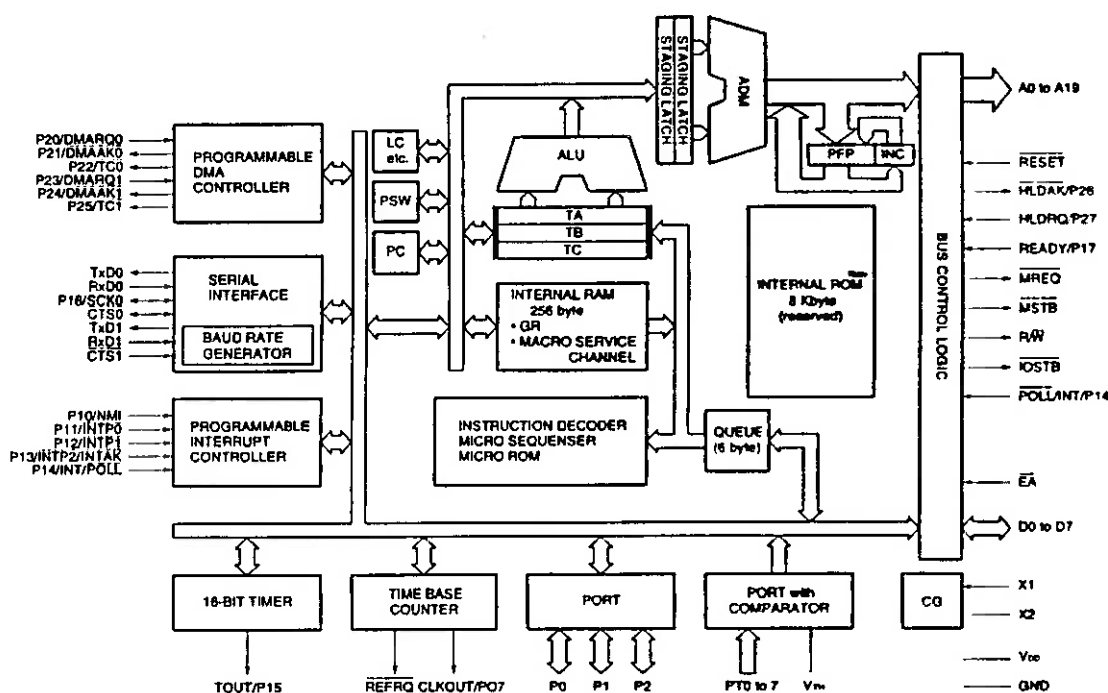


Figura 10 – Diagrama de blocos do CI

Maiores detalhes sobre este CI podem ser encontrados nos Anexos, onde há o datasheet do fabricante.

1.4.2.2 Parallax Basic Stamp

O Basic Stamp é um módulo ou placa de hardware de 14 pinos tipo SIP, do tamanho de um selo de carta, constituído de processador, memória e software próprio. Este módulo vem acompanhado com software de interface para ambiente MS-DOS, permitindo ao usuário trabalhar com linguagem Basic e transferir a programação via porta LPT1 para o módulo.

1.4.2.2.1 Características de Hardware do módulo Basic Stamp (BS1)

O BASIC Stamp é formado pela CPU de 18 pinos que contém o interpretador BASIC. Uma memória EEPROM de 256 bytes para gravar o seu programa, quando é transferido via IBM-PC, para ser executado pelo interpretador. O restante do circuito é composto por um cristal de 4 MHz, um regulador de tensão de 5 Volts e um circuito de power on reset. O projeto do módulo Basic Stamp, que utiliza a CPU PIC-16C54 da Microchip, foi desenvolvido pela Parallax Inc.

Esta ferramenta é indicada para controles de um modo geral, pois o módulo possui 8 pinos de entrada ou saída, com corrente máxima de 40 mA em nível TTL. Este sistema tem sido utilizado em diversas aplicações, tais como Sistemas de Aquisição de Dados, Micro-terminal, Automação de Máquinas de embalagens, Controle de Caixa d'água predial, Segurança, Automação Bancária, etc.

Para escrever programas para o BASIC Stamp, é necessário do software de interface ou BASIC Stamp PROGRAMMING PACKAGE. Este produto está disponível para download em alguns sites. O BASIC Stamp é programado em nossa linguagem BASIC (conhecida também com PBASIC) que é muito simples: a linguagem inclui as instruções familiares, como GOTO, FOR...NEXT e IF...THEN e também as instruções SBC, tais como SERIN (entrada serial), PWM, e BUTTON. Cada instrução ocupa de 2 a 3 bytes de espaço de memória, resultando em um

programa de no máximo de 80 a 100 instruções. O interpretador executa aproximadamente 2.000 instruções por segundo.

Este módulo precisa de apenas uma bateria para alimentação e naturalmente os componentes necessários para acionamento concernente à sua aplicação. Também é necessário o computador e ambiente operacional MS-DOS com o software de interface para edição, depuração e transferência do programa de controle para o módulo.

Originalmente a Parallax idealizou um CARRIER BOARD, que providencia as conexões do módulo para a bateria de 9 Volts e para o PC além de conter uma área para montagem do protótipo e um botão de reset. Conectando o BS1-IC no seu CARRIER BOARD, você obtém um BASIC Stamp tradicional. Atualmente já existem outras opções.

◆ Basic Stamp-IC

O Basic Stamp IC possui 8 portas I/O que podem ser definidas como entrada ou saída. O módulo possui uma EEPROM de 256 bytes para armazenamento do programa. Devido ao fato do endereçamento ser com 8 bits, este é o máximo de memória que o processador pode endereçar. Para aplicações pequenas esta memória é suficiente. Para armazenamento das variáveis e I/O há 16 bytes de RAM. Os dois primeiros bytes são utilizados para I/O (1 para o pino e o outro para a direção), restando 14 bytes para dados.

O Basic Stamp IC pode ser adquirido na Gateway Electronics Inc por aproximadamente US\$ 34,00.

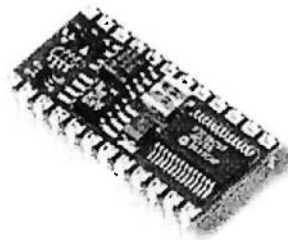


- ◆ Basic Stamp-I Carrier Board

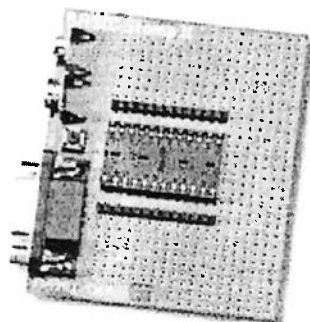
O Basic Stamp-I Carrier Board é uma placa onde o Basic Stamp-IC é conectado, permitindo a conexão com o computador para carga de programas e a conexão à fonte de alimentação.



- ◆ Basic Stamp-II IC



- ◆ Basic Stamp-II Carrier Board



- ◆ First Step Microcontroller Kit

O First Step Microcontroller é um microcontrolador programável baseado no Basic Stamp 1, montado em uma placa de circuito impresso de 1.5" x 2.3" com interface com a porta paralela do PC (padrão DB25). Através do software adequado é possível realizar o download de um programa para sua EEPROM, que pode permanecer intacto por anos sem alimentação. Este kit utiliza o processador PIC 16C56, possui 8 portas I/O e uma memória suficiente para armazenamento de 80 à 100 instruções em PBASIC. O seu consumo de corrente em funcionamento é 2 mA e em sleep mode é de 100uA. Este Kit pode ser adquirido na Lynxmotion por US\$40,00. O cabo paralelo para interfaceamento com o PC pode ser adquirido por US\$6,00.

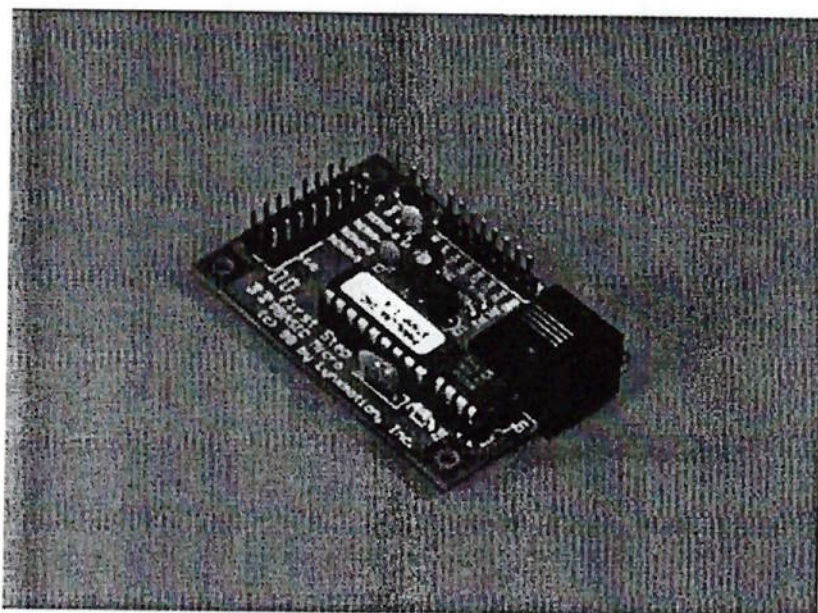


Figura 11 – Microcontrolador First Step Microcontroller

1.4.2.3 Zilog-80

O Z-80 foi o aperfeiçoamento do 8080, e foi vastamente aperfeiçoado, ele também usava 8 bit de dados e 16 bit de endereçamento, e executava todos os códigos op do 8080 (não do 8085), mas com 80 a mais, suas instruções eram operadas em 1, 4, 8 e 16. Os registros foram duplicados, com dois bancos de registros (incluindo A e F) que podiam ser trocados entre eles. Isto permitiu operação rápida do sistema operacional. No Z-80 foram acrescentados dois registros de índice (IX e IY). A velocidade do Z-80 era de 2.5mhz, para o Z80-H era 6mhz.

O que realmente fez o Z-80 popular, foi a sua interface de memória - a CPU gerava sua própria RAM refresh signals (reativar sinais convertidos), isso significa simples projeto e baixo custo. Sua compatibilidade com o 8080 ,e CP/M, o primeiro modelo de microprocessador com sistema operacional padrão, fez dele a primeira escolha entre muitos outros sistemas.

Foram também produzidas variantes do Z-80 como o Z-180 (também avaliável como o Hitachi 64180, com componentes adicionados (dois timers 16 bit, dois controladores DMA, três portas seriais, e uma MMU(unidade de gerenciamento de memória) segmentada com mapeamento 20 bit. 1M de espaço para endereçamentos e três segmentos de mapeamento de memória com tamanho variável em 16 bits(64K)), e o Z-280, versão 16 bits que foi introduzida em julho de 1987, com MMU 24 bit (16M), multitarefa, cache de 256 bytes, e vários novos códigos op foram acrescentados. O clock externo era 2 ou 4 vezes mais rápido que o clock interno (ex.: 16 MHz da CPU com 4 MHz de bus). Uma versão Z-380 - 16/32 bits também existiu.

O Z-8 (1979) foi um processador inspirado no Z-80, porém em seu chip estavam: RAM (atualmente têm-se 124 para registros gerais e 20 para registros especiais) e ROM (muitas vezes um interpretador BASIC), e era disponível uma grande variedade de configurações que ultrapassavam os 20 MHz.

1.4.2.4 Motorola 68HC11

1.4.2.4.1 Introdução

O HCMOS MC68HC11A8 é um avançado 8-bit MCU com capacidade de periféricos altamente sofisticadas. A tecnologia HCMOS utilizada no MC68HC11A8 combina dimensões reduzidas e altas velocidades com baixo consumo e alta imunidade à ruídos de CMOS. O sistema de memória incluída no chip (on-chip memory system) inclui 8 Kbytes de ROM (read-only memory) 512 bytes de EEPROM (ROM apagável e programável eletronicamente) e 256 bytes de RAM (random access memory).

A maior parte das funções periféricas são fornecidas no chip. Um conversor A/D de oito canais está incluído com oito bits de resolução. Uma interface de comunicação serial assíncrona (SCI) e uma interface periférica serial síncrona separada (SPI) são incluídas. Um sistema temporizador independente possui três vias de entrada de captura, cinco vias de saída comparadora, e uma função de interrupção de tempo real. Um sub-sistema acumulador de pulsos de 8-bits pode contar eventos externos ou mensurar períodos externos.

Um circuito de monitoramento próprio é incluído no chip para proteger o sistema contra erros. Um sistema de monitoramento de operação correta do computador (COP – computer operation properly) protege o sistema contra falhas de software. Um sistema de monitor de clock gera um reset do sistema no caso do clock se perder ou estiver muito lento. Um circuito de detecção de código de operação ilegal fornece uma interrupção não mascarável caso um código de operação ilegal seja detectado.

Dois modos power-saving controlados por software, WAIT e STOP, estão disponíveis para economizar energia. Estes modos tornam o MC68HC11

atraentes para aplicações alimentadas por baterias como é o caso do Micromouse.

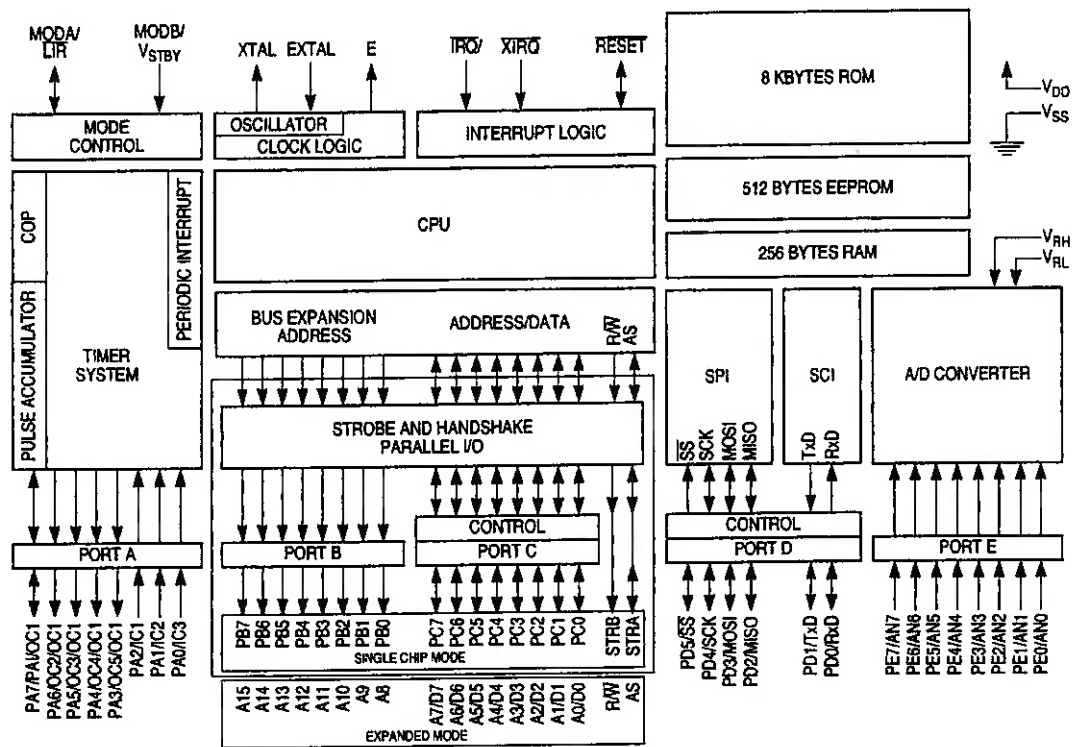


Figura 12 – Diagrama de Blocos do MC68HC11

A figura 38 mostra o diagrama de blocos do MC68HC11A8 MCU. Este diagrama mostra o principal sub-sistema e como ele se relaciona com os pinos do MCU. No canto direito deste diagrama, o sub-sistema de I/O paralelo é mostrado dentro de uma caixa de texto. As funções deste sub-sistema são perdidas quando o MCU está operando em modos expandidos, mas a porta MC68HC24 pode ser utilizada para recuperar as funções que foram perdidas. Estas funções são recuperadas de tal maneira que o programador é incapaz de notar alguma diferença entre um sistema single-chip ou um sistema expandido contendo um MC68HC24 e uma EPROM externa. O usuário pode desenvolver software voltado para aplicações single-chip.

1.4.2.4.2 A Arquitetura do MC68HC11

O chip MC68HC11 inclui muitas características que freqüentemente devem ser implementadas com hardware externo ao microprocessador. Algumas destas características são:

- Linha de entrada e saída serial
- Conversores A/D
- Timers programáveis
- Contadores

Esta seção procura descrever a utilização destas características deste microprocessador que serão largamente exploradas e utilizadas no projeto do Micromouse.

Endereço	Finalidade
\$FFC0	Reservado
\$FFC2	Reservado
\$FFC4	Reservado
\$FFC6	Reservado
\$FFC8	Reservado
\$FFCA	Reservado
\$FFCC	Reservado
\$FFCE	Reservado
\$FFD0	Reservado
\$FFD2	Reservado
\$FFD4	Reservado
\$FFD6	SCI serial system
\$FFD8	SPI serial transfer complete
\$FFDA	Pulse accumulator input edge
\$FFDC	Pulse accumulator overflow
\$FFDE	Timer overflow
\$FFE0	Timer input capture 4/ Output compare 5 (TI4O5)
\$FFE2	Timer Output compare 4 (TOC4)
\$FFE4	Timer Output compare 3 (TOC3)
\$FFE6	Timer Output compare 2 (TOC2)
\$FFE8	Timer Output compare 1 (TOC1)
\$FFEA	Timer Output compare 3 (TOC3)
\$FFEC	Timer Output compare 2 (TOC2)
\$FFEE	Timer Output compare 1 (TOC1)
\$FFF0	Real time interrupt (RTI)
\$FFF2	/IRQ (external pin or parallel I/O) (IRQ)
\$FFF4	/XIRQ (pseudo non-maskable interrupt) (XIRQ)
\$FFF6	Software interrupt SWI
\$FFF8	Illegal opcode Trap
\$FFFA	COP failure
\$FFFC	COP clock monitor fail
\$FFFE	System reset (reset)

Tabela 3 – Tabela da Localização dos Vetores de Interrupção do 68HC11

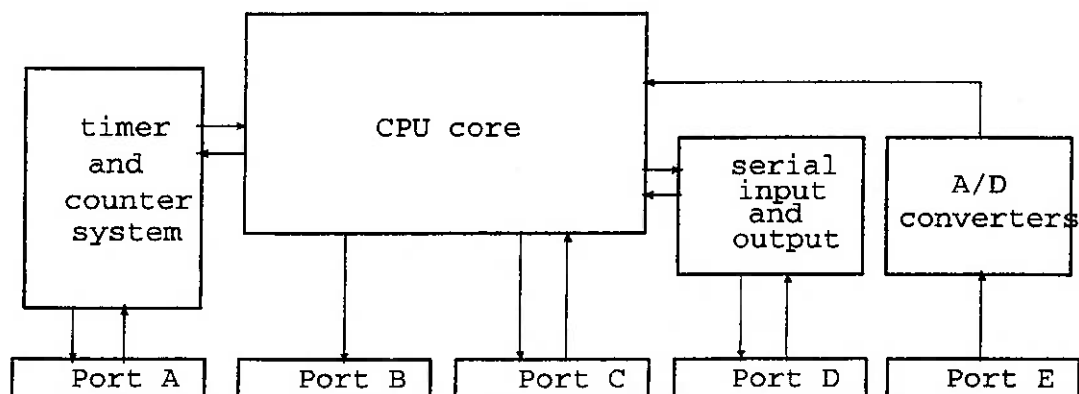


Figura 13 – Diagrama de Blocos Simplificado do MC68HC11

1.4.2.4.3 O bloco de Registros

O MC68HC11 utiliza uma área particular da memória para interfacear com funções especiais. Esta área da memória é chamada de bloco de registros (Register Block), e está localizada do endereço \$1000 ao \$1FFF.

O método geral de controlar as várias características do chip é através de leitura e gravação de dados nos diferentes blocos registradores. Como o bloco registrador é mapeado na memória, as instruções típicas do MC68HC11 de leitura ou escrita de dados em qualquer área da memória são utilizadas para interagir com estes registradores.

1.4.2.4.4 Diagrama de Blocos do MC68HC11

A figura 40 mostra um diagrama de blocos simplificado da arquitetura do 6811. Um diagrama de blocos mais completo é mostrado na figura 38.

Nota-se que algumas das portas (A, C e D) possuem duas direções. Estas portas são bidirecionais, pois elas podem ser utilizadas para entrada e saída.

Cada porta contém oito bits de dados, o equivalente à um byte de dados. Cada bit de dado é mapeado fisicamente em um pino na pastilha do microprocessador. Isto significa que quando um dados é escrito em uma porta de saída particular, aquele dado é fisicamente níveis de tensão em pinos reais conectados àquela porta. Desta forma, o 6811 pode interfacear com dispositivos externos, tais como chips de controle de motor e dispositivos de sensores.

Em muitos casos, as portas podem conter um mistura de pinos utilizados tanto para entrada ou saída. Em outros casos, pinos particulares em uma porta são dedicados à uma função específica.

Abaixo tem-se uma descrição de cada uma das portas:

- **Porta A:** Esta é uma porta digital e bidirecional que implementa um timer especial e um circuito contador. Os timers podem ser utilizados para gerar formas de onda de várias frequências. Já os contadores podem ser utilizados para contar certos eventos (como bordas de subida de sinais) em vias de entrada.
- **Porta B:** Esta é uma porta digital que pode ser utilizada somente como saída. No caso da Handy Board esta porta é utilizada para controlar os motores.
- **Porta C:** Esta é uma porta digital bidirecional. No projeto da Handy Board, esta porta é utilizada para entrada e saída. O estado *default* é entrada (portanto, esta é uma porta de sensor digital).
- **Porta D:** Esta é uma porta bidirecional dedicada à funções de entrada e saída serial. Dois dos pinos da porta D são utilizados no projeto da Handy Board para comunicação com um computador *host*. Os outros quatro pinos podem ser utilizados para implementar um link de alta velocidade com outra Handy board.
- **Porta E:** Está é uma porta de entrada analógica. No projeto do Handy Board, estes oito pinos são ligados à uma porta conectora.

1.4.2.4.5 A porta Motor

A porta B, porta de saída para motor, é controlada por um registrador localizado no endereço \$1004. Na literatura de referência do 6811 esta porta é chamada de PORTB. A porta B é implementada com oito pinos de saída no 6811. Na Handy Board, estes pino são ligados à entradas de dois chips controladores de motor L293. Quando um pino particular da Porta B está high (um bit "1" foi escrito na mesma), a entrada do L293 está high, e o chip L293 liga a saída correspondente. Estas saídas podem fornecer energia à qualquer um dos motores ou outros atuadores conectados na L293.

Os 4 bits mais significativos da Porta B controlam a entrada *enable* de cada um dos quatro canais controladores de motor. Os 4 bits menos significativos da Porta B determinam a direção em que cada um dos canais destes motores operarão quando eles estiverem habilitados.

As duas instruções seguintes escrevem o valor %00010000 no registro da Porta B em \$1004, ligando o Circuito controlador do motor 1. Se um motor foi ligado na porta do motor 1, o mesmo deve ser ligado com esta operação.

```
LDAA #%00010000 /* Carrega A com o valor 00010000 */
STAA $1004      /* Armazena o valor de A na Porta B */
```

As seguintes linhas de código revertem a direção do mesmo motor:

```
LDAA #%00010001 /* Carrega A com o valor 00010001 */
STAA $1004      /* Armazena o valor de A na Porta B */
```

1.4.2.4.6 A Porta Sensor Digital

A Porta C é utilizada como porta de entrada de sensores digitais. Atualmente, esta porta pode ser configurada como uma porta de saída e utilizada de maneira similar à Porta B utilizando o registrador DDRC (data direction for Port C) , conforme detalhada na literatura da Motorola.

A Porta C é controlada pela leitura do valor no endereço \$1003. O que quer que seja obtido de sinal de entrada nas vias da Porta C, é retido na Porta C durante a operação de leitura.

A registrador Porta C é chamado de PORTC.

O seguinte exemplo de código lê a entrada digital da Porta C, e caso a entrada na porta C seja 0 o mesmo se ramifica para a rotina chamada AllZero.

```
LDAA $1003 /* Carrega A com o valor da Porta C */  
BEQ AllZero /* Se for zero, chama AllZero */
```

1.4.2.4.7 A Porta de Entrada Analógica

A Porta E é uma porta de entrada analógica. Esta porta é controlada por muitos registradores, e pode ser configurada em muitas maneiras diferentes.

De forma a utilizar o conversor A/D, o sistema A/D deve ser ligado (o estado default é off).

O registrador de opções de configuração do sistema (OPTION) é utilizado para ligar o sistema A/D. O Bit 7 deste registrador deve ser "1" de maneira a ligar o sistema A/D:

```
LDA #%10000000      /* Seta para 1 o bit 7 */
STAA $1039          /* Localização do registrador OPTION */
```

O sistema A/D está atualmente configurado como dois bancos de quatro canais cada. Em um de seus modos de operação, ele repetidamente amostra valores de ambos os bancos de quatro canais.

Em um outro modo de operação, o sistema A/D irá amostrar repetidamente somente um dos oito canais de entrada. Devido ao fato da amostragem levar um tempo finito (aproximadamente 17 microsegundos), este modo é útil caso se deseje olhar para um canal muito de perto.

O registrador de controle de status A/D (ADCTL) é utilizado para selecionar estes diferentes modos. A figura 41 mostra um esquema do registrador ADCTL.

CCF		SCAN	MULT	CD	CC	CB	CA
------------	--	-------------	-------------	-----------	-----------	-----------	-----------

Figura 41

O bit 7 do registrador ADCTL, CCF, é o flag de conversão completa. Ele é setado para "1" quando o sistema A/D terminou de converter uma palavra de quatro valores. É importante esperar este flag ser setado somente quando o modo do

sistema A/D é trocado. Então, o CCF será setado para zero, e devendo-se esperar ele virar 1 antes de confiar nos valores convertidos.

O Bit 5 é SCAN, o controle de Scan contínuo. Se este bit é setado para 1, o sistema A/D converterá valores repetidamente. Se é setado para 0, o A/D converterá quatro valores e irá parar. Para uso comum, provavelmente o mais simples é setar para um e esperar o sistema A/D converter valores continuamente. O Bit 4 é MULT, o controle de canal múltiplo/simples. Se este bit estiver setado para 1, o A/D converterá bancos de quatro canais. Se for setado para zero, o A/D converterá um canal somente.

Os Bits 3 à 0 selecionam o canal a ser convertido. O resultado da conversão A/D aparece em quatro outros registradores, chamados ADR1, ADR2, ADR3, e ADR4. A figura 42 é uma tabela que mapeia as configurações dos bits seletores de canal para leitura que aparecem nos registradores ADRx quando MULT é igual à 1. Se MULT for 0, então os bits seletores de canal selecionaram o canal que obtem em todos os quatro registradores ADRx.

ADCTL é localizado no endereço \$1030; ADR1 até ADR4 são localizados nos endereços \$1030 até \$1034.

<i>CD</i>	<i>CC</i>	<i>CB</i>	<i>CA</i>	<i>Channel Signal</i>	<i>Resultado em ADRx se MULT = 1</i>
0	0	0	0	AD0 port E bit 0	ADR1
0	0	0	1	AD1 port E bit 1	ADR2
0	0	1	0	AD2 port E bit 2	ADR3
0	0	1	1	AD3 port E bit 3	ADR4
0	1	0	0	AD4 port E bit 4	ADR1
0	1	0	1	AD5 port E bit 5	ADR2
0	1	1	0	AD6 port E bit 6	ADR3
0	1	1	1	AD7 port E bit 7	ADR4

Figura 42

1.4.2.4.8 Temporizadores e Contadores (*Timers e Counters*)

A Porta A implementa um complexo hardware de timer e counter que serão tratados neste tópico.

1.4.2.4.8.1 *Timers*

Existem cinco saídas de timers. Cada uma destas possui configurações independentes. Cada timer pode ser programado para tomar uma ação em seu pino de saída quando um período de tempo decorre. Quatro possíveis ações podem ser tomadas: não fazer nada, setar high na saída, setar low na saída, e inverter o valor da saída.

Cada timer pode ser programado para ser usado para configurar o timer novamente para o próximo ciclo.

Há um contador de 16 bits independente (chamado TCNT) que os timer utilizam para mensurar o tempo decorrido. Cada timer possui seu próprio registrador comparador de saída de 16 bits que ele compara com o TCNT. Quando o valor do TCNT atinge o valor na saída do registrador comparador do timer, o timer realiza sua ação programada.

Uma maneira típica de gerar uma onda quadrada na saída de um timer é escrever um valor de atraso na saída do registro comparador do timer. O período da onda quadrada é determinado pelo comprimento do tempo que o TCNT deve contar para atingir o registro comparador de saída do timer. Escrevendo novos valores no registro comparador de saída, o timer pode ser setado para esperar até que o TCNT o atinja.

1.4.2.4.8.2 Counters

A Porta A também possui 3 registradores de captura de entrada. Estes registradores podem disparar quando qualquer um dos seguintes eventos ocorrer: desabilitação da captura, captura em bordas de subida somente, captura em bordas de descida somente, ou captura em qualquer borda.

Estes registradores podem ser utilizados para temporizar o comprimento de uma forma de onda.

Finalmente, um bit da Porta A pode ser utilizado como a função de um acumulador de pulso. Um registrador de oito bits (PACNT) pode ser configurado para automaticamente contar pulsos neste pino de entrada.

1.4.2.4.9 Interrupção em Tempo Real

O MC68HC11 também possui uma função interrupção de tempo real. Esta função gera interrupções em taxas periódicas fixadas. Ela é útil, por exemplo, na geração de pulsos de largura modulada de linhas de saída para motores.

A função RTI pode gerar interrupções em qualquer uma das 4 taxas: 4.10 ms, 8.19 ms, 16.39 ms, e 32.77 ms.

O TMSK2 (Miscellaneous Timer Interrupt Mask) é utilizado para controlar o sistema RTI (localizado no endereço \$1024). A figura 43 é um diagrama deste registrador.

TOI	RTII	PAOVI	PAII			PR1	PR0
-----	------	-------	------	--	--	-----	-----

Figura 43

O bit RTII habilita o sistema RTI quando o mesmo é setado para 1.

Dois bits no PACTL, o Registrador de controle do acumulador de pulso, são utilizados para controlar a taxa das interrupções RTI. A tabela seguinte mostra a relação entre os bits RTR1 e RTR0 para a taxa de interrupção.

<i>RTR1</i>	<i>RTR0</i>	<i>Taxa de Interrupção</i>
0	0	4.10 ms
0	1	8.19 ms
1	0	16.38 ms
1	1	32.77 ms

O registrador PACTL está localizado no endereço \$1026. O RTR 1 e RTR0 são os bits 1 e 0 respectivamente deste registrador.

1.4.2.4.9.1 Interface Serial

A porta da interface serial é controlada por cinco diferentes registradores. Destes, os 3 seguintes são mais importantes:

- SCI Baund Rate Control Register: Chamado BAUND. Este registrador controla a velocidade da porta serial. Localização: \$1028
- SCI Data Register: Chamado SCDR. Este registrador é utilizado para receber e transmitir o dado serial atual. Localização: \$102F
- SCI Status Register: Chamado SCSR. Este registrador provê informação de status que indica quando as transmissões estão completas, e erros na transmissão.

1.4.2.4.10 Handyboard

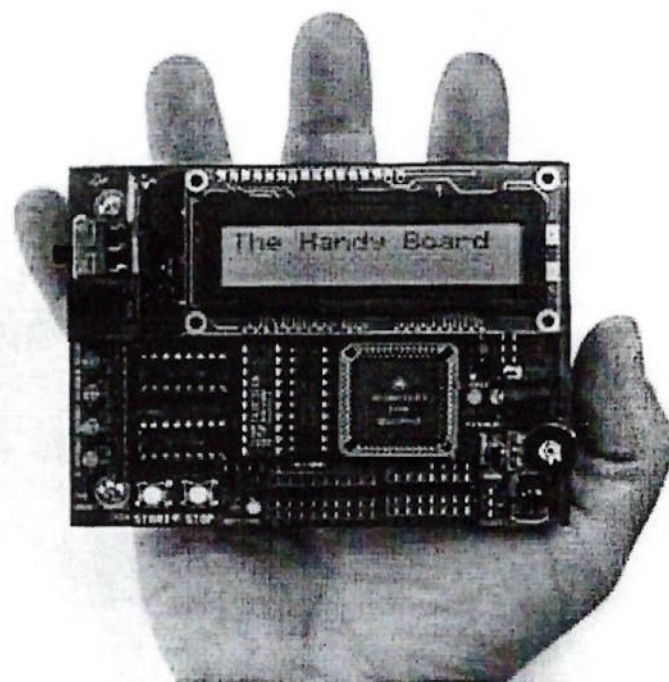


Figura 14 – Handy Board

O microprocessador MC68HC11 é interessante devido à ampla documentação existente e às diversas experiências já realizadas na construção de pequenos robôs com a utilização do mesmo. Este microprocessador é largamente utilizado neste tipo de projeto principalmente em universidades como o MIT por ser muito didático. Por este motivo, foi desenvolvido no MIT uma placa denominada Handy Board (figura 14) baseada no microprocessador MC68HC11 para ser utilizada em projetos de robôs móveis experimentais e inúmeras aplicações de controle.

As inúmeras características e facilidades apresentadas pela Handy Board fazem a mesma ideal para o projeto de Micromouse:

- Baseada no processador Motorola MC68HC11 de 52 vias ;
- 32 Kbytes de SRAM (Static RAM alimentada por bateria) ;
- Quatro saídas para Motores DC ;
- Sistema de conectores que permite a conexão de sensores independentes ;
- Tela de Cristal Líquido 16 x 2 (LCD) ;
- Baterias recarregáveis ;
- Possibilidade de Programação em Interactive C, com compilação em micro-computador compatível com PC e transmissão à placa por cabo serial (Esta característica facilita enormemente o processo de *debug* do software de controle e a implementação de vários algoritmos para testes de suas performances).

1.4.2.4.10.1 A Arquitetura do Hardware da Handy Board

1.4.2.4.10.1.1 O Microprocessador e a Memória

Simplificadamente, um computador consiste de um microprocessador, que executa instruções, e uma memória, na qual as instruções (ou outros dados) são armazenados.

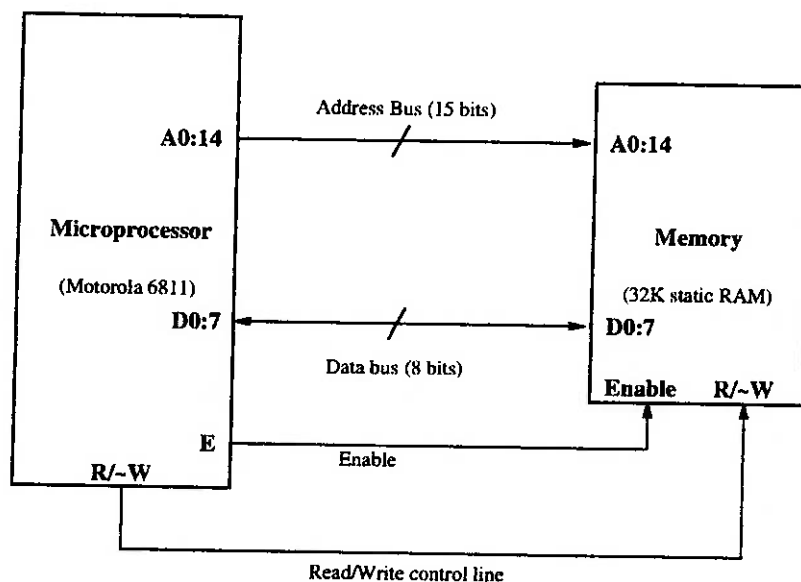


Figura 15 - Diagrama de Blocos do Microprocessador e da Memória

A figura 15 mostra um diagrama simplificado destes dois componentes. O diagrama mostra quatro tipos de ligações entre o microprocessador e a memória:

- **Adress Bus:** Estas ligações são controladas pelo microprocessador para seleccionar uma localização particular na memória para leitura ou gravação. No caso utiliza-se uma uma memória com 15 pinos de endereço, o que significa 2^{15} (= 32,768 posições) que equivalem à 32 Kbytes de memória.
- **Data Bus:** Estas conexões são utilizadas para a transmissão dos dados entre o microprocessador e a memória. Quando o dado é escrito na memória, o microprocessador controla estas vias, caso contrário, quando o dado é lido da memória, a mesma controla estas vias. Em nosso caso, temos 8 vias, ou seja, 8 bits por transação, visto que o microprocessador utilizado é um MC68HC11 de 8 bits.

- **Read/Write Control Line:** É uma via utilizada pelo microprocessador para controlar as funções da memória. Se o nível lógico estiver true, então a memória realiza uma operação de leitura (read). Caso contrário, se o nível lógico for false, a memória realiza uma operação de escrita.
- **Memory Enable Control Line:** Esta via, também chamada de E clock, é conectada ao *enable circuit* da memória controlando o status de habilitação da memória para leitura/escrita (sendo que o tipo de operação é controlado pelo Read/Write Control Line).

1.4.2.4.10.1.2 Via de Dados e Endereços Multiplexada

No caso do microprocessador utilizado no projeto do Micromouse, o MC68HC11, as coisas as explicações dadas acima são mais complicadas, pois 8 das vias utilizadas para os dados são comuns às vias de endereçamento. Quando um endereço de memória é necessário (para leitura ou escrita), primeiramente as vias de dados funcionam como vias de endereço, transmitindo os oito bits menos significativos de endereço. Em seguida, as mesmas funcionam como vias de dados, transmitindo um byte de dados (no ciclo de escrita) ou recebendo um byte de dados (no ciclo de leitura). Tudo isto ocorre muito rápido, mais precisamente 2 milhões de vezes por segundo.

A memória necessita de ajuda para lidar com esta dupla personalidade data/address bus. Esta ajuda vem na forma de um *latch de 8 bits*. O chip 74HC373 realiza a função de *latching*, ou seja o armazenamento de 8 bits de endereço menos significativos que a memória utilizará junto com os outros para compor o endereço para leitura ou gravação dos dados.

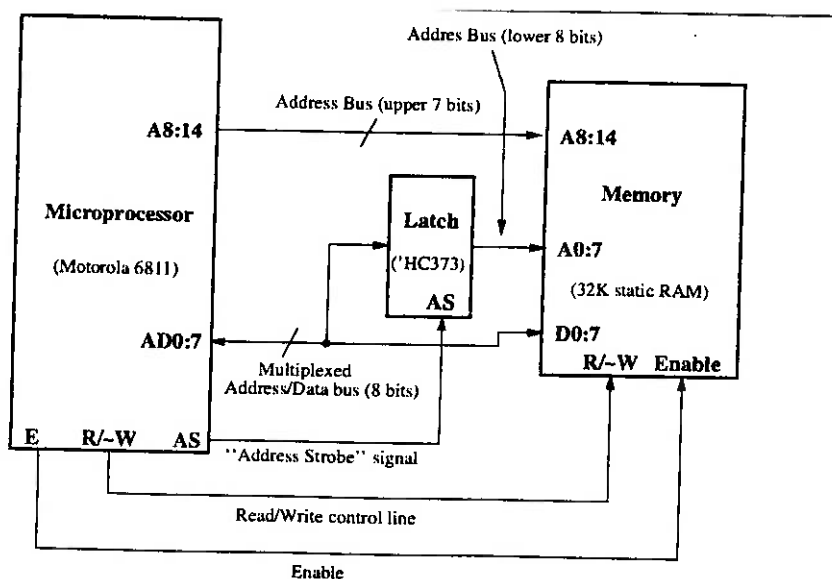


Figura 16 – Diagrama de Blocos do Microprocessador e da Memória com o Latch

A figura 16 mostra as conexões do *latch*. Os 8 bits mais significativos de endereço são conectados normalmente, ou seja, ligados diretamente do microprocessador para a memória. Já os 7 bits menos significativos são as vias multiplexadas. Estas vias são conectadas às entradas do *latch* e de dados da memória.

Um sinal adicional, a saída *Address Strobe* do microprocessador indica ao *latch* quando armazenar valores de endereços do address/data bus.

Quando todos os 15 bits de endereços estiverem disponíveis para a memória (7 bits diretamente do microprocessador e 8 bits do *latch*), a transação de leitura ou escrita podem ocorrer. Por causa do address/data bus ser também conectado à memória, os dados podem fluir em ambas as direções entre a memória e o microprocessador.

Todo este processo – a transmissão de bits de endereço menos significativos, o *latching* destes bits, e a transação de leitura e escrita com a memória – são organizadas pelo microprocessador. O *E clock*, a via *Read/Write*, e o via *Address Strobe* proporcionam o sincronismo preciso para certificar que estas operações ocorram na sequência correta e dentro dos tempos requerido por cada componente.

1.4.2.4.10.1.3 O Mapeamento da Memória

No projeto do micromouse, além da memória, o microprocessador necessita interagir com outros dispositivos, tais como motores e sensores. Uma solução típica é utilizar latches de 8 bits para entrada e saída. Estes latches são conectados ao data bus do microprocessador de maneira que os mesmos se comportem como uma região na memória. Então, as operações de leitura e gravação em uma destas regiões da memória provoca a leitura ou a escrita dos dados no latch ao qual os dispositivos externos estão conectados.

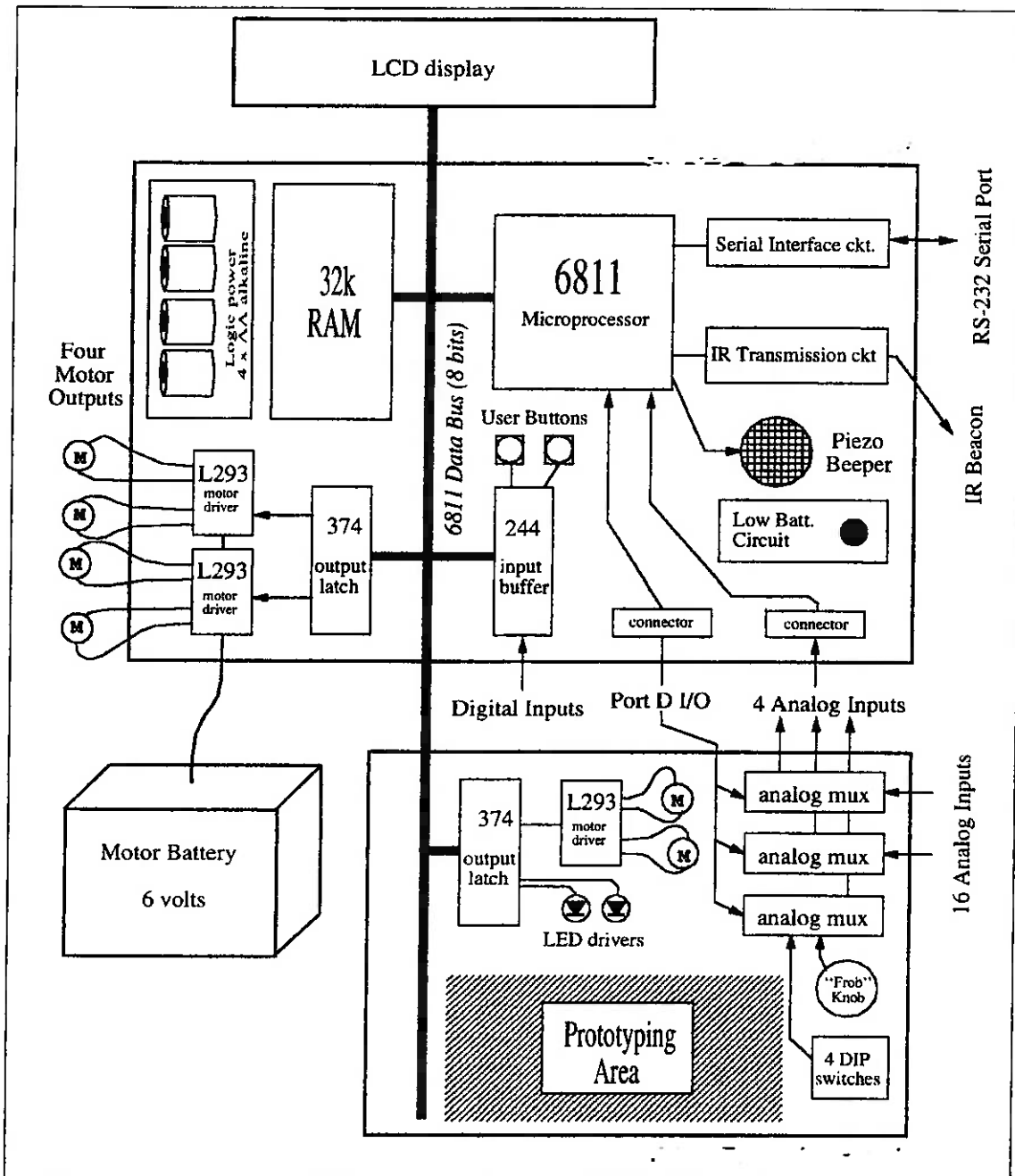


Figura 17 – Diagrama de Blocos do Sistema de Controle

A figura 17 representa um diagrama de blocos do sistema de controle do Micromouse. Nota-se que um chip denominado 374 é conectado ao data bus. O 374 possui saídas que controlam os motores (através dos CI's denominados L293). Os sensores digitais são controlados no data bus por um CI denominado 244. Na placa de expansão, um outro CI 374 é utilizado para os oito bits da saída digital.

Estes latches de interface são utilizados em uma técnica denominada mapeamento de memória. Os CI's são mapeados em endereços particulares na memória do microprocessador.

A seguir são mostrados como os 32 Kbytes de memória e os latches de saída e entrada digitais compartilham os espaço de endereços do microprocessador MC68HC11

1.4.2.4.10.1.4 Mapeamento de memória da RAM

O MC68HC11 possui um total de 16 bits de endereços, significando 64 Kbytes (mais precisamente 65536 localidades de memória) de endereços de memória mapeáveis ao mesmo tempo (caso se necessite de mais memória, um recurso interessante é o conceito de páginas de memória, porém isto foge ao tema deste trabalho visto que 64 Kbytes de endereços são mais do que suficientes para a construção do Micromouse). Metade deste espaço é utilizado pelo chip de 32 Kbytes de memória (também conhecido como RAM, de Random Access Memory).

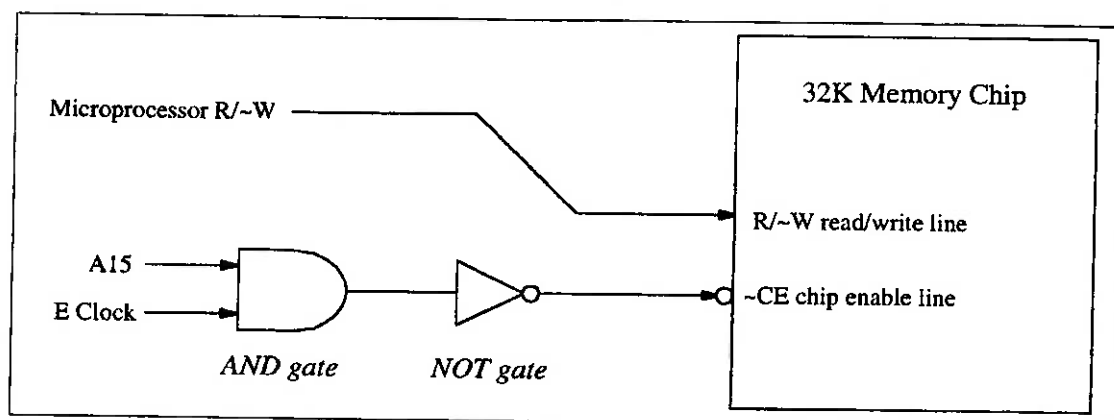


Figura 18 – Habilitando a Memória

O MC68HC11 possui um banco de vetores de interrupção, os quais são posições definidas por hardware em endereços que o microprocessador espera encontrar ponteiros para rotinas de controle. Quando o microprocessador é resetado, o mesmo encontra o vetor reset que determina onde o mesmo deve iniciar a execução de um programa.

Estes vetores são localizados nos 32 Kbytes do espaço de endereços maiores. Portanto, é conveniente mapear a RAM neste bloco, de forma que a RAM possa ser utilizada para armazenar estes vetores.

A técnica utilizada para mapear a memória nos 32 Kbytes mais altos de memória é muito simples. Quando quer que o pino A15 do MC68HC11 (o bit de endereços mais significativo) possui o valor 1, um endereço no bloco de 32 Kbytes mais alto está sendo selecionado. Os outros 15 bits de endereço (A0 até A14) determinam qual o endereço.

Uma porta lógica é utilizada para habilitar a memória quando o A15 possui o estado 1 e o E clock está high (o E clock controla o tempo de habilitação). A figura 48 mostra o diagrama de blocos deste circuito. (O circuito real de habilitação da memória é mais complicado como é mostrado mais adiante, pois leva em consideração a proteção da memória por bateria).

Os chips de memória são parte de uma classe de chips que possuem lógica negativa de habilitação de entrada. Isto significa que eles são habilitados quando o Enable Input possui nível lógico 0 e não 1.

Conforme mostrado na figura 48, a entrada chip enable é conectada numa porta inversora cuja função é converter a lógica positiva produzida pela porta lógica AND para uma lógica negativa que é requerida pela entrada \sim CE (o símbolo \sim na frente da porta representa lógica negativa). Pode-se utilizar uma porta lógica NAND que realiza a função destes dois componentes agregados.

1.4.2.4.10.1.5 Mapeamento de Memória com o Chip 74HC138

A figura 49 mostra o chip 74HC138, que é normalmente utilizado em circuitos que mapeam dispositivos em espaços de endereços. O chip é um decodificador 3-to-8: um número binário de 3 dígitos (select inputs) causa uma das oito possíveis saídas a serem selecionadas (control outputs). O chip também possui 3 enable inputs, sendo que todas as mesmas devem ser selecionadas para tornarem o chip ativo.

As saídas do 138 controlam os latches de entrada e saída mostrados no diagrama de blocos do sistema. O 138 determina quando estes latches são ativados, seja para ler os dados do data bus (no caso do latch de saída 374), ou para escrever dados no data bus (no caso do latch 244 de entrada).

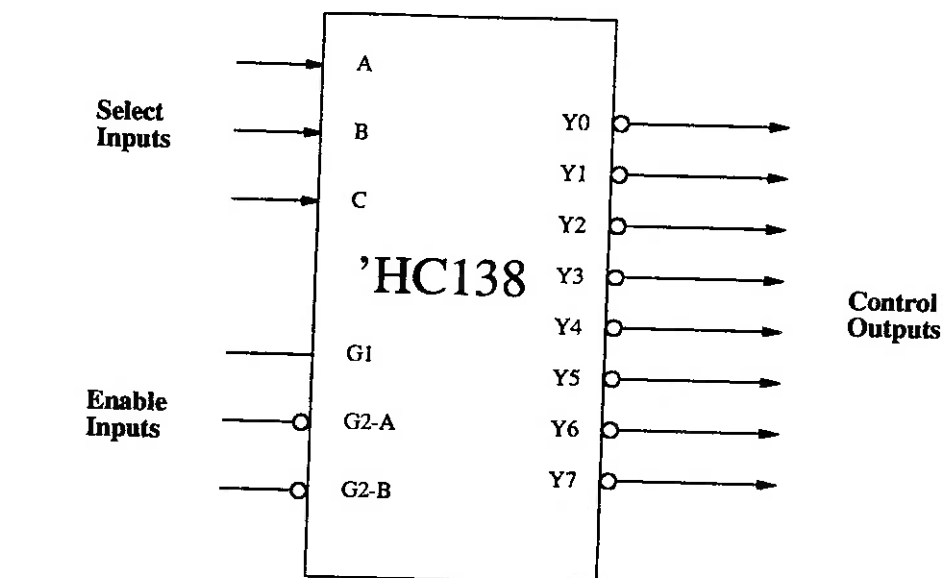


Figura 19 – O Decodificador de Endereços HC138

1.4.2.4.10.1.5.1 Entradas Enable (Enable Inputs)

As entradas enable do 138 determinam quando o chip se tornará ativo, e assim um dos latches de entrada e saída são ligados. Estas entradas enable são críticas devido ao fato que o 138 não deve se tornar ativo ao mesmo tempo que a RAM. Caso isto ocorra, dois dispositivos (a RAM e talvez um 244) tentariam controlar o data bus simultaneamente, causando uma situação problemática chamada de Bus Contention.

Conforme mostrado na figura 20, A15, o bit de endereço mais significativo, é conectado à um enable negativo do 138. Então o A15 deve ser 0 para habilitar o chip. Como a RAM só é habilitada quando o A15 é 1 (conforme já foi mencionado) não há possibilidade do 138 e a RAM serem ativados simultaneamente.

O $\sim A14$, que é o inverso lógico do A14, é conectado ao segundo enable negativo do 138. Portanto quando o A14 é 1, $\sim A14$ é 0, e o G2-A enable é verdadeiro. Então o A14 deve ser 1 para ativar o 138.

A entrada enable final é de lógica positiva, e é conectada ao E clock do MC68HC11. Quando o A15 é zero e o A14 é 1, o E clock irá ligar o 138 no tempo certo para os ciclos padrões de leitura/escrita do MC68HC11.

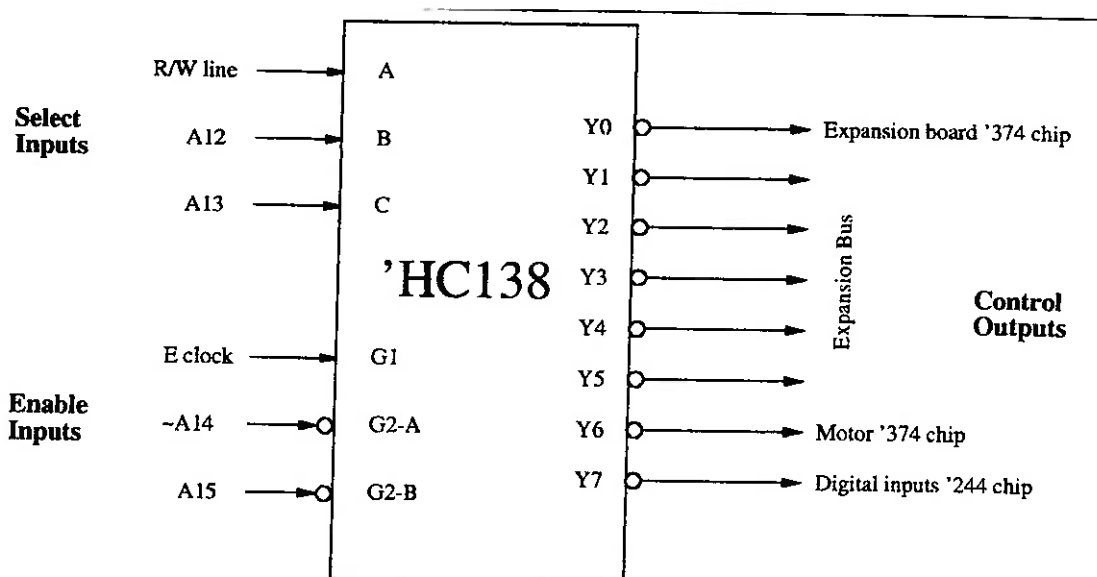


Figura 20 – Conectando o Decodificador de Endereços HC138

1.4.2.4.10.1.5.2 Entradas Select (Select Inputs)

Dado que o 138 está habilitado, as entradas A, B e C determinam qual dos dispositivos conectados às suas saídas será ativado, A, B e C formam um número binário (C é o bit mais significativo) para determinar a saída selecionada.

Os bits A13 e A12 de endereço e a via read/write do MC68HC11 fazem a seleção. Suponha que o A13 e o A12 são 1. A via read/write faz a escolha final. Esta via é um para uma leitura e zero para uma escrita. Se a operação está em progresso, então as entradas ABC formarão o número 7, e a saída Y7 será ativada. Conforme mostrado na figura 50, esta saída é conectada à entrada digital do chip 244. Então, o chip 244 será ligado e controlará um byte no data bus. A operação de leitura será completada quando este byte tiver sido lido no endereço selecionado pelo MC68HC11.

Nota-se que os bits de endereço A0 à A11 não tem efeito na operação descrita. Contudo que o A14 seja 0, e o A14, A13 e A12 sejam 1, uma operação de leitura fará o 138 ligar a entrada digital do chip 244 para escrever um byte no data bus. Portanto, a entrada digital do chip é selecionada por uma leitura de qualquer endereço de \$7000 à \$7FFF (em Hexadecimal). Isto esbanja muito espaço de endereços do MC68HC11, mas torna possível a utilização de um só CI para esta solução, o 138.

Considerando que uma operação de escrita era para ocorrer naquela mesma área de memória. Os 4 bits de endereço mais relevantes teriam os mesmos valores, mas a via read/write seria 0 (indicando operação de escrita). Portanto as entradas ABC do 138 formariam o número 6, e a saída Y6 seria ativada. A Y6 é conectada ao 374 que controla os motores, portanto o 374 reteria o valor presente no data bus durante a operação de escrita.

Conforme mostrado na figura 20, muitos das saídas do 138 ainda estão disponíveis para futuras expansões.

1.4.2.4.10.1.6 Mapa de Memória do Sistema

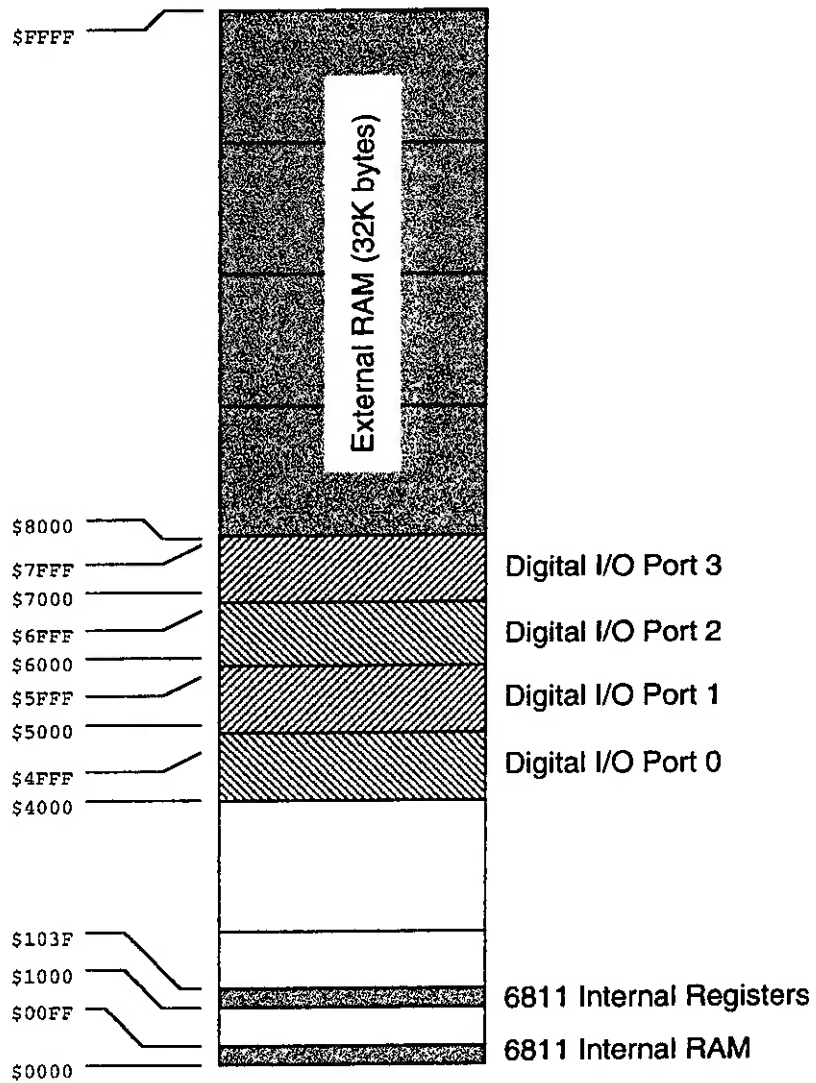
A figura 21 resume o mapa de memória do sistema descrito. Os 32 Kbytes de RAM ocupa a metade acima do espaço total de endereços do MC68HC11. Conforme indicado no mapa, a mesma está localizada do endereço \$8000 até \$FFFF.

As quatro portas de entrada e saída digitais são mapeadas nas regiões iniciadas em \$4000, \$5000, \$6000, e \$7000.

Há uma pequena área de memória que é de uso interno do MC68HC11. Esta memória consiste de 256 bytes localizados no início do espaço de endereços, do endereço \$00 até \$FF.

O MC68HC11 também possui um banco interno de 64 registradores especiais de função, localizados nos endereços \$1000 até \$103F. Estes registradores controlam diversas características de hardware do MC68HC11 (as entradas analógicas e a comunicação serial são dois exemplos).

Memory Map



Total Address Space = 65536 bytes (64K)

Figura 21 – Mapa de Memória do Sistema

1.4.2.4.10.1.7 Entradas Digitais

A figura 52 mostra o circuito de entrada digital. O CI U6 (74HC244) é utilizado para reter uma palavra de 8 bits da entrada do sensor e controlar o data bus do MC68HC11 com aquele valor quando o chip é selecionado.

O chip 244 possui metades que podem ser habilitadas separadamente. O Y7 select é conectado à ambas entradas enable, de maneira que ambas as metades do CI sejam selecionadas sempre simultaneamente.

Os dois bits menos significativos do 244 são conectados à dois botões (Chope e Escape), Os seis bits mais significativos são conectados à porta de entrada digital.

Os dois bits menos significativos da porta de entrada digital são conectados à duas entradas timer input do MC68HC11. Estas entradas podem ser utilizadas para medir precisamente formas de onda, ou simplesmente para entradas digitais. O RP1, um pacote de resistores de 47K, age de maneira a tornar os valores das entradas do chip 244 em 1 como default.

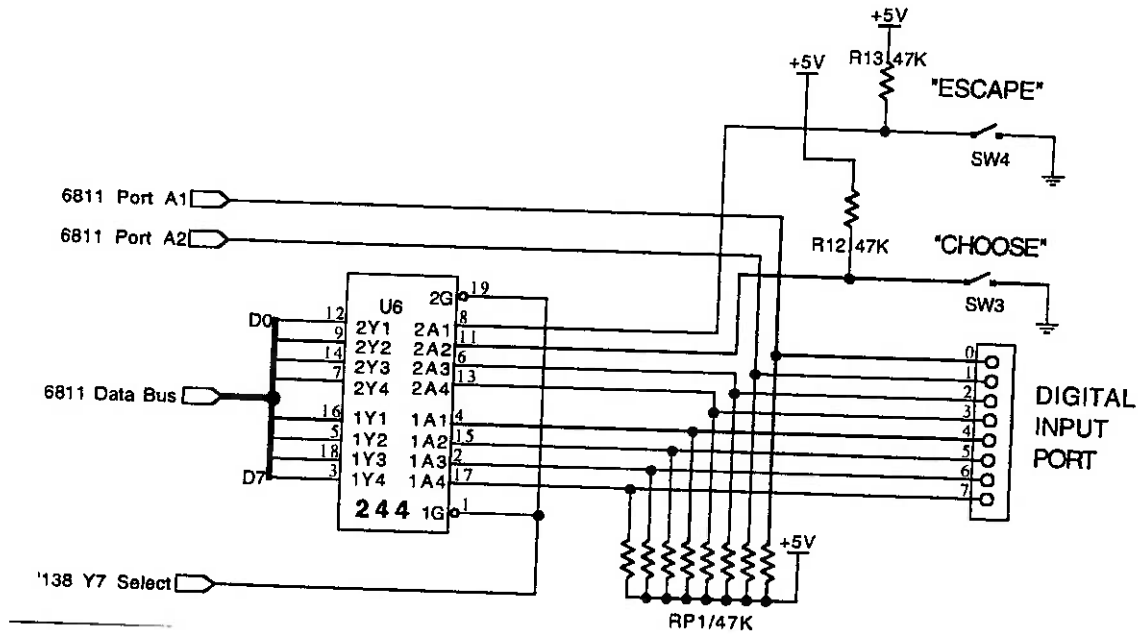


Figura 22 – Circuito de Entrada Digital

1.4.2.4.10.1.8 Saídas Digitais

A figura 23 mostra o esquema completo do latch de saída 374 que controla os motores. Nota-se que as entradas de dados do 374 estão conectadas ao MC68HC11 data bus. A via Y6 select conecta ao clock de entrada do 374, portanto quando Y6 é ativado, o 374 retém os valores presentes no data bus.

As saídas do 374 conectam ao chip de controle do motor. Este circuito será detalhado mais à frente.

A figura 24 mostra o esquema do circuito do motor utilizado para o controle dos mesmos.

1.4.2.4.10.1.9 Esquema de Memória e do MC68HC11

A figura 25 mostra o esquema do MC68HC11, da memória, do decodificador de endereços, e o circuito principal de suporte do sistema utilizado no Micromouse.

1.4.2.4.10.2 Os controladores dos Motores

Os Motores são dispositivos de alta potência no mundo da eletrônica digital. Uma saída digital típica pode fornecer em torno de 10 à 20 miliamperes (mA) de corrente, enquanto que um pequeno motor requer algo em torno de 500 à 4000 mA de corrente. Por este motivo, logicamente um circuito especial é necessário para controlar os motores.

1.4.2.4.10.2.1 O circuito *H-Bridge*

Um circuito conhecido como H-Bridge (nome devido à semelhança com a letra H) é normalmente utilizado para controlar motores. Neste circuito (mostrado na figura 26), dois dos transistores são selecionadamente habilitados para controlar o fluxo de corrente através do motor.

Conforme mostrado na Figura 27 , um par de transistores opostos (Transistor 1 e 3) estão habilitados, permitindo o fluxo de corrente através do motor. O outro par está desabilitado, podendo ser considerados como fora do circuito.

Determinando qual par de transistores está habilitado, pode-se controlar em qual dos sentidos a corrente flui pelo motor. Devido ao fato dos motores de ímãs permanentes terem o seu sentido de rotação invertido pela inversão do sentido da corrente, este circuito permite o controle bidirecional do motor.

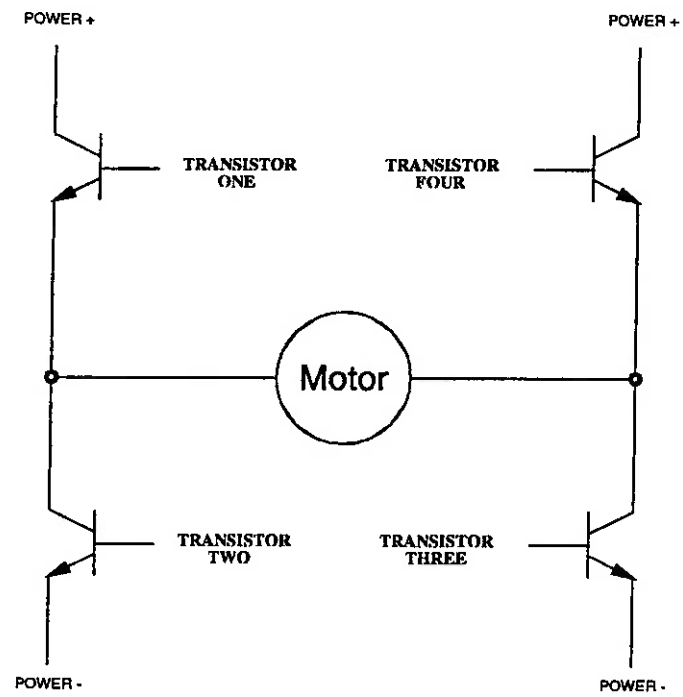


Figura 26 – O Circuito H-Bridge

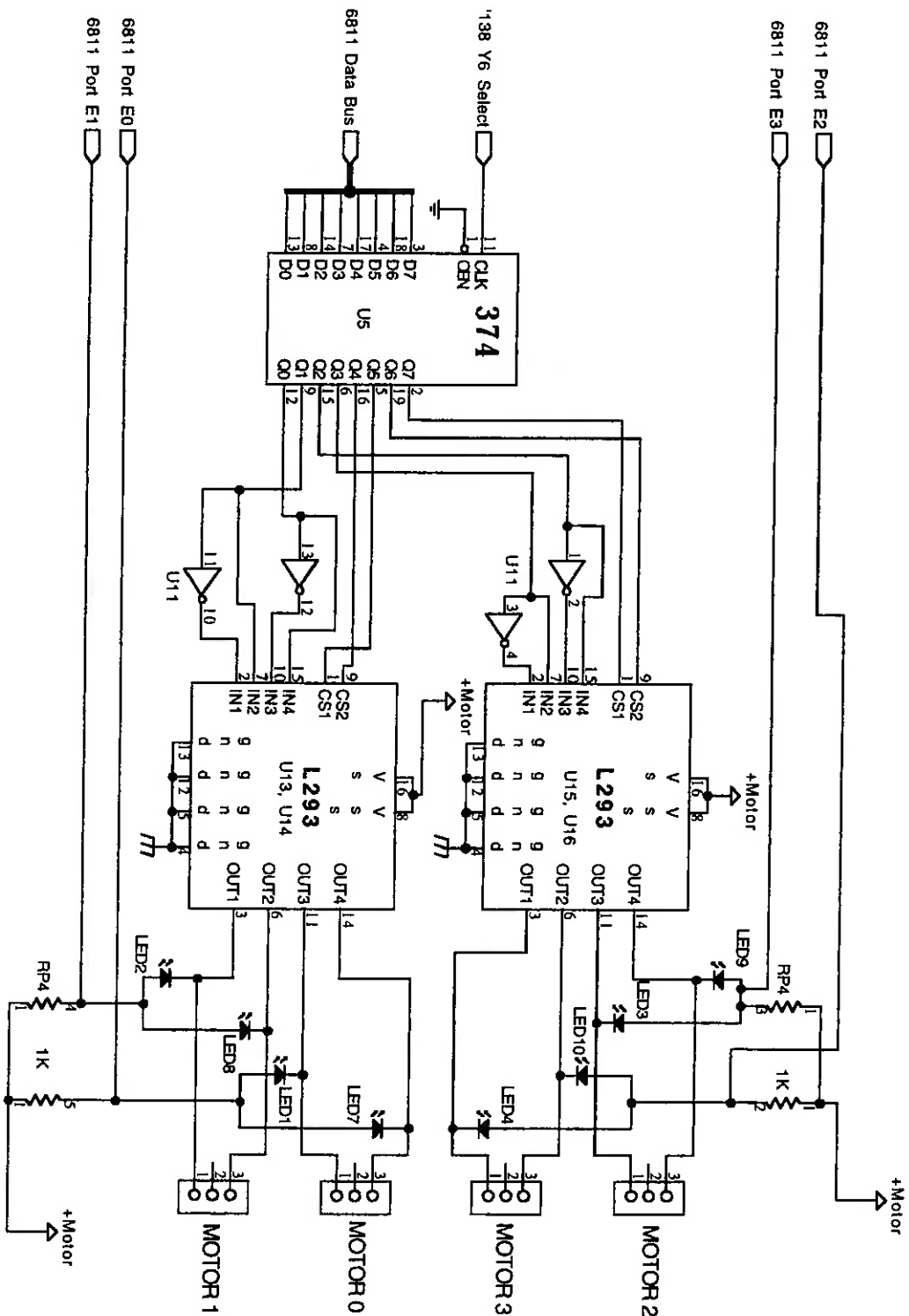


Figura 23 – Diagrama do Circuito de Controle do Motor

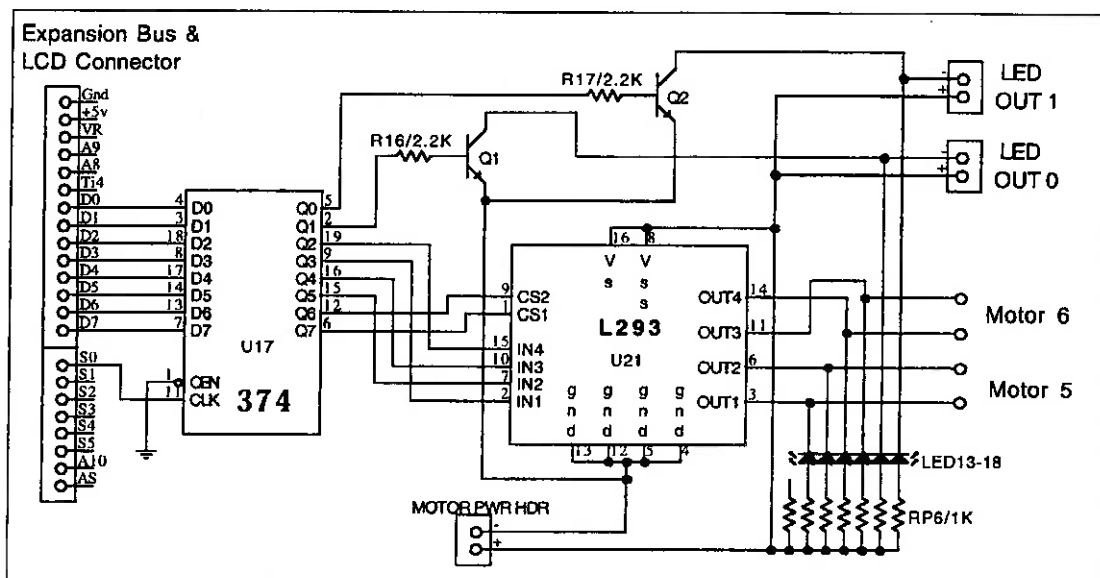


Figura 24 – Placa de Expansão para Motor e Circuito do LED

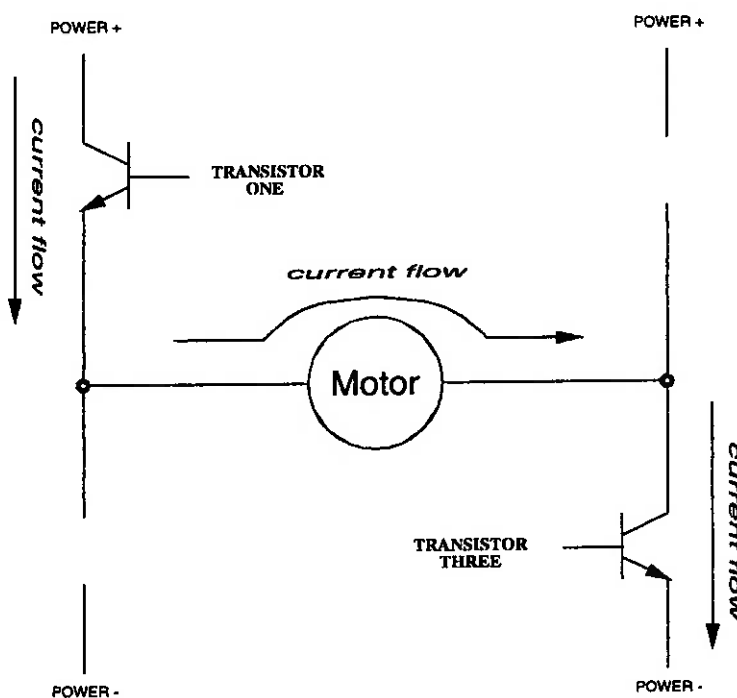


Figura 27 – O circuito H-Bridge com Fluxo de Corrente da esquerda para direita

1.4.2.4.10.2.2 O circuito H-Bridge com Circuito Enable

Deve estar claro que nunca deve se habilitar os transistores 1 e 2 ou transistores 3 e 4 simultaneamente. Isto causaria o fluxo da corrente do potencial positivo (+) para o negativo (-) através dos transistores e não dos motores, na capacidade máxima de corrente da fonte de energia ou dos transistores.

Para facilitar o controle do circuito H-Bridge, um circuito enable como o mostrado na figura 28 é tipicamente utilizado.

Neste circuito, os inversores garantem que o par vertical de transistores nunca serão habilitados simultaneamente. A entrada Enable determina quando o circuito está ou não operacional. Se esta entrada for falsa, nenhum dos transistores serão habilitados, e o motor está livre para permanecer parado.

Nota-se que se ambas as entradas de direção tiverem o mesmo estado (falso ou verdadeiro) e o circuito estiver desabilitado, ambos terminais serão levados à

mesma voltagem (Potencial + ou -, respectivamente). Esta operação irá breicar o motor, de acordo com uma propriedade dos motores chamada de back emf, na qual um motor que está girando gera uma tensão contra à sua rotação. Quando ambos os terminais do motor são trazidos para o mesmo potencial elétrico, o back emf causa à rotação do motor.

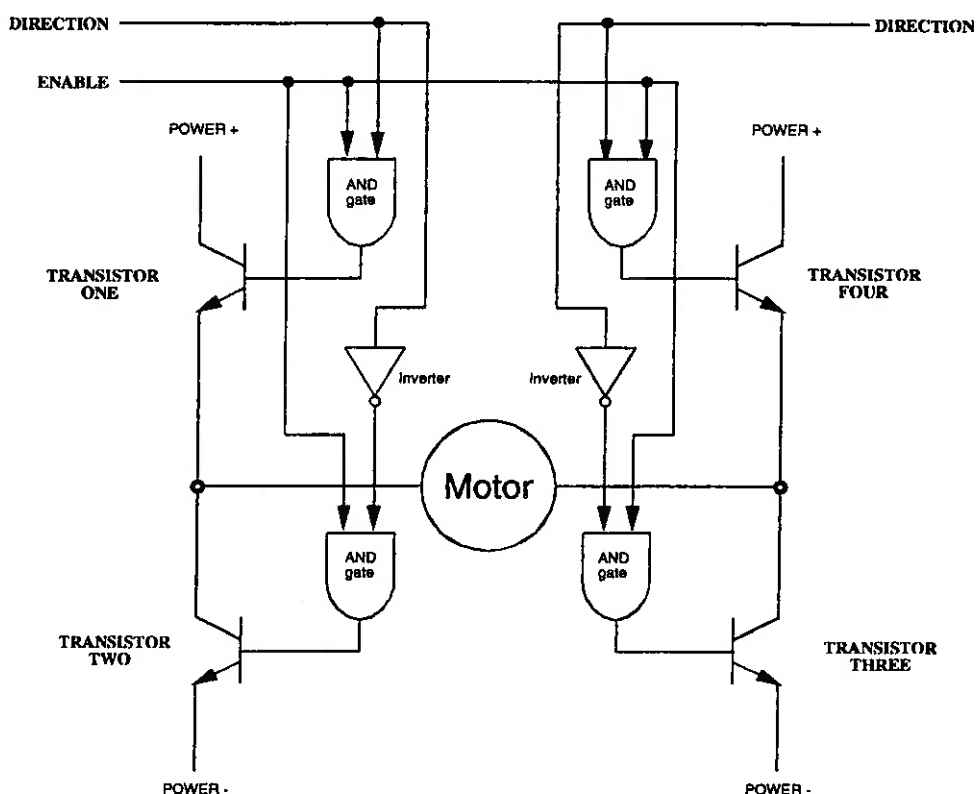


Figura 28 – O circuito H-Bridge com circuito enable

1.4.2.4.10.2.3 O Chip controlador de Motor SGS-Thomson

Um companhia chamada SGS-Thomson fabrica uma série de chips chamados de L293 que incorporam dois circuitos controladores de motor H-Bridge em uma simples pastilha DIP de 16 pinos.

*Block Diagram of the
L293 Motor Driver Chip*

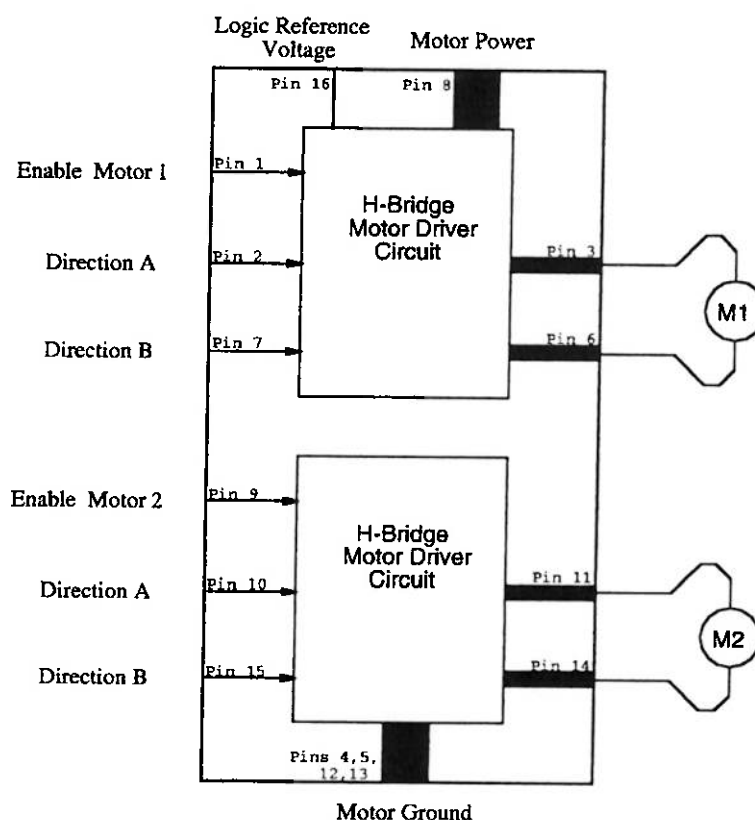


Figura 29 – Diagrama de Blocos do chip Controlador de Motor L293 SGS – Thomson

A figura 29 mostra um diagrama de blocos deste CI.

O esquema do circuito do motor (figura 30) mostra como o chip L293 é utilizado no projeto. Oito bits são utilizados para controlar 4 motores. Destes, 4 bits determinam a direção do motor (com a ajuda dos inversores). Os outros 4 bits determinam quando os motores estão ligados ou desligados.

Nota-se que não é possível parar um motor com esta configuração de circuito, porque os inversores não possibilitam que as entradas em ambas as direções de um dado motor estejam no mesmo estado.

A velocidade do motor pode ser controlada através de pulsos on e off em seu bit enable. Esta técnica, é chamada de modulação da largura do pulso.

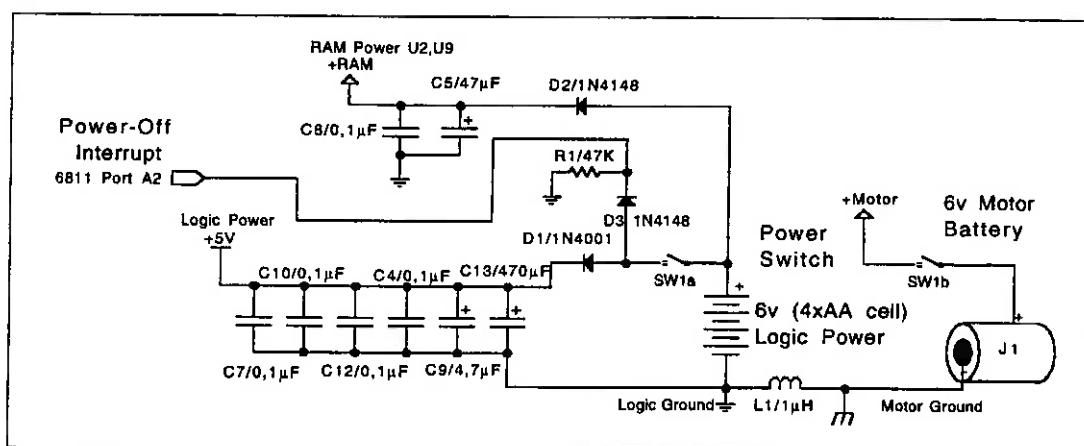


Figura 31 – Circuito de Filtro de Potência e Switching

1.4.2.4.10.2.4 Considerações de Potência

1.4.2.4.10.2.4.1 Controle de Corrente e Proteção contra Picos

Dois chips L293 são utilizados em paralelo para controlar cada motor. Isto é um circuito de corte não convencional adicionado à capacidade de controle de corrente dos controladores de motor.

Dois chips L293 diferentes são utilizados neste circuito. Um chip, o L293D, possui diodos internos de proteção contra picos de corrente nas saídas dos motores. Estes diodos protegem o chip do motor do resto do circuito de ruídos elétricos gerados pelos motores. O outro chip, o L293B, não possui estes diodos, mas possui uma capacidade de controle de corrente maior que o L293D.

O L293D pode suprir 600 mA de corrente por canal, enquanto que o L293B, 1000 mA. Utilizados em paralelo, o circuito pode suprir 1600 mA por canal. Por causa dos diodos protetores de pico contidos no chip D, o circuito todo está seguro para utilização.

1.4.2.4.10.2.4.2 Isolação da Fonte de Energia

O ruído elétrico gerado pelo motor pode ser perigoso para um circuito microprocessador até mesmo com o uso de diodos. Por esta razão, fontes de energia separadas são utilizadas para os motores e para o resto do circuito. A figura 31 mostra o circuito de alimentação. Nota-se que fonte de circuito eletrônico é uma configuração de quatro pilhas AA, enquanto que a fonte do motor vem de um conector J1.

O terra do motor e o circuito lógico devem ser mantidos no mesmo potencial de maneira que os sinais de controle dos chip 374 mostrados na figura 53 possam se comunicar com os chips L293. Estes terras são mantidos num mesmo potencial pelo indutor L1.

O indutor é utilizado para fornecer reatância (resistência dependente da frequência) para apanhar picos que podem surgir dos motores, passando pelos chips L293 e pelo circuito do microprocessador.

1.4.2.4.10.2.5 Expansão da placa do Motor e do circuito do LED

Utilizando o slot de expansão descrito anteriormente e um simples chip L293D (figura 34) pode-se adicionar mais dois motores adicionais, caso seja necessário (No caso não será necessário esta expansão, visto que o Micromouse utilizará 2 motores apenas, porém esta expansão pode ser muito útil no caso de outras aplicações para robô onde um grande número de motores é necessário). Devido ao fato de seis saídas do chip 374 serem conectadas para controlar todas as quatro entradas de direção e as duas entradas enable do L293D, os motores

podem ser parados se desejado. Ou, quatro componentes podem ser utilizados unidirecionalmente, ou seja, sem controle de direção.

Os dois bits restantes do 374 são conectados aos transistores controladores. Estes circuitos transistores são bem apropriados para energizar componentes como LED.

1.4.2.4.10.3 Entradas Analógicas

O MC68HC11 possui um circuito interno que permite conversão de sinais A/D. Nesta operação, uma tensão entre 0 e 5 V é linearmente convertida em um número 8-bits (0 à 255) conforme já mencionado. Esta característica é uma das muitas que torna o MC68HC11 bem apropriado para aplicações de controle.

O MC68HC11 possui oito destas entradas analógicas. No projeto, quatro destas são utilizadas para o circuito de monitoramento da corrente do motor, e quatro delas são ligadas à conectores de entrada.

1.4.2.4.10.4 Circuito de monitoramento de corrente

Quando o chip L293 controla um motor, há uma queda de tensão através do transistor que forma o H-Bridge. O Transistor conectado ao terra do motor (0 volt de potencial) poderia controlar o motor na mesma tensão entre 0.2 e 0.8 volts. O transistor conectado ao terminal positivo da bateria (6 Volts, por exemplo) poderia controlar o motor entre 5.2 e 5.8 volts.

A quantidade desta queda de tensão é proporcional à corrente que é fornecida pelo transistor de controle do motor. Quanto mais corrente é fornecida, maior a queda de voltagem provocada pelo transistor.

Esta indesejável propriedade do transistor L293 é explorada para dar uma noção vaga da quantidade de corrente que está sendo controlada através do motor. Uma propriedade fundamental dos motores é que quando a quantidade de trabalho que eles realizam aumenta, a quantidade de corrente que eles retiram também

aumenta. Então, a mensuração da corrente fornece dados sobre o quão duro o motor está trabalhando – se o mesmo está rodando livremente, se está travado ou se está trabalhando em algum ponto intermediário.

Conforme indicado na figura 60, o feedback de tensão é quebrado por LEDs indicadores que estão conectados à saída do motor. A tensão através dos LEDs irão decrescer como resultado do aumento de corrente puxada pelo motor (e o correspondente decréscimo da performance dos L293's). Esta tensão é fornecida à entrada analógica do MC68HC11 e pode ser mensurada pelo hardware de conversão A/D do microprocessador.

Cada um dos quatro circuitos de motor é ligada na entrada analógica correspondente do microprocessador.

1.4.2.4.10.5 Entrada Analógica Multiplexada na Placa de Expansão

A Placa de Expansão possui três CIs multiplexadores analógicos oito-para-um. Estes chips (74HC4051) possuem oito entradas e uma saída; dependendo do estado das três entradas selecionadoras, uma das oito vias de entrada é conectada à saída.

As saídas dos chips 4051 são ligadas nas entradas analógicas do MC68HC11 quando a placa de expansão é conectada à placa principal. Três sinais do MC68HC11 são utilizados para controlar os multiplexadores e selecionar qual entrada analógica é mapeada para a entrada analógica do MC68HC11.

A figura 62 é um esquema do circuito de entrada analógica na placa de expansão. É fácil de se ver como a utilização de chips multiplexadores analógicos expande a capacidade de entrada analógica do circuito:

- Dois dos chips 4051 possuem suas entradas conectadas à um banco de entrada de dezesseis sensores;

- O outro chip é conectado à um *Frob Knob* (potenciômetro para entrada analógica) e à quatro chaves DIP (para entrada de configuração pelo usuário);
- Três das entradas deste terceiro chip são abertas, assim como uma das entradas analógicas do MC68HC11.

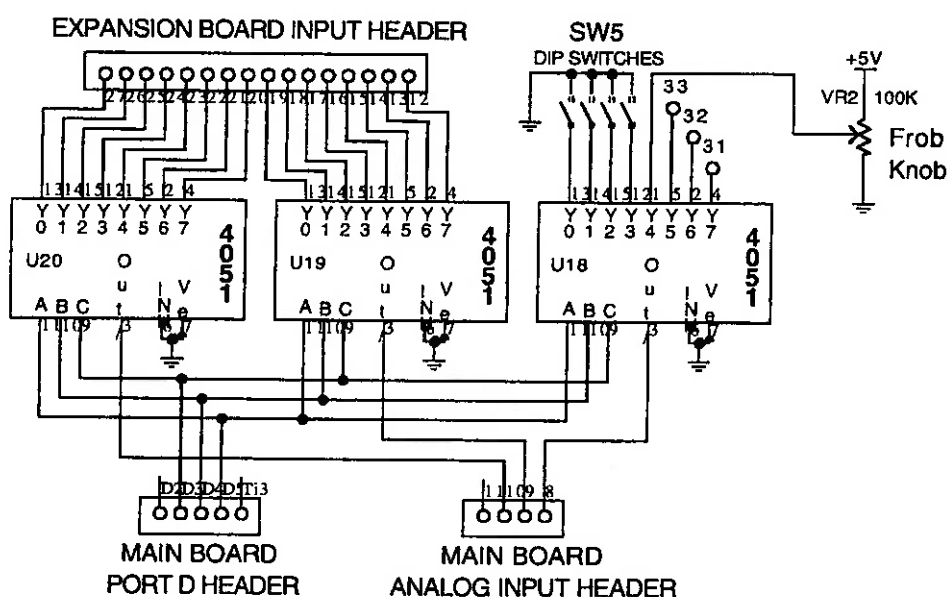


Figura 32 – Circuito da Placa de Expansão de Entrada Analógica

1.4.2.4.10.6 Como Obter a Handyboard

A Handyboard pode ser facilmente montada e os seus códigos fonte podem ser adquiridos na WEB nos endereços relacionados nos ANEXOS. Nos ANEXOS há um manual para a confecção da Handyboard, a lista de componentes necessários, bem como os diagramas da mesma e o lay-out das placas.

A Handyboard também pode ser adquirida pronta na Gleason Research (o endereço WEB está nos ANEXOS) por US\$ 285 Além disto há um kit contendo motores, sensores e conectores que é vendido por US\$ 30.

1.4.2.4.11 F1 Board

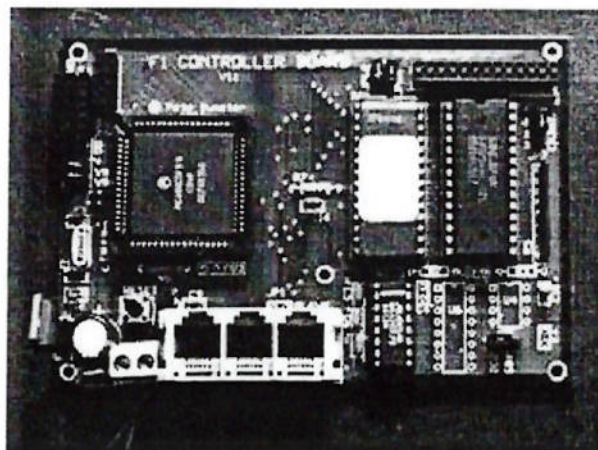


Figura 33 – F1 Board

A F1 Board (ou F1 Controller) é uma placa concebida com a idéia de possuir um pequeno controlador embutido que pudesse ser configurado para diversas aplicações com o mínimo de esforço – um controlador que pudesse ser conectado diretamente à porta serial do PC e permitisse ao usuário se comunicar e manipular o I/O sem ter que escrever qualquer programa.

O resultado disto foi um controlador projetado através do conceito de “Plug and Play”, com o mínimo I/O na placa porém com um conector de expansão que possibilitam que diversas placas de interface possam ser conectadas à mesma, sozinhas ou muitas de uma só vez. Para sistemas maiores um *ribbon cable* pode ser conectado neste conector de maneira a formar um *bus* no qual podem ser ligados até 8 placas de interface.

Para armazenar programas complexos, bem como as bibliotecas completas para os compiladores 'C', uma quantidade razoável de memória externa é necessária, de forma que a F1 Controller possui 32K de RAM e 32K de ROM ou apenas 64K RAM. Na EPROM está um programa monitor (espécie de um pequeno sistema

operacional) que permite a integração com o PC. Pode-se, alternativamente, trocar a EPROM por uma programada pelo usuário. O programa monitor é chamado BUFFALO e foi originalmente desenvolvido pela Motorola para trabalhar com seus microprocessadores. Existe uma versão modificada do BUFFALO, customizada para a F1 Controller.

A tabela abaixo contem as especificações técnicas da F1 processor board.

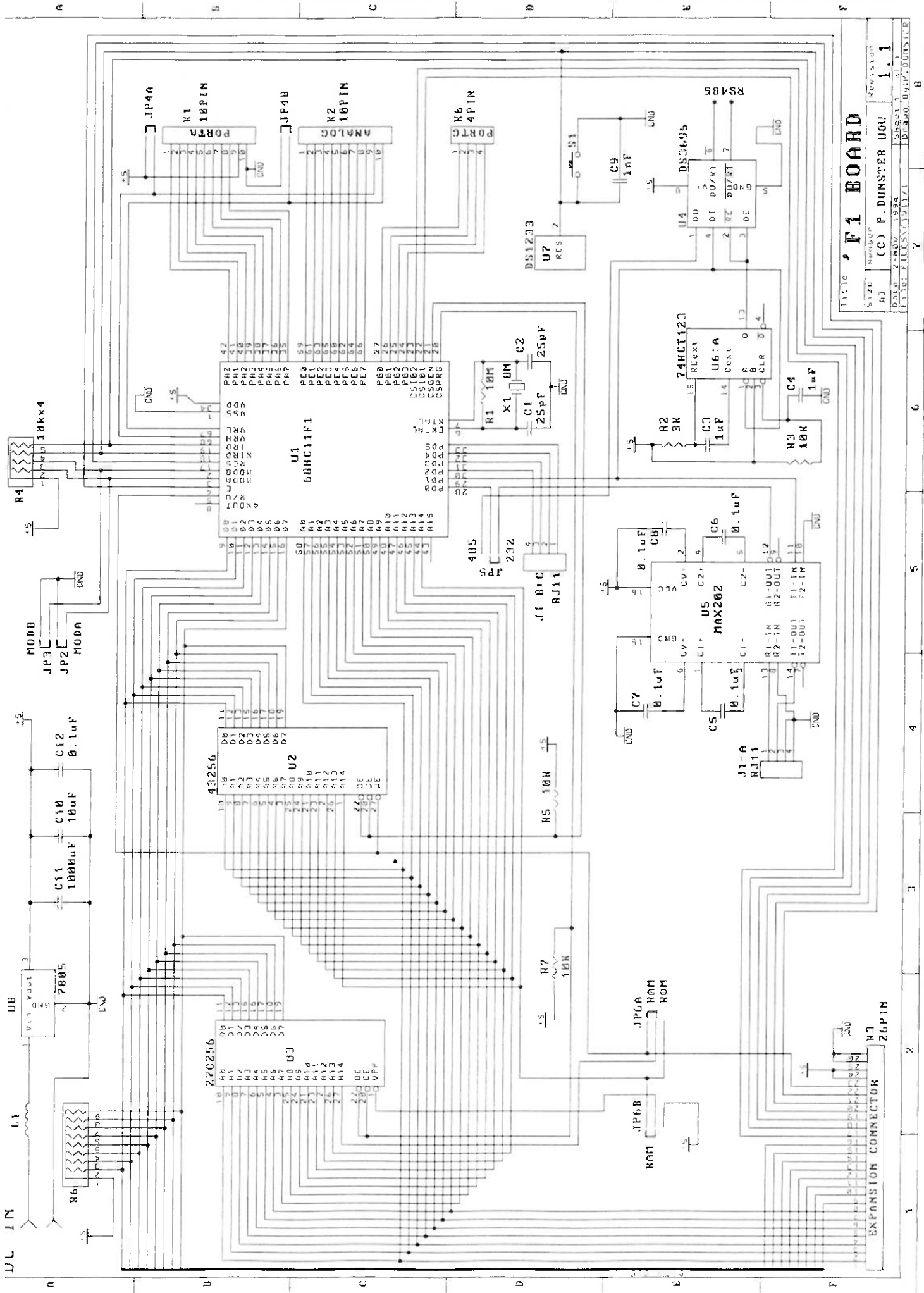
Característica	Descrição
Tamanho	117 x 80 mm
Consumo de energia	125mW (alimentação de 5V, s/ regulador, MAX202 comms IC, RS485 IC's não instalados)
Tensão de alimentação	6.5v – 35v (ou simplesmente 5v sem regulador)
Memória RAM	32 Kbytes (ou 64 Kbytes sem EPROM)
Memória ROM	32 Kbytes
Comunicação	RS-232 RS-485 2 x Synchronous coms. Connector (SPI)
Portas	8 entradas analógicas ou digital I/O (PORT E) 8 Timers ou digital I/O (PORT A)
Jumper selects	
JP1	SPI slave reset
JP2	MODA strap
JP3	MODB strap
JP4	Analog conversion range select
JP5	RS-232/RS-485 coms select
JP6	RAM/EPROM select
JP7	Conector para bateria de backup opcional para a RAM
Crystal speed	8 / 12 / 16 MHz
Push-button	1 - Reset

1.4.2.4.11.1 Descrição Técnica

Esta placa não só foi projetada para ser utilizada como o centro de um sistema de controle, mas também para ser tão versátil quanto possível de maneira que permita ser utilizada em um largo espectro de aplicações. É por este motivo que a placa de controle possui um número bem limitado de capacidade de I/O, deixando que as placas de interface sejam conectadas à mesma. Desta maneira, para qualquer aplicação radicalmente nova, somente uma interface precisa ser projetada e o sistema está pronto para ser programado. A figura 34 mostra o diagrama da F1 Controller Board.

O *coração* da placa é o microprocessador Motorola 68HC11F1FN, que foi escolhido para rodar em modo expandido sem a necessidade de de-multiplexar *bus* de endereços e de dados. Neste modo o seu espaço de endereçamento é de 64 Kbytes, 0000h até FFFFh. Este espaço de endereçamento é dividido de maneira igual entre 32K de RAM e 32K de EPROM, com a RAM ocupando 0000h até 7FFFh e a EPROM de 8000 até FFFF. Este microprocessador possui 512 bytes de estrutura em EEPROM que durante o startup do software é realocado para o endereço EE00 até EFFF, sobrepondo a EPROM. Para evita conflito entre a RAM e EPROM, a via de endereço A15 não é utilizada sendo que os dois circuitos integrados são selecionados por dois sinais específicos deste microprocessador, o CSProg e CSGEN. Quando um endereço é selecionado entre 0000 e 7FFF, CSGEN é ativado, selecionando a RAM. Qualquer outro endereço ativa o CSProg que seleciona a EPROM. A figura 35 mostra o mapa de memória.

Figura 34 – Diagrama da f1 board
(Página seguinte)



TITLE 'F1 BOARD

SIZE	Number	REVISION
AJ	(C) P DUNSTER UOW	1.1
DATE	2-NOV-1984	of 1
FILE	FILES\AJ\111	DR. P. DUNSTER

1 2 3 4 5 6 7 8

'F1 BOARD MEMORY MAP

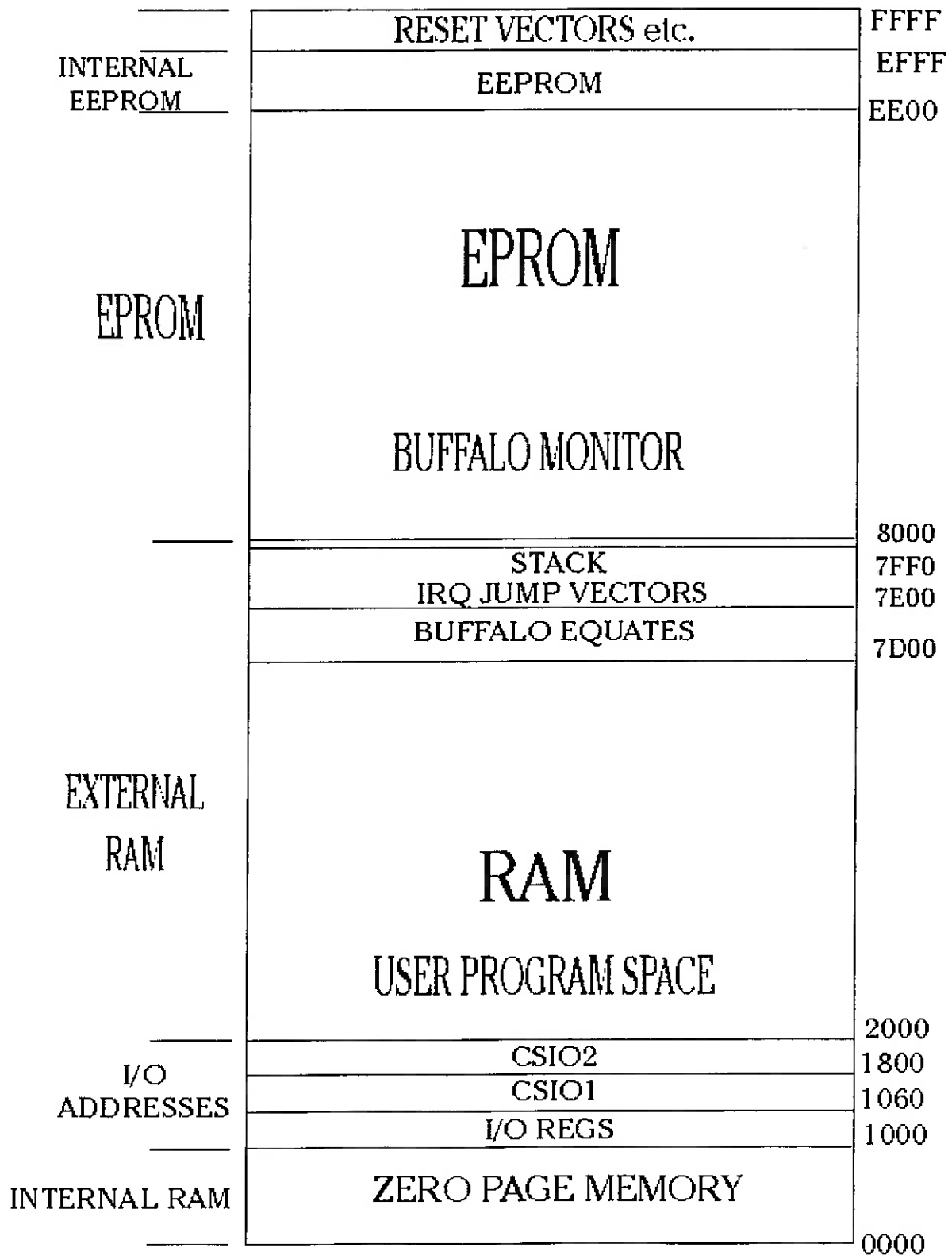


Figura 35 – Mapa de memória

Para acessar às placas de interface, há um conector de 26 pinos na extremidade direita superior da placa, onde existem 7 vias de endereço, 9 vias de dados e muitas vias de controle, bem como vias de +5V e 0V. Há também um conector de 10 pinos na extremidade superior esquerda da placa para as vias PORT A, que são freqüentemente necessárias para funções de *timing*, bem como outras vias de +5 e 0 V.

O Port E e as entradas analógicas podem ser acessados através do conector do lado esquerdo da placa. As 8 vias de entrada estão em paralelo com um conector +5V e 0V para facilitar o fornecimento de energia aos vários sensores. O conversor A/D no processador também possui vias para seleção da faixa de tensão que são levados ao JP4, próximo ao conector PORT E. Estas vias podem ser conectadas à um tensão externa de referência, ou instalando o jumper, conectado às vias +5V e 0V para faixas normais de 0-5V.

A via de RESET do processador é conectada um DS1233 Econo-reset IC. Este circuito integrado monitora o nível de tensão e colocará ao via RESET *low* se a tensão cair abaixo da faixa normal de operação. Na subida da tensão ele irá manter também a via de RESET *low* por 300 ms de forma a possibilitar a estabilização dos níveis de tensão e do cristal. Há um botão para possibilitar um reset manual do processador. Pressionando este botão, ele irá disparar o DS1233 de maneira a setar a via RESET *low* por 300 ms.

O conector triplo RJ11 é utilizado pelas porta SCI e SPI do processador. Os dois conectores mais à esquerda são comuns e utilizados pela porta SPI de maneira a comunicar com os outros dispositivos. Tanto um conector simples, como um duplo ou um triplo podem ser instalados para suprir as necessidades. O conector JP1 pode ser utilizado em uma rede para controlar outras placas F1. O conector JP1 é utilizado para deixar o SS live *low*, de maneira a forçar a placa no modo *Slave* (Escravo). Quando o *shunt* é removido do JP1 a porta se torna selecionável pelo usuário para *Master* ou *Slave*. A porta SCI é conectada à via mais à direita do conector através de um CI interface MAX232 (ou MAX202). Este circuito converte os níveis TTL do processador em sinais +-10v utilizados pelo RS-232.

A pino *transmit* do sistema SCI é conectado aos circuito integrados MAX232 e DS3695. O DS3695 é um conversor para o protocolo RS-485, utilizado mais em pacotes de rede, que possui um conector no canto inferior esquerdo da placa. Isto significa que a placa pode transmitir simultaneamente em RS-232 e RS-485. O pino *receive* do SCI é conectado ao pino central do jumper JP5, que é utilizado para selecionar se a porta SCI irá receber em RS-232 ou RS-485.

O conector de energia no canto inferior esquerdo as placa irá aceitar qualquer tensão Dcde 6.5v à 35v. A entrada é levada através de um indutor ao regulador de tensão 7805. Se for utilizada uma fonte de energia de 5v, é recomendado retirar o CI 7805 e ligar os pinos com um jumper.

Se forem necessários 64 K de RAM na placa ao invés da combinação RAM/EPROM, o bloco de jumpers JP6, localizado sobre U3, é utilizado para selecionar qual CI irá ocupar o conector U3. Se uma EPROM for utilizada, deve-se colocar os *shunts* na parte superior do JP6, caso contrário, se for um RAM deve-se colocar os *shunts* no parte inferior.

Os dois jumpers JP2 e JP3 no lado esquerdo do processador são para seleção dos modos de operação do processador entre MODA e MODB.

1.4.2.4.11.2 Gerenciamento de Memória

O Gerenciamento de memória é feito da seguinte maneira: quando a placa é alimentada na configuração padrão a memória é configurada de maneira que a RAM ocupe a área 0000h à 7FFFh, a EPROM de 8000h até FFFF. O bloco registrador é configurado para iniciar no endereço 1000h e dois *chip selects* externos CS1 e CS2 controlam o 2 blocos de 4K imediatamente seguintes aos registradores e a RAM interna (CS1= 1060-17FF, CS2=1800-1FFF). A EEPROM é colocada em EE00 – EFFF. Isto possibilita que o programa Buffalo monitor resida no início da EPROM em 8000h, e que a área de memória 2000h-7FFFh esteja livre para uso de programas e dados.

A área da RAM em 7D00h – 7FFFh é reservada para funções especiais em software. A área 7D00 – 7DFF é a área *equates* do programa Buffalo monitor. A tabela do vetor de interrupção *jump* começa em 7E00 e vai até 7E40. A área de pilha do programa começa em 7FFE e vai crescendo para os endereços inferiores. A faixa 7FF0 – 7FFF é reservada para o RTC (Real Time Clock) se for instalado.

1.4.2.4.11.3 Comunicação Serial

Há três maneiras de se comunicar com a F1 board: RS-232, RS485 e Serial Peripheral Interface (SPI). O RS-232 e o RS485 originam-se da porta SCI do processador. Quando um dado é exportado através da porta SCI, o dado irá simultaneamente ser transmitido em RS-232 e RS485. No entanto a entrada para o receptor SCI pode vir somente de uma fonte, de maneira que há um jumper que permite escolher qual o protocolo de recebimento. Se este jumper não for setado, o processador não consegue saber qual o protocolo em que irá receber os dados.

1.4.2.4.11.4 Expansão do Sistema

O grande atrativo do sistema F1 Controller está em sua quase que ilimitada capacidade de expansão. Uma grande variedade de placas de expansão podem ser conectadas à F1 através de seu conector de expansão, possibilitando ao monitor o controle de diversas aplicações.

O conector principal para placas de expansão está localizado no canto superior direito da placa. O esquema de pinagem deste conector é o seguinte:

2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26
A1	A3	A5	D0	D2	D4	D6	CS1	IRQ	RES	R/W	5V	GND
A0	A2	A4	A6	D1	D3	D5	D7	CS2	XIRQ	E	5V	GND
1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25

Embora todos as vias de dados estejam disponíveis no conector, somente as primeiras sete vias de endereço têm sido disponibilizadas , o que permite alocar mais de 27 (128) localizações endereçáveis para cada Chip Select Line (CSIO1, CSIO2) ou 256 localizações endereçáveis no total na via de expansão. Isto é considerado suficiente para todas as aplicações mais complexas. Além das vias de Dados e Endereços há também a Interrupção (IRQ), a Interrupção não mascarável (XIRQ), o Reset (RES), o Read/Write (R/W) e o E clock (E). O E clock é um pulso de onda quadrada de 2 MHz gerado pelo processador, utilizado para sincronismo nas operações externas de leitura e escrita com o processador principal.

A função do conector de expansão é possibilitar a fácil conexão de equipamentos à controladora, ou a conexão de interfaces customizadas para controle de sistemas específicos. Placas de expansão podem ser conectadas diretamente ao conector ou conectadas através de um *ribbon cable* , como no caso das placa LDC-I/O (mostrada na figura 36).

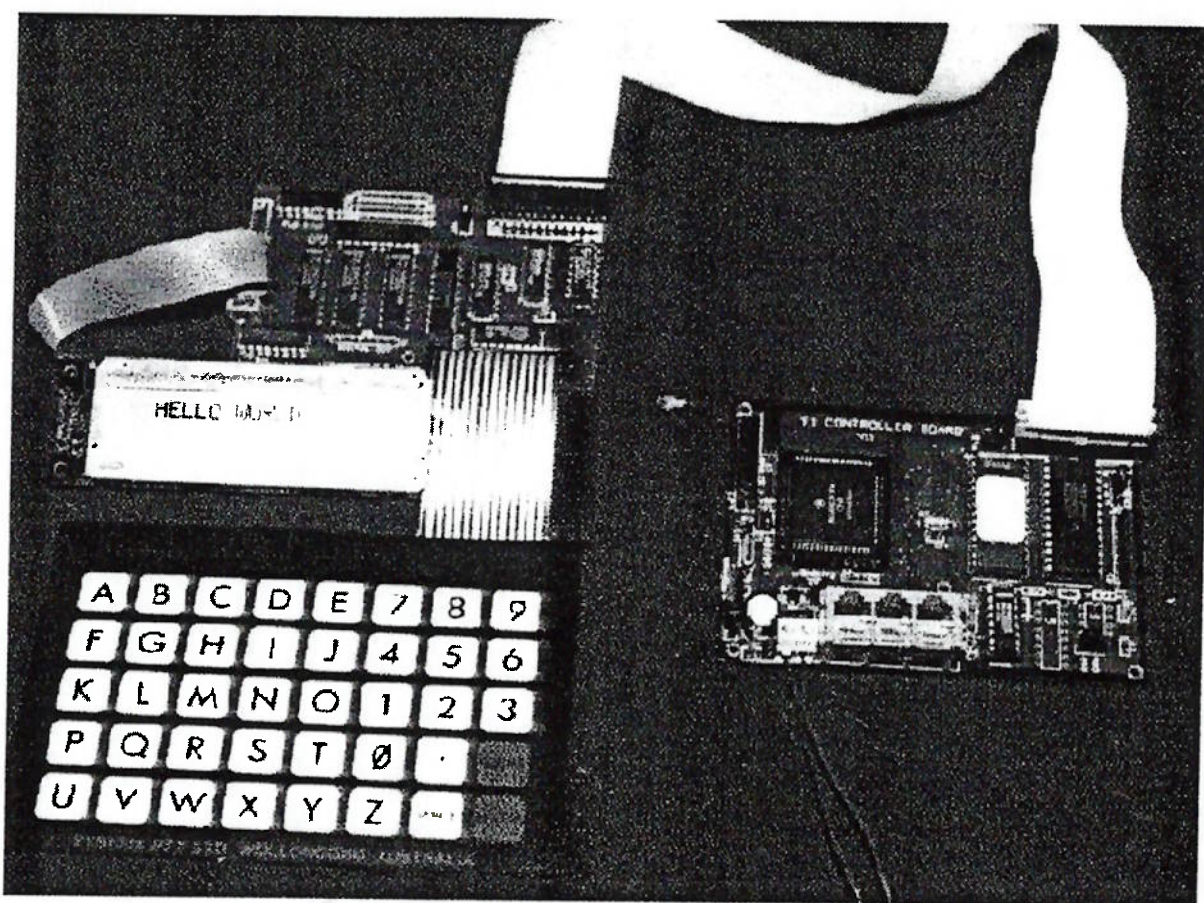


Figura 36 – Esquema das placa LDC-I/O

Se for necessária a conexão de muitas placas, elas devem ser conectadas com um plug R/A IDC e ligadas em paralelo utilizando um *ribbon cable* (como na figura 37), com a extremidade do cabo conectada ao conector de expansão. Para este método, é aconselhado se utilizar a Bus Extension Board ligada a F1 Controller e um *ribbon cable* a partir desta, pois esta placa propiciará um buffer para o processador e uma maior capacidade de *fan-out*. Se necessário, mais de um Bus extender podem ser utilizados em um sistema. É aconselhado que um Bus Extender seja utilizado para cada 4 placas de expansão.

Algumas placas de expansão são encontradas já confeccionadas, como no caso da interface LCD screen/ Keypad e a controladora de motor.

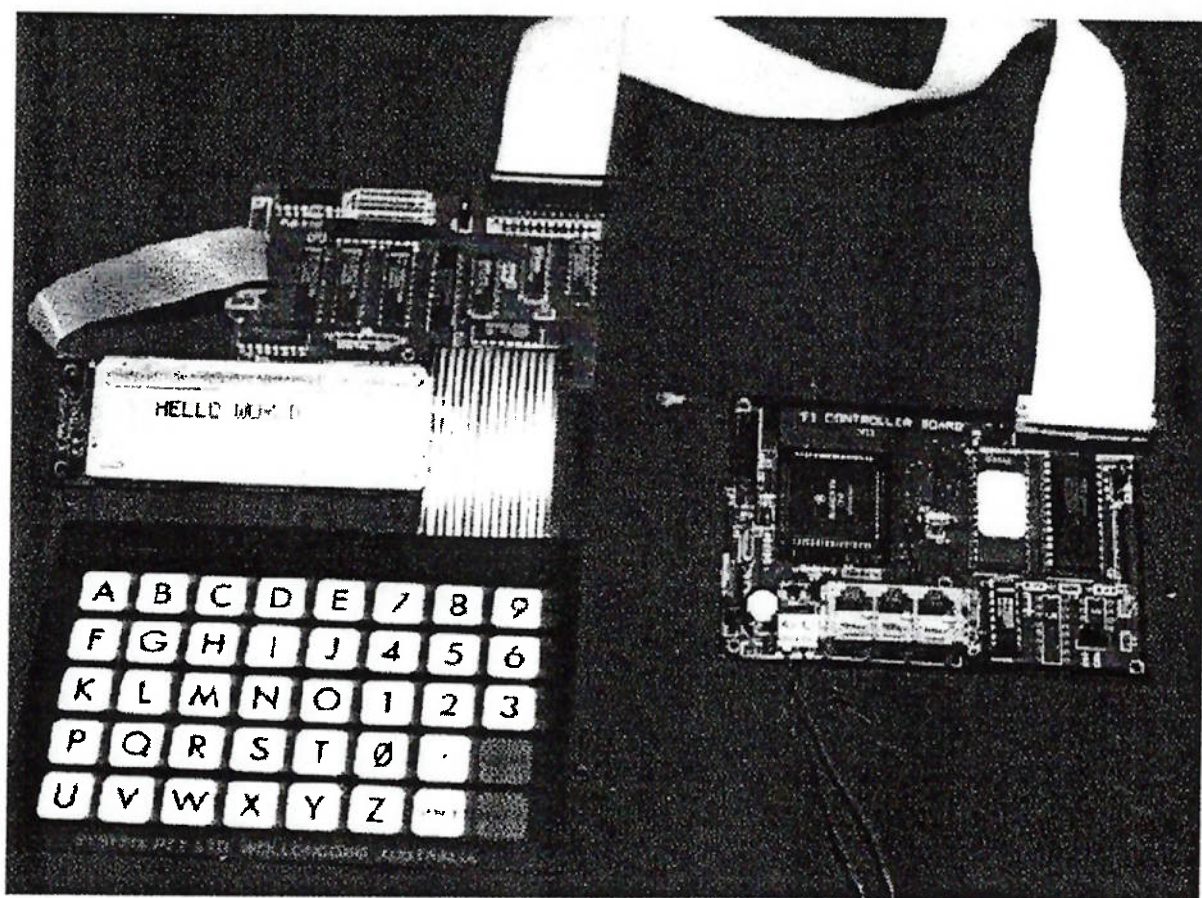


Figura 37 – Esquema do Plug R/A IDC

1.4.2.4.11.5 A Interface LCD/Keypad

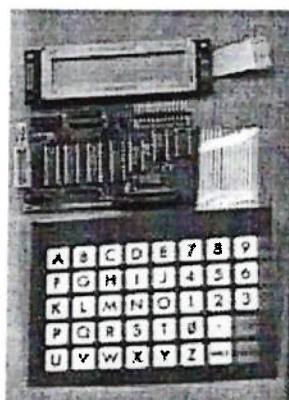
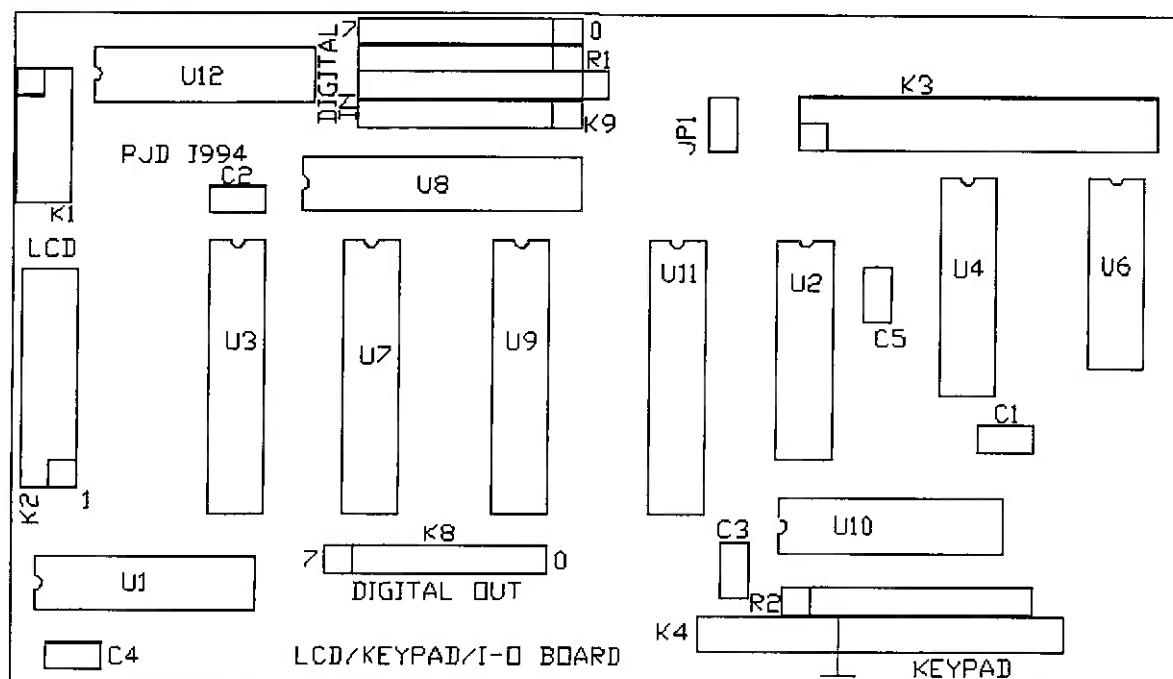


Figura 38 – A interface LCD/Keypad

Esta interface possibilita a utilização de uma tela LCD e um teclado em matrix 8 x 5 junto com a placa F1 Controller. A placa possui:

- Um conector LCD
- Um conector para um teclado de 40 teclas
- 8 entradas digitais
- 8 saídas digitais
- Um conector para o conector Port A da F1 board.

A figura 39 mostra o *top overlay* desta placa



F102 Top Overlay

Figura 39 – Interface de utilização da tela LCD e uma matriz

1.4.2.4.11.6 O LCD

O LCD ocupa dois endereços no mapa de memória do computador. Como é pouco provável que uma mesma F1 controller necessite de mais de um LCD e teclado, o escopo de endereços da placa está fixado.

Muitas telas de LCD utilizam um conector IDC de 14 pinos, porém algumas (por exemplo telas de 4 linhas) podem necessitar de alguns pinos extras. Os últimos dois pinos não são conectados à lugar algum, mas há muitas vias de saída no CI de controle de saída (U7) que podem ser utilizadas para conectar estes pinos com *hook-up wire* para possibilitar funções extras. Para operação normal com um conector de 14 pinos o conector deve utilizar os pinos 1-14.

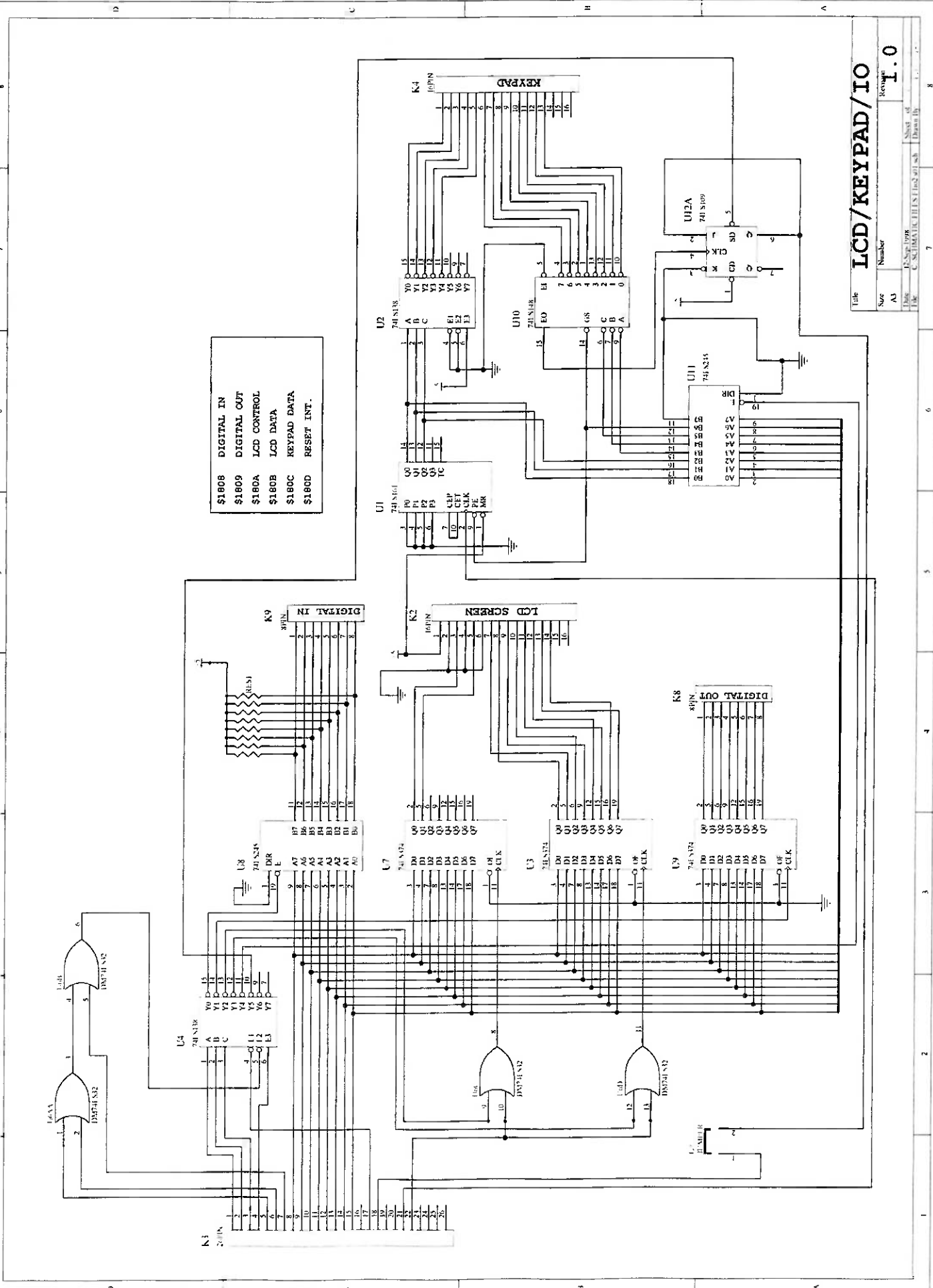
1.4.2.4.11.6.1 O Teclado

O conector para o teclado é um conector de 13 pinos sip, sendo o mesmo uma matriz de 5 x 8. Isto significa que o mesmo irá detectar qualquer conexão cruzada entre qualquer uma das conexões das 5 linhas e 8 colunas. O Teclado utilizada um endereço do mapa de memória e pode habilitado para checar o pressionamento teclas válidas (valido se o bit 6 estiver low) ou se o jumper JP1 estive instalado, o mesmo irá gerar um interrupção externa.

1.4.2.4.11.6.2 Digital I/O

Existem 8 entradas digitais e 8 saídas digitais na placa, sendo que as entradas digitais tem um resistor pull-up e as saídas não. As saídas digitais podem ser acessadas através de leitura e escrita em seus endereços. Deve-se notar que o número das saídas digitais é invertido.

Figura 40 - Esquemas dos circuitos
(Página Seguinte)



\$1B08 DIGITAL IN
 \$1B09 DIGITAL OUT
 \$1B0A LCD CONTROL
 \$1B0B LCD DATA
 \$1B0C KEYPAD DATA
 \$1B0D RESET INT.

Title		Revision	
LCD /KEYPAD /IO		1.0	
Size	Number	Date	Sheet of
A3		12-Sep-1998	1 of 1
File		Drawn By	
C:\SIMATIC\LIST\168201.sch			

Lista de peças

C1 - C5	0.1uF Monocap
K1,K2,K3, JP1	Male header strip
K8 - K9	Female header
R1	1K * 8, 9pin
R2	10K * 8, 9 pin
U1	74HCT161
U2, U4	74HCT138
U3, U7, U9	74HCT374
U6	74HCT32
U8, U11	74HCT245
U10	74LS148
U12	74HCT109

1.4.2.4.11.7 Software

Diversas rotinas foram escritas para o LCD e o teclado e estão disponíveis no arquivo LCDSOFT.zip. Estas rotinas foram todas escritas em Assembler e podem ser lincadas ao software no compilador favorito.

As rotinas para o LCD incluem:

- CLS_LCD: Clear Screen
- INIT_LCD: Initialize Screen
- TX_LCD: Envia caracteres para a Tela

As rotinas para o teclado incluem:

- KBHIT: Retorna 1 se a tecla é pressionada

- GET_CHAR: Retorna o valor do ultimo caracter pressionado

Para muitas operações envolvendo a saída para a tela LCD existe uma função switch (`io_sel()`) que permite que a saída do `putchar` seja enviada para a porta SCI e para a tela LCD. Esta função está disponível na biblioteca contida no arquivo `libf1.zip` para o compilador ICC11 da Imagecrafts.

Em condições normais o teclado é utilizado com a interrupção habilitada, de maneira que o software do teclado seja ligado IRQ interrupt e quando uma tecla é pressionada a rotina de interrupção verifica se é uma tecla válida, obtém o número do conector do teclado, obtém o caracter ASCII de uma look-up table e reseta a interrupção. O teclado pode também ser lido por software através da leitura do endereço `0x180C`, se o bit 6 do endereço do caracter válido estiver 0.

1.4.2.4.11.8 A interface para Motor:

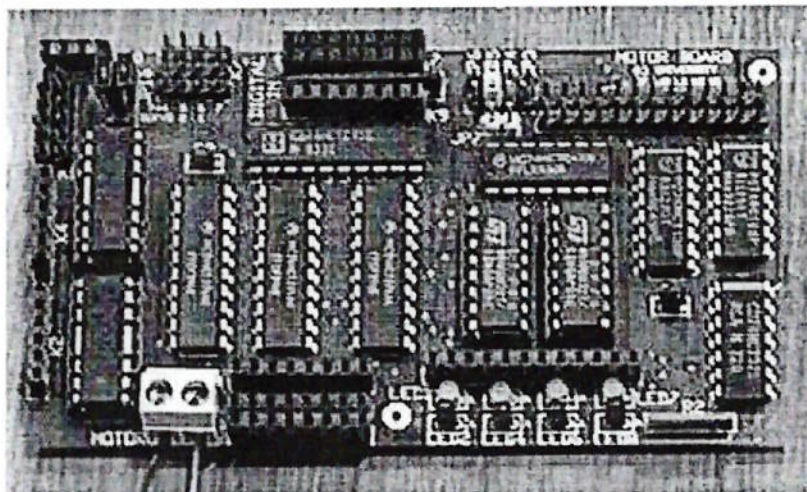


Figura 41 – Interface com o motor

A Motor board é apenas uma interface entre o microprocessador e os atuadores. Esta placa contém uma interface para 2 motores de passo, 3 servo-motores e 4

motores DC, bem como 8 entradas digitais, 8 saídas digitais e as vias restantes do PORT A . Os drivers do servo-motor e do motor de passo utilizam a mesma interrupção , sendo que obviamente estes não podem ser utilizados simultaneamente. Desta maneira, para seleccionar uma destas duas opções há um par de jumpers (JP2). Se nem o servo e nem o motor de passo forem utilizados as vias do timer ficam disponíveis para operações de timer ou I/O normal com o PORT A4-7 no K7. O *lower nibble* do PORT A está sempre disponível no conector K10 no canto esquerdo superior da placa.

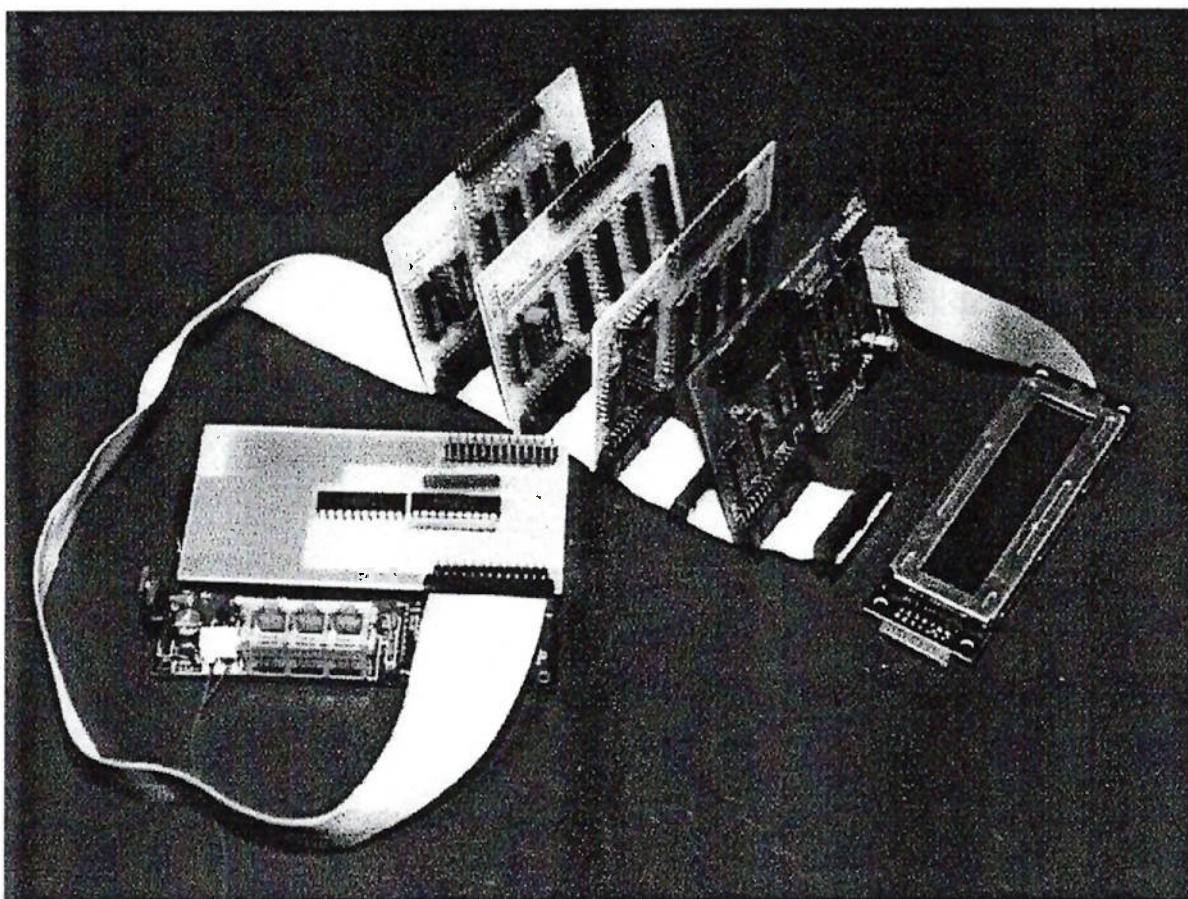


Figura 42 – Fotografia da utilização do Extension Bus da F1 Controller Board

Os conectores dos motores de passo estão no lado esquerdo da placa, sendo o motor de passo 1 no K4 e o motor de passo 2 no K2. Estes conectores são configurados em dois grupos de 3, com cada extremidade dos enrolamentos partindo dos conectores externos para as centrais.

As entradas digitais estão no centro superior da placa e são numeradas da esquerda para a direita de 0 a 7. Elas são mantidas *high* com um resistor *pullup* R1. As outras duas faixas de conectores são +5v e 0v que podem ser utilizados como fonte de energia para qualquer aplicação de baixa corrente. O mesmo é válido para as saídas digitais que estão do lado oposto da placa. A única diferença entre eles é que as saídas digitais não são mantidas *high* com resistores *pullup*.

Os conectores para motor DC são k5 e k6. Estes são constituídos de 3 vias por motor, como o motor 1 na esquerda e o motor 4 na direita. O pino central é utilizado somente para motores de 3 vias.

Os 5 jumpers à direita das entradas digitais são utilizados por um sistema de endereçamento rudimentar para várias placas. Com exceção do motor de passo e dos servo motores é possível utilizar muitas placas de interface para motor em um F1 board, aumentando os controladores de motor e os I/O digitais disponíveis no sistema. Pode haver somente um *shunt* por placa e cada placa deve ter um shunt em algum lugar. Cada um dos shunts conecta uma via de endereço diferente ao pino enable do 74HCT138, dando à cada 138 uma faixa de endereços. Se somente uma placa for utilizada e o endereço é irrelevante, o endereço pode ser colocado no JP7, que irá manter continuamente habilitado (com CSIO2) e dando à placa os endereços \$1800 – 1808. Os outros shunts dão as seguintes faixas de endereço:

JP3 - \$1808 - \$180F

JP4 - \$1810 - \$1817

JP5 - \$1820 - \$1827

JP6 - \$1840 - \$1847

OS dois terminais com parafusos próximos às saídas digitais são para conexão à fonte de alimentação para os motores DC e de passo. A utilização de fontes de tensão independentes para os motores e os circuitos eletrônicos é importante para a redução do problema de ruídos.

1.4.2.4.11.9 Os Controladores do Motor

Cada motor é controlado por um controlador de motor H-Bridge ($\frac{1}{2}$ CI L293D). Cada H-Bridge possui duas entradas que são sempre de polaridades opostas que selecionam o sentido de rotação do motor. As outras entradas dos CIs H-Bridge são pinos enable, que são ligadas e desligadas pelo software de controle de forma a permitir a modulação da largura do pulso de tensão, ou seja, um controle PWM, para o controle da velocidade de rotação do motor. Cada motor é conectado à um conector de 3 vias. A via do centro é conectada à fonte de alimentação do motor. As outras duas vias são conectadas ao dispositivo H-Bridge. Para um motor DC de duas vias convencional, estas devem ser conectadas às vias H-Bridge.

1.4.2.4.11.9.1 Os controladores do Motor de Passo

Estes controladores foram projetados para trabalhar com motores de passo unipolares, que são os motores mais comuns e que possuem 6 fios conectores. Estes seis fios são ligados à dois enrolamentos no interior do motor, quatro deles partindo das extremidades dos enrolamentos e os outros dois do centro dos mesmos. O motor é acionado através do fornecimento de energia ao centro dos enrolamentos e variando a alimentação das extremidades de acordo com um padrão pré-determinado.

1.4.2.4.11.9.2 Servo-motores

Os servo motores são motores posicionadores muito utilizados em modelos radiocontrolados. Eles funcionam com uma fonte de 5 V e possuem um sinal de controle nível TTL na terceira via. Este sinal de controle é em forma de pulso que ocorre à cada 20 milissegundos. Se o pulso possui uma duração de 0.8 milissegundo ou menos, o motor gira totalmente para a esquerda. Se o pulso tiver duração de 2,2 milissegundos ou maior, o motor irá girar totalmente para a direita. Qualquer pulso de duração no intervalo entre 0.8 e 2.2 milissegundos irá provocar um posicionamento do motor proporcional em relação ao seu fim de curso. Para conectar um servo na placa há um conector 4 * 3 macho próximo à extremidade superior esquerda da placa. Os dois conectores centrais são para a conexão do servo motor. Os conectores são configurados para os servos Futaba, mas outros também podem ser utilizados desde que a orientação dos conectores seja respeitada. Os plugs devem ser conectados de forma que o fio preto fique mais próximo ao exterior da placa e o fio branco mais ao interior.

Lista de peças

10uF Tant cap	C1,2
3mm hi-eff LED Red	LED1,3,5,7
3mm hi-eff LED Green	LED2,4,6,8
1k * 4 5pin Res net	R2
74HCT00	U6
74HCT04	U12
74HCT32	U5
74HCT138	U4
74HCT245	U8
74HCT374	U3,7,9
L293D H-bridge	U10,11

10k*8 9pin res net	R1
UCN5804 Stepper	U1,2
16pin IC Socket	
36pin Fem Header	
36pin Male Header	
2pos Terminal block	

1.4.2.4.11.9.3 Software de Controle

1.4.2.4.11.9.3.1 Rotinas de motor DC

As rotinas de controle de motor foram escritas por Fred Martin para o seu projeto da Miniboard. Estas rotinas foram modificadas para serem utilizadas com a F1 board.

Conforme mencionado anteriormente temos que cada motor é controlado por um controlador de motor H-Bridge (1 CI L293D H-Bridge controla 2 motores). Cada H-Bridge possui duas entradas de polaridades opostas que controlam o sentido de rotação do motor. As outras entradas do CI são enables que permitem a modulação da largura dos pulsos de tensão para o motor de forma à controlar a velocidade de rotação do motor (PWM). O tempo para estes pinos enable são providos por uma rotina de interrupção baseada no timer de saída 4 (TOC 4), que é setado para uma taxa de pulso de interrupção de 1 milissegundo. À cada interrupção o dispositivos é ligado e desligado, dependendo da velocidade controlada pelo software de controle. Este controle é realizado pela função *motor(int number, int speed)* onde o *number* é o número da porta do motor utilizado (0 a 4) e *speed* é a velocidade do motor (-16 a 16), onde o sinal é o sentido de rotação do motor.

1.4.2.4.11.9.3.2 Rotinas para os motores de passo

As rotinas para os motores de passo são baseadas nos princípios do controle posicional. Isto significa que o controlador sabe onde o motor está posicionado no final de cada rotina e, dada a próxima posição na próxima chamada de função, o mesmo irá calcular o número de passos para o motor atingir a posição desejada. As localizações são números de 16 bits de maneira que são possíveis 65536 localizações.

Até o momento estas rotinas estão somente disponíveis para o Dunfieldds Micro-C, mas como elas foram escritas em assembler, podem ser utilizadas com outros programas assembler. Estas funções são:

- Step (int motor, int position): define a próxima posição para ir
- Draw() inicializa o movimento dos motores
- StepTm(int value) define a máxima velocidade de rotação
- Zero() reseta as variáveis de posição
- Half (int motor) seta para half step
- Full (int motor) seta para full step
- Onephase (int motor) seta motor de uma fase
- Twophase (int motor) seta motor de duas fases
- Stepon (int motor): habilita o motor de passo
- Stepoff (int motor): desabilita o motor de passo

1.4.2.4.11.9.3.3 Step e Draw

A função step diz ao programa a posição desejada do motor na próxima vez que a função draw() for chamada. Por exemplo, para mover o motor 1 até a posição 550 e o motor 2 até a posição 1200, as funções devem ser chamadas da seguinte maneira

```
Step(1,550);  
Step(2,1200);
```

Draw();

Desta forma os motores irão se mover para suas novas posições.

1.4.2.4.11.9.3.4 Velocidade do Motor

A função de velocidade muda o intervalo de tempo entre os passos. O valor passado é em milissegundos, de maneira que quanto maior o número, menor é a velocidade de rotação do motor. Tipicamente o valor passado para a função está entre 1000 e 32000. Utilizando esta função a velocidade de ambos os motores será mudada.

1.4.2.4.11.9.3.5 Função Zero

Como as rotinas dos motores de passo são posicionais, deve-se Ter uma maneira de setar o zero, ou a posição de referência em relação à qual os futuros movimentos irão se referenciar. A função zero() faz justamente isto.

1.4.2.4.11.9.3.6 Half/full step

O controlador de motor de passo UCN5804, utilizados nesta placa de interface para motor, possuem a facilidade da utilização do half-step e do full-step. Isto significa que um motor de 200 passos por volta setado para half step irá necessitar de 400 passos para completar uma volta, o que é extremamente útil quando uma alta resolução é necessária. Cada um dos motores pode ser setado para um destes dois modos de passos a qualquer momento utilizando-se os comandos:

Half (int motor)

Full (int motor)

1.4.2.4.11.9.3.7 Operação em uma fase/duas fases

Motores de passo podem ser controlados de duas maneiras: uma fase ou duas fases. O formato de uma fase consiste em se energizar um enrolamento do motor de cada vez numa seqüência A-B-C-D. Este método utiliza menos energia e possui uma acuracidade de posição melhor. O formato duas fases consiste em se energizar dois enrolamentos adjacentes de cada vez em cada posição *detent*. Isto oferece um ganho de torque/velocidade, um maior *detent* e se torna menos suscetível à ressonância do motor, mas consome mais energia.

Mesmo as funções podendo ser chamadas em qualquer parte do programa, recomenda-se que as mesmas sejam utilizadas somente no início do mesmo, pois a mudança do formato no meio do programa pode causar um problema de acuracidade posicional.

1.4.2.4.11.9.3.8 Stepon/Stepoff

Estas funções foram incluídas para permitir ao usuário ligar e desligar completamente os motores de passo quando os mesmos não forem utilizados, possibilitando uma economia considerável de energia. No entanto, quando o motor é desabilitado utilizando a função *stepoff()*, não há energia suficiente para manter o motor fixo, de maneira que o mesmo está livre para girar com uma pequena resistência. Isto pode causar problemas com um sistema de controle posicional pois o mesmo pode perder a última posição do motor.

1.4.2.4.11.9.3.9 Rotinas de Servo-Motor

Para habilitar as rotinas de servo-motor a interrupção OC1 no arquivo 6811int.ram deve ser inicializada como "servoint" rotina. Esta inicialização está no arquivo, necessitando somente a remoção dos comentários. As rotinas de servo para Micro-C são semelhantes às funções de motor DC:

Servo (int motor, int value)

A variável motor seleciona entre o servo 1 e 2. O valor deve estar entre 0-255, o que indica a posição do servo: 0=totalmente esquerda, 255=totalmente direita e 128=posição central

Lista de peças da F1 board

Inductors	L1,2
10K 1/4w Resistor	R3,6,7
3K 1/4w Resistor	R2
10M 1/4w resistor	R1
Pushbutton Switch	S1
8MHz Crystal	X1
0.1uF Cap	C5-8,12,14
1nF Cap	C9
1uF Tantalum Cap	C3,4
10uF Tant Cap	C10
15pF Ceramic Cap	C1,2
27C256 EPROM	U3
68HC11F1	U1
74HCT123	U6
330uF Elec. Cap	C11
32Kx8 S-RAM	U2
DS1233	U4
SHUNT	
MAX202	U5
4x10k 5pin res	R4
8x10K 9pin res-net	R5

68pin PLCC socket	
28pin IC	
16pin IC socket	
36pin female header	K1-3
36pin male header	
3position RJ11	J1
2pos Term. Block	
7805 V Regulator	U8

Pode ser encontrada nos locais relacionados no item anexos, no final deste trabalho.

1.4.3 Memória

As memórias são dispositivos projetados para armazenar dados. Existem várias memórias, tais como: memória ROM, PROM, EPROM, EEPROM, RAM; cada qual com suas funções. Nós abordaremos vários aspectos e conceitos sobre a RAM e suas derivações.

Os principais tipos de memória RAM são: SRAM, DRAM, SDRAM, BEDO RAM, RDRAM, VRAM.

Memória é um dispositivo eletrônico capaz de armazenar (memorizar) bits. De acordo com o tempo que os dados precisam ficar armazenados, frequência de regravação do dado entre outros fatores é conveniente o uso de um ou outro tipo de memória. Os tipos de memória mais usuais são: RAM, ROM, PROM, EPROM, E2PROM.

1.4.3.1 Células de Memórias

Uma célula de memória é a unidade básica para o armazenamento de um único bit de informação em uma memória. As células utilizadas na construção de memórias, geralmente, são flip-flops projetados usando transistores ou um circuito de armazenamento de carga usando transistores MOS.

1.4.3.2 Célula de memória com transistores

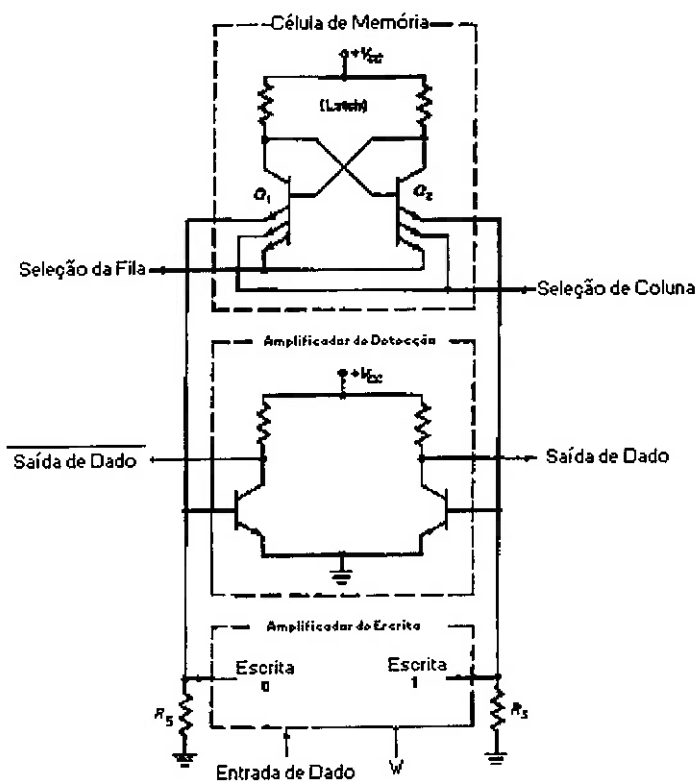


Figura 43 – Célula de memória com os transistores

Dois TJB acoplados em cruz para formar um latch simples e capaz de armazenar 1 bit de informação, servem como o elemento de memória.

Se a linha de seleção de LINHA ou de COLUNA for baixa (TERRA), a célula é de-selecionada. Para seleccionar uma célula, as linhas de LINHA e COLUNA devem ser ambas altas (+Vcc). Quando seleccionada, um bit de dado pode ser escrito ou lido na célula.

Funcionamento:

Quando as linhas de seleção de FILA e COLUNA são altas, os emissores ligados a estas linhas são reversamente polarizados, e o comportamento da célula é como o de um latch simples. Dessa forma, um dos transistores atua na região de corte e o outro na região de saturação. Os transistores do amplificador de detecção "copiam" os transistores da célula de memória. Por isso, quando uma célula é selecionada, o conteúdo desta é, imediatamente, disponibilizado nas saídas de dado do amplificador de detecção.

O amplificador de escrita é usado para armazenar informação na célula. Existem várias configurações, mas os requisitos básicos são: ESCRITA 1 em nível alto e ESCRITA 0 em nível baixo sempre que ENTRADA DE DADO for alta; e vice-versa.

Para poder armazenar 1 bit na célula, deve-se selecioná-la (FILA e COLUNA ambas em nível alto). Um nível alto na entrada de dado do amplificador de escrita fará aparecer nível alto em ESCRITA 1 e nível baixo em ESCRITA 0. O latch armazenará um 1 (nível alto), nesse exemplo.

1.4.3.3 Memória de Acesso Randômico - Random Access Memory (RAM)

A memória de acesso Randômico, ou memória RAM, como é mais conhecida, é uma memória de conteúdo volátil, ou seja, os dados somente se mantêm armazenados enquanto a mesma estiver sendo alimentada. A memória RAM permite a leitura e a escrita de dados. Quando a alimentação da memória é desligada, todo o seu conteúdo é apagado. Desta forma, deve-se manter a alimentação ativa durante todo o período em que for necessário o armazenamento dos dados.

A memória RAM apresenta particularidades em relação aos outros tipos de memória. Ela permite que os dados sejam escritos na RAM em qualquer endereço quantas vezes se quiser. Já nos outros tipos de memória (ROM, PROM, EPROM,

E2PROM), o dado não pode ser intermitentemente escrito na memória; pode-se escrever poucas vezes, ou as vezes nem se pode escrever, somente ler.

Quanto ao tipo de armazenamento, as memórias RAMs podem ser divididas em: estáticas e dinâmicas.

Uma RAM estática usa um flip-flop como a célula de memória básica. Uma vez armazenado em um flip-flop, o bit permanecerá lá enquanto houver alimentação, daí o termo "estática". Por outro lado, a célula de memória básica em uma RAM "dinâmica" utiliza carga armazenada em associação com um dispositivo MOS para armazenar um bit de informação. Esta carga armazenada não permanecerá por longo período de tempo, ela deve ser periodicamente recarregada (renovada), por isso chama-se RAM "dinâmica".

Com relação à volatilidade, ambas as RAMs (estática e dinâmica), são dispositivos de armazenamento de dados voláteis, pois a perda das tensões de alimentação significa uma perda do dado armazenado.

Já o acesso às células de memórias na RAM é aleatório. Isto implica num tempo fixo e pequeno.

1.4.3.4 RAM Estática (SRAM)

Esta memória é uma variação da RAM onde a mesma é mantida alimentada por uma bateria. Desta forma os dados são mantidos armazenados durante o período em que o dispositivo não estiver em funcionamento. Geralmente estas baterias são recarregáveis de modo que as mesmas se recarreguem nos períodos em que a memória estiver sendo alimentada externamente.

Para o melhor entendimento das memórias RAMs estáticas(SRAM - Static Random Access Memory), analisemos o exemplo de uma. O exemplo é simples; trata-se de uma memória RAM das mais simples e básicas: 7489.

O C.I. 7489 mostrado na figura 44 é uma RAM estática TTL LSI de 64 bits, arranjada com 16 palavras de 4 bits cada.

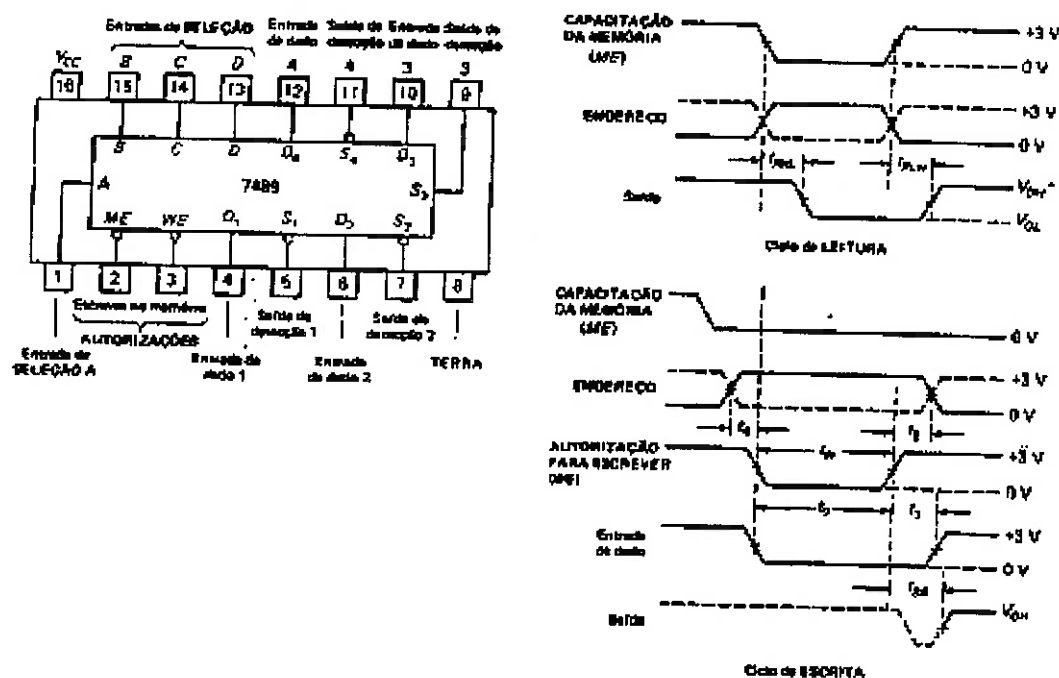


Figura 44 – Circuito Integrado. 7489

Mantendo-se a entrada de capacitação de memória (ME) baixa, capacitar-se-á a pastilha ou para uma operação de leitura ou de escrita e as quatro linhas de endereço de dado selecionarão uma das dezesseis posições da palavra de 4 bits para ser lida ou para ser escrita. Se a entrada WE (autorização para escrever) também estiver baixa, os 4 bits presentes nas entradas de dado (D1, D2, D3, D4) serão armazenados no endereço selecionado. Do contrário, se WE for alta, o dado que está atualmente armazenado no endereço de memória selecionado, será apresentado nas linhas de saída (S1, S2, S3, S4). Uma característica importante desta RAM, é que as saídas são transistores de coletor aberto, sendo preciso normalmente um resistor elevado de cada saída até VCC.

O diagrama de blocos abaixo pode ser usado para descrever a operação da maioria das RAMs estáticas. A maioria delas é construída com n linhas de endereço que irão selecionar de maneira única somente umas das células na

matriz de memória - isto é, a seleção de 1 bit por vez. Existirá um controle de capacitação da pastilha (CE), uma autorização para escrever (WE) e uma provisão para um único bit de dado de entrada (Di) e um único bit de saída (Do).

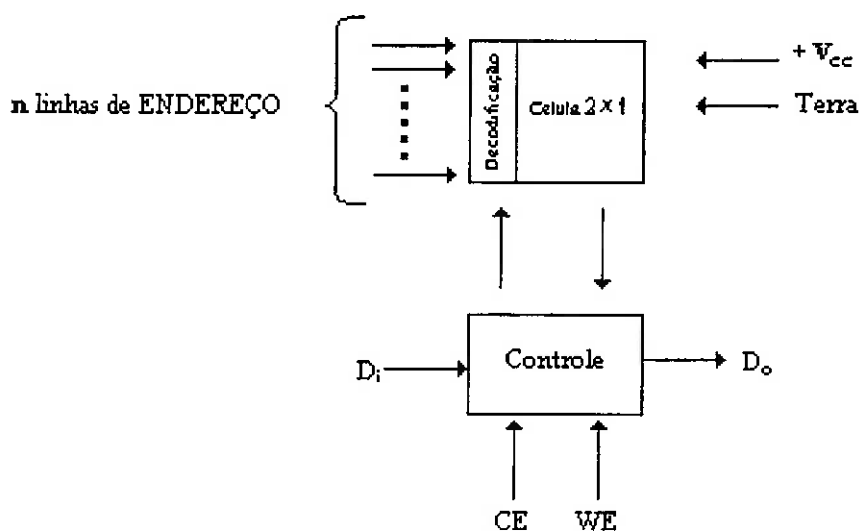


Figura 45 -

Por exemplo, a 54/74200 é uma RAM de 256 bits organizada com 256 palavras de 1 bit de comprimento cada. As 256 células são arranjadas em uma matriz quadrada de 16 filas e 16 colunas. Os 8 bits de endereço são divididos em 4 bits que são decodificados para selecionar umas das 16 colunas. Existe um único bit de dado de entrada, um único bit de dado de saída e uma linha autorização para escrever (WE). Existem 3 entradas de capacitação da memória (M1, M2 e M3), e todas as 3 devem ser baixas para selecionar ou capacitar a pastilha.

Agora que se conhece a RAM 54/74200 (abreviado como '200'), será simples usar várias pastilhas '200 para construir memórias maiores. Por exemplo, podemos conectar 4 pastilhas '200 em paralelo, para construir uma RAM organizada como 256 palavras de 4 bits de comprimento cada. Conectando 8 pastilhas '200 em paralelo, formaremos uma memória que tem palavras de 8 bits e assim por diante.

O bom na conexão de pastilhas em paralelo é que o controle e o tempo são exatamente os mesmos, como se existisse somente uma única pastilha. A única diferença é que existem 4 entradas de bits e 4 saídas de bits de dados (ou 8 entradas e 8 saídas), as quais estão todas em paralelo.

Na realidade memórias ainda maiores podem ser construídas conectando-se pastilhas básicas, como a '200, em série e paralelo. Por exemplo, 32 pastilhas '200 são conectadas em uma matriz 4 x 8 (figura abaixo) para formar uma memória que tem 1024 palavras de 8 bits. Essa configuração requer um endereço de 10 bits: 2 bits podem ser usados para selecionar uma das 4 filas das oito, e os 8 bits restantes serão ligados em paralelo para todas as pastilhas; eles funcionarão exatamente como para a memória de 256 palavras de 8 bits citada anteriormente.

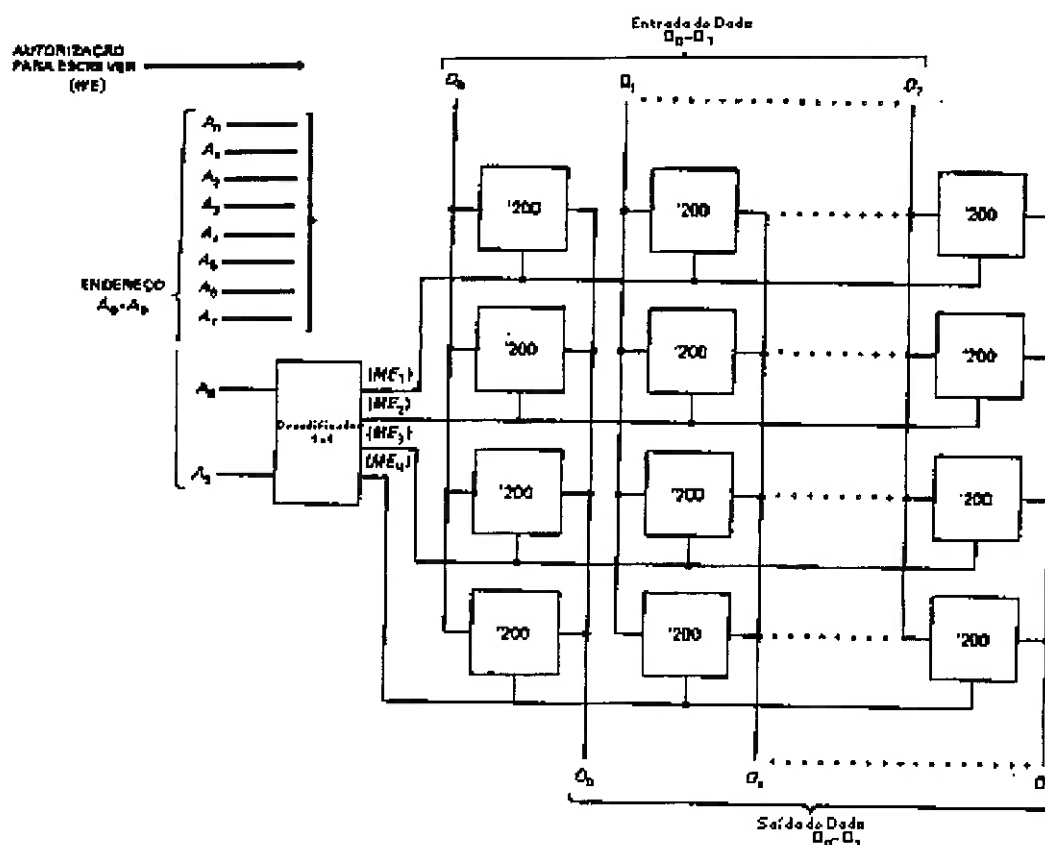


Figura 46 -

Essas associações certamente podem ser ainda mais aprofundadas, mas elas se tornam um tanto impraticável com requisitos de memórias maiores, especialmente porque existem pastilhas MOS prontamente disponíveis com capacidade de memória maior.

1.4.3.5 DRAM (Memória RAM Dinâmica)

Como já dito anteriormente, a diferença básica entre uma RAM estática e uma RAM dinâmica é a célula de memória. A célula de memória dinâmica utiliza um circuito com transistor MOS para armazenar carga e, portanto, armazenar 1 bit. Essa célula dinâmica requer uma área superficial em uma pastilha de silício muito menor; desse modo, uma pastilha de memória dinâmica terá uma capacidade de memória muito maior que uma pastilha de RAM estática com as mesmas dimensões totais. Entretanto, como a carga armazenada se dispersa com o tempo (dinâmica), ela deve ser periodicamente rearmazenada ou "renovada" e a RAM dinâmica dessa forma tem um requisito operacional adicional - o ciclo de renovação.

Uma RAM dinâmica típica é essencialmente o mesmo que a pastilha de RAM estática, com exceção do ciclo de renovação. As outras características: linhas de endereço, entradas de dados, saídas de dados, operação de leitura/escrita, tempos de operação da memória são similares à memória RAM estática.

Exemplo de uma RAM dinâmica:

Para melhor compreensão do funcionamento deste tipo de memória, iremos colocar uma lupa sobre uma pastilha, vendo assim o básico, ou seja, a célula de memória. Os transistores MOSFET neste circuito, operam na zona de saturação e corte (0 e 1). Quanto ao armazenamento do dado na célula, ele é armazenado em um transistor MOSFET, ligado de tal forma que tenha uma capacitância suficiente para armazenar o bit. Ou seja, o transistor MOSFET opera como um capacitor.

Abaixo o circuito que será analisado:

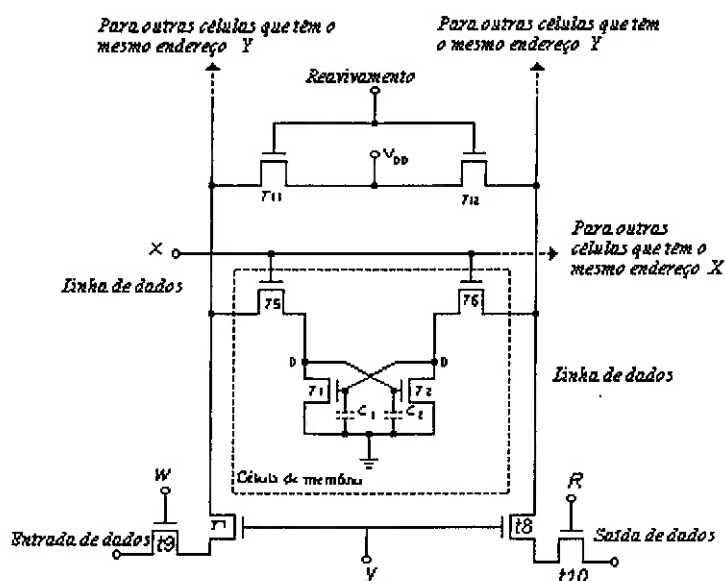


Figura 47 –

Usaremos então este exemplo de uma célula de RAM dinâmica. Apenas os transistores T1, T2, T5 e T6 fazem parte da célula propriamente dita; os outros transistores são usados para comandos, sendo compartilhados com as outras células da RAM.

Funcionamento:

Para acessar os capacitores, é necessário fechar as chaves transistorizadas T5 e T6, além de T7 e T8. Para isso, basta aplicar nível alto no endereçamento da célula (nível alto em x e y que corresponde a célula desejada). Os endereços estão conectados nas portas dos transistores, pois os MOSFETs são controlados pela tensão na porta, podemos até comparar a uma torneira com dois estágios - 1: toda aberta e 2: fechada.

Para ler a célula: Antes de tudo, é necessário endereçar a célula aplicando nível alto nos respectivos x e y. Depois colocar nível alto em R, habilitando a linha de dados com a saturação de T10.

Para escrever: Como antes, deve-se primeiro endereçar a célula. Depois coloca-se nível alto em W; desta forma, habilitar-se-á T9, ficando livre a entrada de dados e permitindo que o bit seja armazenado nos capacitores (MOSFET's).

Como já vimos, apesar de todas as vantagens de uma RAM dinâmica, há um problema: o rápido descarregamento dos capacitores, devido a baixa capacitância. Por isso, as RAMs dinâmicas vem acompanhadas de uma circuito de reavivamento (refresh), que renova o dado periodicamente. É um circuito simples, constituído apenas por dois MOS. Se a operação de escrita não for realizada, é necessário reavivar o bit, pois o capacitor (MOSFET) se descarrega e com isso pode ocorrer uma perda do dado. Para realizar tal operação, aplica-se nível alto no comando reavivamento; isso fará com que T11 e T12 saturem, habilitando a passagem de corrente e reavivando o dado.

1.4.3.6 Tempos de Operação

Um fator importante na utilização das memórias RAM são os tempos de operação da memória. Analisemos como são os tempos de operação, por exemplo, da memória RAM estática 7489.

Para a operação de leitura, o tempo T_{phl} , é o período de tempo desde a descida de ME até que o dado apareça nas saídas. A folha de dados fornece um valor máximo de 50ns, com um típico de 30ns. Durante a operação completa de leitura, as linhas de entrada de endereço devem estar estáveis.

Quando WE e ME estão altos, todas as saídas vão a nível alto. O tempo T_{phl} é o tempo de atraso entre a subida de ME até que as saídas assumam o estado

alto. A folha de dados fornece um máximo de 50ns e um típico de 26ns para esse tempo de atraso.

Olhemos agora os requisitos de tempo para o ciclo de escrita. Primeiro, a WE deve ser mantida baixa por um período mínimo, a fim de armazenar a informação nas células de memória. O tempo mínimo dado pelas folhas de dados é $t_w = 40\text{ns}$. A seguir, tanto o dado como as linhas de endereço devem estar estáveis por um período mínimo depois de WE ir para nível baixo e também depois de WE ir para nível alto.

Os tempos que o dado deve ficar estável são:

Depois da descida de WE = 40ns;

Depois da subida de WE = 5ns.

Os tempos que as linhas de endereço devem ficar estáveis são:

Depois da descida de WE = 0 ns (Ou seja, permite-se que as linhas de endereço tornem-se estáveis coincidentemente ou antes de WE ir a nível baixo;

Depois da subida de WE = 5ns.

Esses tempos de operação citados existem em qualquer memória RAM, obviamente com valores diferentes. Analisamos apenas esta memória, pois ela oferece relativa simplicidade na sua análise, mas é importante lembrar que o comportamento desta repete-se em todas outras memórias RAM.

É extremamente recomendável que haja o devido cuidado com esses tempos porque do contrário pode haver uma leitura errada do dado armazenado na memória.

Exemplo de um erro: Como já citado, após a descida de WE, há um período de tempo até que o dado apareça na saída. Se dentro deste período de tempo for feita a leitura das saídas da RAM, provavelmente far-se-á uma leitura errada.

1.4.3.7 Atualidades

As memórias RAM que encontramos nos computadores pessoais hoje em dia, na verdade são memórias DRAM. Elas são usadas, basicamente, para executar duas funções: armazenamento temporário de dados (armazenamento principal) e "buffers" de imagem. Os módulos (pentes) que abrigam as memórias podem ser classificados em dois tipos: DIMM e SIMM.

- SIMM (Single In-Line Memory Module): Possui contatos elétricos em ambos os lados do módulo, porém são redundantes, ou seja, os contatos de um lado são iguais aos do outro lado. Por isso que dizemos que a DIMM possui apenas uma faixa de contatos em um de seus lados.

- DIMM (Dual In-Line Memory Module): Possui contatos elétricos independentes em ambos os lados do módulo, o que aumenta a velocidade de operação. Cada contato tem sua função específica.

- SO DIMM (Small Outline DIMM): Voltada para o mercado de computadores móveis/portáteis. Por ser de dimensões menores do que a DIMM, ela possui uma capacidade de armazenamento um pouco menor, mas não chega a alterar a performance do computador.

As memórias RAM, inicialmente trabalhavam a uma velocidade de 28,5 MHz, enquanto que processadores recebiam dados a 66 MHz. Com a evolução da tecnologia, o homem foi capaz de melhorar a velocidade do envio/recebimento de dados da memória DRAM. Um exemplo disso foi um novo tipo de memória que, na realidade, surgiu de uma pequena modificação na arquitetura da memória DRAM comum, que quase não alterou seu tamanho físico. O nome dessa nova memória é a EDO DRAM.

1.4.3.8 EDO DRAM (Extended Data Output)

Na verdade a alteração ocorrida na memória DRAM foi uma mudança estrutural que diminui o tempo que a memória usa para limpar seus dados e estar apta a receber novos "bits". Na prática ocorreu a seguinte mudança: Os "bits" chegam à DRAM e esses dados são amplificados e armazenados em um "latch" fora da memória. Enquanto os "bits" que estão nesses "latches" são dirigidos a seu respectivo endereço por drivers de saída da memória DRAM, a entrada de dados da RAM já está limpa e pronta para receber novos "bits". Ou seja, antigamente os dados que ficariam na memória ocupando espaço, e conseqüentemente provocariam uma maior demora para o recebimento de novos "bits", ficam nos "latches", liberando assim a entrada da memória.

Essa mudança aumentou em 40% a velocidade da memória. De 28,5 MHz com a DRAM, agora com a EDO passou para 40 MHz.

Para obter-se um rendimento considerado excelente, a memória teria que alimentar o processador com a mesma velocidade. Tanto a DRAM quanto a EDO DRAM transmitem dados a uma velocidade aceitável, porém o problema consiste no início da transmissão. Por exemplo: Se nessas memórias há dados que irão para o monitor de um computador, cada vez que esses dados fossem renovados ("refresh") os "bits" iniciais seriam lidos e transmitidos ao monitor em modo seqüencial, o que atrasa muito a operação. O ideal é que o "refresh" fosse feito em modo paralelo, exatamente como se dá a transmissão normal. Esse é um dos grandes problemas das memórias DRAM e EDO DRAM.

1.4.3.9 SDRAM (Synchronous DRAM) e BEDO DRAM (Burst EDO DRAM)

Para aumentar a velocidade de operação da memória DRAM foi criada uma técnica que funciona basicamente da seguinte maneira: Cada vez que uma nova página de dados (novos "bits" contendo novas informações) é acessada (quando acontece o "refresh") a própria memória "diz" qual deve ser o próximo endereço de memória a ser acessado para dar continuidade na leitura de dados. Esse aviso da memória sobre onde deverão ser encontrados os próximos dados para a leitura, elimina a demora que a DRAM teria para a detecção do próximo endereço a ser lido e, conseqüentemente, a velocidade de operação aumenta de maneira espantosa.

Para o implemento dessa técnica, algumas mudanças na arquitetura da memória tiveram que ser feitas. O tamanho físico da SDRAM em comparação com as demais é maior. Na SDRAM a duração e o tipo de "clock" são bem definidos aumentando assim, a velocidade de operação da memória.

A duração do "clock", juntamente com o primeiro endereço da memória, permite ao Contador de Endereço Interno determinar qual será o próximo endereço de memória a ser usado. O tipo de "clock" define se o contador de endereços proverá "bits" seqüenciais ou embaralhados.

Esses novos implementos à SDRAM fizeram com que a memória trabalhe a incrível velocidade de 100 MHz. Esse tipo de memória não foi desenvolvido somente para o mercado de computadores, mas também para qualquer campo que requeira memórias com larga banda de passagem de dados.

Com essa nova tecnologia o usuário poderá configurar sua memória para aplicação específica que desejar. Para isso foram incluídas as seguintes modificações:

- Um registrador de modo foi adicionado à placa para habilitar o usuário a especificar qual o tipo de "clock" que ele deseja para sua aplicação;

- A SDRAM permite o acesso a dois pacotes de informações diferentes simultaneamente, sem perda de velocidade;
- A SDRAM foi convertida para uma interface síncrona, ou uma interface com "clock" para haver um melhor controle no acesso dos endereços de memória.

Como a maioria dos computadores trabalham a uma velocidade de 66 MHz (alguns chegam a 85 MHz), as indústrias viram que a grande fatia do mercado ficaria de fora, e a SDRAM não serviria a todos, seus recursos não seriam totalmente usufruídos, já que somente grandes computadores têm capacidade de rodar a mais de 66 MHz. Além disso os fabricantes não queriam deixar o preço de uma SDRAM equivalente a uma EDO DRAM alegando que os custos de fabricação são muito mais elevados do que uma memória comum devido ao tamanho físico e a tecnologia usada nesta. Por isso, as indústrias resolveram criar uma memória que não modifica a DRAM fisicamente, mas sua velocidade já é bem maior, chega a 66 MHz.

Seu nome é BEDO DRAM. É uma memória EDO normal com algumas modificações na transmissão de dados, sendo que podem ser transmitidos 4 "bits" por vez de modo seqüencial ou embaralhado. Essa, ao contrário da SDRAM, é destinada inteiramente ao mercado de computadores pessoais.

1.4.3.10 RDRAM (Rambus DRAM)

É uma DRAM desenvolvida pela Rambus Incorporation que possui a maior banda de passagem do que qualquer outro tipo de DRAM (chega a 1,6GB/s).

Ela chega a essa velocidade porque foi projetada para fazer parte de um subsistema de memória que pode ser estruturado da seguinte maneira:

I - Controlador da Rambus

II - Canal

III - Conector

IV - Módulo RIMM

V - RDRAM

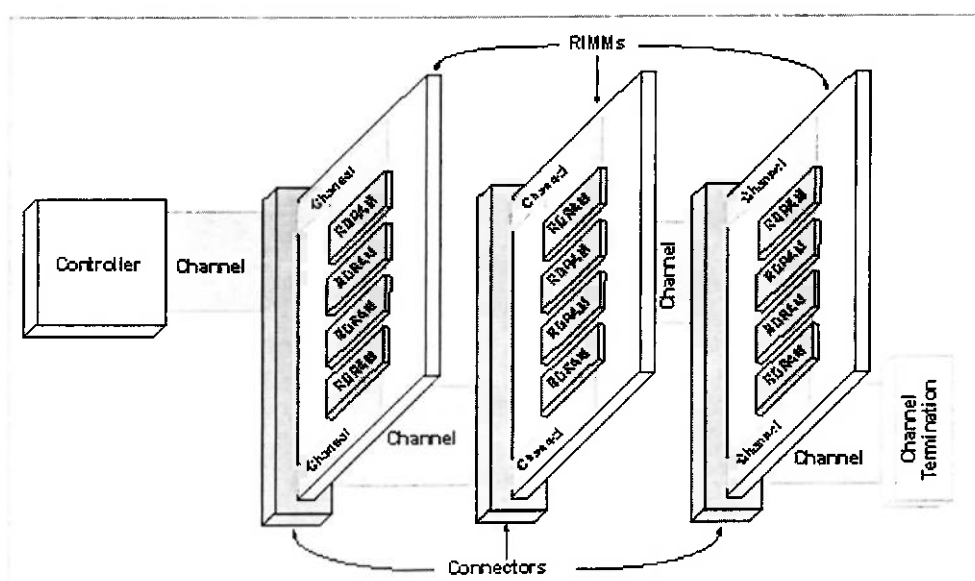


Figura 48 - Esquema de um sistema RDRAM

I- Controlador

É o mestre das operações da memória. Mais de 4 desses Controladores podem ser usados num único sistema. Do Controlador saem os dados que chegam aos módulos através dos Canais da Rambus.

O Controlador é responsável por gerar os pedidos para a utilização da memória, o controle de fluxo e "dizer" quando a memória deve dar um "refresh" ou não. Sua velocidade de operação chega a 400 MHz ou mais.

II- Canal

O Canal da Rambus cria uma conexão elétrica entre o Controlador e as RDRAMs. A operação do Canal é baseada em sinais de alta velocidade que utilizam os dois picos do "clock" de 400 MHz, criando taxas de transferência de dados de 800Mb/s.

III- Conector

O Conector Rambus oferece uma interface de baixa indutância entre o Canal no módulo RIMM e o Canal da placa mãe do computador. Sua função é justamente essa, ligar o módulo RIMM ao computador.

IV- Módulo RIMM

É o módulo onde são colocadas as RDRAMs e por onde passam os canais que ligam essas memórias. São projetados com dimensões similares a de uma SDRAM.

V- RDRAM

A RDRAM propriamente dita faz o armazenamento de dados do subsistema de memória Rambus. Ela só funciona se receber informações diretas do Controlador. Uma RDRAM pode ser dividida em duas partes: a Interface Lógica e o Núcleo da RDRAM.

- Interface Lógica: Traduz as informações chegadas do Controlador a velocidades de 400 MHz que precisam ir para o Núcleo da DRAM que trabalha a 100 MHz utilizando somente um pico (alto ou baixo) do "clock".

A Interface Lógica consiste de receptores de dados, circuito de "clock", registradores de controle, multiplexadores e demultiplexadores.

- Núcleo da RDRAM: Consiste da estrutura normal de uma DRAM e mais amplificadores sensíveis ao sinal e decodificadores, basicamente. O núcleo é projetado pelo fabricante da DRAM comum. Isso permite aos fabricantes personalizar seus núcleos de acordo com a alimentação, custo e performance.

1.4.3.11 SGRAM (Synchronous Graphics RAM) e VRAM (Video RAM)

Ambas são projetadas com atributos extras que fazem delas memórias excelentes para aplicações gráficas. A arquitetura da SGRAM e seu modo de operação são baseados na SDRAM. Na VRAM sua arquitetura e operação são baseados na DRAM padrão.

I- SGRAM:

Ideal para aplicações gráficas como jogos, multimídia e trabalhos gráficos em 2D e 3D. Seu modo de operação é bastante parecido ao da SDRAM.

Pela SGRAM ter a estrutura interna da DRAM, é preciso fazer um "refresh" periodicamente, aumentando o tempo de operação. Como em toda DRAM, todos os sinais de entradas são armazenados no estado alto do "clock".

A principal inovação feita na SGRAM para acelerar as aplicações gráficas foi a implementação de duas novas funções: uma que permite a gravação, de uma só vez, de toda a página de dados que chega à entrada da memória e a outra que permite a gravação seqüencial dos "bits". A própria memória reconhece e seleciona qual dos modos é o mais adequado a determinada tarefa, sempre visando o máximo rendimento e performance.

```

1101 1011
0101 1101
1001 1010
1011 1100
1010 1001
1111 1000
1000 1111

```

Se na entrada da memória tivermos 7 linhas e 2 colunas, por exemplo, uma vez que a primeira linha foi ativada somente é necessário fornecer o endereço do começo da primeira linha e coluna porque a memória se encarrega dos "bits" restantes.

Um contador interno da memória identifica os endereços de alocação dos demais "bits" após ter a informação do endereço da primeira linha e coluna.

II- VRAM

Como os monitores de computadores requerem um fluxo contínuo de dados seqüenciais para fazer o "refresh" de vídeo foi desenvolvida a VRAM que aumenta a velocidade desse fluxo aumentando assim, a performance gráfica.

Para propiciar esse fluxo contínuo, uma Porta Serial foi adicionada a DRAM padrão. Essa porta é ligada aos Registradores de Memória de Acesso Serial (MAS), que foram adicionados para fazer o tráfego de dados em altas velocidades entre a memória e a tela do monitor, enquanto a DRAM fica livre para as outras tarefas. Esses Registradores armazenam grandes quantidades de páginas de dados e deixa a DRAM fazer a atualização de dados em altíssima velocidade. Como a função primária deste tipo de RAM é fazer o "refresh" de vídeo a VRAM é projetada para permitir que os dados seriais dos registradores sejam acessados continuamente da porta serial sempre em alta velocidade.

A VRAM também tem uma interface de DRAM que é completamente separado dos registradores seriais e da porta serial. Enquanto as informações estão sendo lidas da porta serial, outros "bits" podem ser armazenados ou lidos diretamente da estrutura DRAM pela sua própria porta. Para a maioria dos casos, as funções da DRAM operam como normalmente o fazem na DRAM padrão.

Resumindo, os dados entram na VRAM pela estrutura DRAM que armazena alguns "bits" e envia outros para os Registradores Seriais. Os dados enviados são os que precisam ser acessados, via Porta Serial, a altas velocidades e em fluxo contínuo para a realização do "refresh", que é justamente quando o computador "renova" as informações mostradas na tela do monitor.

1.4.3.12 SDRAM (SyncLink DRAM)

É uma memória que ainda está em fase de desenvolvimento e, por isso, ainda não existe muita informação disponível a respeito dela. O que se sabe é que um dia ela substituirá as memórias RAM usadas hoje em dia.

As únicas referências encontradas a respeito dessa memória são complexas e estão no seguinte endereço: <http://www.sldram.com>

1.4.3.13 UMA (Universal Memory Architecture)

Os projetistas e fabricantes estão trabalhando no desenvolvimento de um novo tipo de memória. Ela usaria uma arquitetura universal, o que significa que seria um tipo de memória usado em todo o computador. A memória principal e a memória gráfica ("buffers" de vídeo) usufririam dessa memória juntamente com as demais.

Essa nova memória causaria uma queda muito acentuada no preço dos computadores pessoais e, inclusive, no preço das próprias memórias. Seria muito fácil fazer uma atualização e aumentaria espantosamente a velocidade do computador, já que o sistema inteiro trabalharia com um tipo de memória com uma única velocidade.

1.4.3.14 CONCLUSÃO

As memórias RAMs são de extrema importância à eletrônica. Em muitas aplicações da eletrônica (calculadoras, relógios, etc), usam-se estas memórias. Um exemplo clássico são os computadores, que não funcionam sem elas.

A memória RAM tem fundamental importância nos computadores; é necessário que ela opere em harmonia com as outras partes do CPU (processador, HD, etc). Ou seja, de nada adianta um processador operando a 66Mhz, quando a memória opera a 5Mhz. Por isso que é tão importante as memórias terem a melhor performance possível.

Atingimos nosso objetivo principal, que era ter um bom conhecimento das RAMs, entender seu funcionamento. Além disso, procuramos saber como estão as memórias atualmente, e até, memórias que estão sendo estudadas para serem usadas no futuro.

Não se sabe ao certo como será a RAM no futuro. Mas elas certamente ainda evoluirão muito, melhorando ainda mais os aparelhos eletrônicos que delas dependem. É de suma importância essa evolução, sendo os usuários os principais

beneficiados; no caso dos computadores, os usuários além de terem um computador mais veloz, pagarão cada vez menos por ele.

1.4.3.15 Memória Somente de Leitura – Read Only Memory (ROM)

Memória muito utilizada em sistemas de micromputadores mais antigos, armazenava o programa básico do sistema. Já sai de fábrica com o programa, não podendo sofrer qualquer alteração, por isso só é utilizada na fase de comercialização dos projetos e por ser uma encomenda específica ao fabricante, só é viável em grandes quantidades. Foi substituída em grande parte por outras tecnologias. Ela é muito simples pode ser imaginada como uma matriz (número de endereços X tamanho da palavra). Em cada célula da Matriz podemos ter um diodo ou não (0 ou 1), assim a corrente vai passar da linha para as colunas através do diodo. Serão lidas então as correntes de todas as colunas formando o binário armazenado.

1.4.3.16 PROM (Programmable ROM - ROM Programável)

É uma evolução da ROM, só que agora não é feita uma máscara (processo fotográfico) com o programa. Os fabricantes de ROM's perceberam que venderiam mais se o comprador pudesse gravar o programa na ROM, assim pequenas empresas também comprariam e o fabricante poderia produzir em larga escala, pois os chips seriam iguais. A partir daí finalmente as memórias começaram a entrar na nossa vida. A PROM é uma ROM que tem todas as ligações da matriz feitas. O comprador precisa queimar microfusíveis aplicando correntes elevadas neles, como o fusível está em serie com o diodo da célula, a ligação deixa de existir. A PROM como a ROM só é gravada uma vez o que as tornam desvantajosas.

1.4.3.17 EPROM

EPROM (Erasable Programmable Read-Only Memory) é um semiconductor não volátil tipo PROM que pode ser apagado pela exposição a intensos raios ultravioletas.

Vamos tomar como exemplo uma ICM 2716, que é uma EPROM de 16K bastante utilizada e organizada em 2048 palavras de 8 bits cada.

Quando estocada virgem, a ICM pode ser rápida e eficientemente programada, evitando custos introduzidos pelas mascaras de ROM.

No modo Standby (ocioso) a corrente consumida que no estado ativo é de 100mA cai para 25mA.

1.4.3.17.1 Características

- Organização 2048 X 8
- Alimentação única 5V
- Todas as entradas e saídas compatíveis com as dos dispositivos TTL durante a leitura
- Operação estática (sem clocks e sem refresh)
- Saída de 8 bits para sistemas baseados em microprocessadores
- Tensão de programação $V_{pp} = 25V$
- Baixa dissipação de potência:

Estado ativo -----525mW

Em Standby -----132mW

1.4.3.17.2 Nomenclatura dos Pinos

De A0 a A10 ----- Endereços
 E/PGM ----- Chip Enable/Program
 G ----- Habilita saídas
 De Q0 a Q7 ----- Saídas

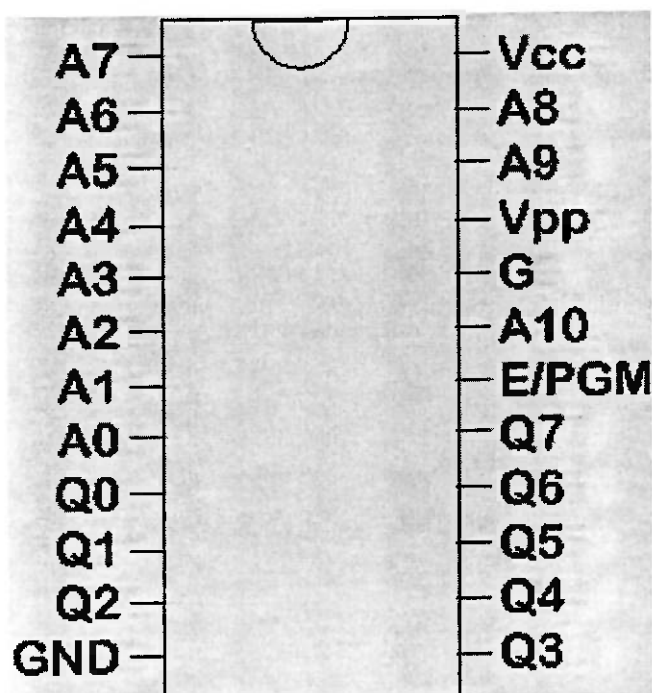


Figura 49 – Esquema de um chip de EPROM

Todas as entradas operam com níveis TTL, exceto a entrada Vpp, que no modo de programação opera com uma tensão de 25V.

1.4.3.17.3 Modo de leitura

A entrada E é o controle de alimentação e deve ser usada para selecionar o dispositivo. A entrada G por sua vez, é a entrada de controle das saídas e deve ser utilizada para desligar as saídas.

Os dados estarão disponíveis na saída após a borda de descida do sinal em G, supondo que E esta em nível baixo e os endereços estão estáveis.

1.4.3.17.4 Modo Standby

No modo Standby, a Potência dissipada pela ICM pode ser reduzida em até 75%, baixando a potência de 525mW para 132mW. Neste modo as saídas apresentam alta impedância.

1.4.3.17.5 Controle de Saídas

A ICM possui duas linhas de controle, que permitem a leitura das saídas de qualquer dispositivo particular de arranjo. Essas duas linhas possibilitam:

- menos dissipação de potência
- certeza absoluta de que não ocorrerá conexão ao bus de saída.

1.4.3.17.6 Modo de programação

Inicialmente todos os bits da ICM apresentam o estado interno 1. O dispositivo é programado gravando-se 0's nos bits selecionados. O dispositivo assumirá o modo de programação quando aplicada uma tensão de 25V na entrada Vpp.

A programação se realiza através de um processo de armazenamento de cargas elétricas em uma porta lógica especial flutuante, isolada eletricamente do resto do circuito. A isolação é valida, tanto nas condições normais de funcionamento, como nas condições de total retirada de corrente de alimentação, de modo que a informação armazenada não se perde. O armazenamento de cargas é efetivado, aplicando pulsos de aproximadamente 25V a 30V na junção P-N do transistor FAMOS. Quando a tensão é retirada da junção as cargas-elétrons

permanecem na porta lógica, barradas pela função isoladora de camada de óxido SiO₂. A fuga de corrente, por ventura existente, proporciona somente 20% a 30% de perda de carga no espaço de 10 anos (t=25°C).

Os pulsos de tensão de programação são aplicados a um pino especial do CI chamado "programa". O endereço é aplicado aos pinos respectivos A0-An e os dados, a serem programados, nos pinos de saída. A largura dos pulsos típica é 1mS. São requeridos aproximadamente 100 pulsos para cada endereço. A informação armazenada é disponível para leitura porque as cargas modificam o campo elétrico do canal no transistor FAMOS. Com a tensão de funcionamento normal na ordem de 5V, nada acontece na região dielétrica de da isolação, permanecendo a porta com um potencial fixo.

Se os dados forem idênticos é possível programar várias ICM's ao mesmo tempo. Sendo que deve-se ligá-las em paralelo.

1.4.3.17.7 Modo programação Inibida

A programação de várias ICM's com dados diferentes também é facilmente executável, ligando em paralelo as entradas correspondentes, exceto a entrada E/PGM.

1.4.3.17.8 Modo Verificação

A fim de determinar se a programação está correta, pode ser feita uma verificação sobre os bits programados. A verificação pode ser feita com V_{pp}=25V.

1.4.3.17.9 Operação de Apagamento

Devido as características da ICM 2716, o apagamento começa a ocorrer quando o dispositivo é exposto à luz. A exposição contínua do dispositivo em uma

sala com iluminação fluorescente comum pode apaga-lo em aproximadamente 3 anos, ao passo que sob a luz o sol esse tempo se reduz a 2 semanas.

Para o apagamento recomenda-se a exposição a luz ultravioleta. Nestas condições o tempo de apagamento deve ser de aproximadamente 15 minutos, se a lâmpada for colocada à 2,5cm do dispositivo.

A aplicação dos raios ultravioletas cria pares elétrons-buracos no óxido providenciando via condutiva para a descarga da porta flutuante.

1.4.3.18 EEPROM

As memórias EEPROM são memórias somente de leitura que possuem a grande vantagem de ser apagadas eletricamente. Isto é, podem ser programadas e reprogramadas sem serem retiradas do circuito, sendo bem mais práticas que as EPROM, que só são apagáveis por ultra violeta. Além disso possuem muitas outras vantagens e presume-se que com o tempo as EPROMs cedam lugar a essas memórias.

Outra grande vantagem é o baixo consumo de corrente e a pequena corrente exigida no apagamento e programação, bom para o uso em aparelhos pequenos.

Eis aqui algumas características das EEPROMs (pego como exemplo o CI HNVM 3008 - CMOS):

- Tempo de programação: 0,1segundo.
- Tempo de apagamento em massa e tempo de apagamento byte a byte: 100 microsegundos.
- Tempo de acesso: 600 nanosegundos.
- Potência consumida no apagamento/ programação: 25 miliwatts.
- Potência consumida na leitura: 10 miliwatts.
- Potência gasta em repouso: 500 microwatts.
- Tensão de apagamento/ programação: 17 Volts.
- Tensão para qualquer outra operação: 5 Volts.

Basicamente, existiam dois tipos de memórias EEPROM quanto a sua fabricação: as construídas pela tecnologia MNOS, das quais foram feitas as primeiras EEPROMs, tendo como característica não precisarem ser retirados da placa para serem apagados; e as fabricadas pela tecnologia FAMOS, onde são usadas na construção "portas flutuantes" e tem como característica principal uma forte retenção de cargas.

1.4.3.19 Comparação

Característica	RAM	SRAM	ROM	EPROM	EEPROM
Volatilidade	Alta	Média	Baixa	Baixa	Baixa
Programação	Prática	Prática	Pré-programada	Pouco Prática	Pouco Prática
Deleção	Prática	Prática	Não permite	Pouco Prática	Prática

1.4.4 Interface com o Computador

Existem basicamente duas maneiras mais comuns de se interfacear o microprocessador com o computador: através da Interface serial e através da interface paralela. Há também a possibilidade da comunicação ser feita via um módulo de RF ou de sinais infra-vermelhos.

1.4.4.1 Porta Paralela

A Porta Paralela - também conhecida como porta Centronics - tem sido sinônimo de porta de impressora. A porta paralela é o tipo de comunicação usado na maioria dos computadores na ligação com a impressora. Uma porta paralela consegue enviar vários bits de dados através de oito fios paralelos, simultaneamente - enquanto uma conexão serial envia um bit, uma porta paralela é capaz de enviar um byte inteiro. A conexão paralela tem uma limitação. As tensões em todas as suas linhas geram a Linha Cruzada, um fenômeno que faz com que a tensão enfraqueça de uma linha para outra e quanto maior o cabo, maior a interferência. O limite máximo para um cabo paralelo é de 10 pés (aproximadamente 3 m).

Um evolução da porta paralela é a Porta Paralela Realçada. A grande vantagem do EPP (Enhanced Parallel Port) é que não é mais necessário software para manutenção de dados. Ele utiliza rotinas em hardware para reduzir o grande número de comandos de software que eram necessários para transmitir bytes e monitorar transmissões. Como resultado as velocidades de transferência de dados paralelos explodiram para até 15:1 - para taxas de até 2 megabytes por segundo, o que é suficientemente rápido para comandar CD-ROMs multimídia e outros dispositivos que requerem muita velocidade. Quando uma instrução I/O é executada, o hardware EPP sincroniza com um periférico externo. E, como não é necessário software, as transmissões acontecem em um único ciclo I/O; todo o handshaking é automático.

1.4.4.2 Porta Serial

A Porta Serial é uma linha de envio de dados, outra para o recebimento e mais algumas para regularizar como os dados estão sendo enviados por outras duas linhas. Devido a sua simplicidade, a Porta Serial tem sido utilizada para que o PC comunique-se com quase todos os dispositivos - desde modems e impressoras até plotters e sistemas de alarme. A utilização mais comum para Porta Serial é para mouse ou modem. O motivo é que a porta serial não é um meio muito eficiente para a transferência de dados. Ela consegue somente enviar dados em série (um atrás do outro). A Porta Serial é normalmente conhecida como porta RS-232. Esta é uma especificação da Associação das Indústrias Eletrônicas para um padrão de como os conectores são utilizados em uma porta serial.

1.4.5 Sensores

Neste tópico a idéia é estudar alguns dos tipos de sensores que provavelmente serão utilizados no projeto, assim como pode ser implementado o interfaceamento dos mesmos com o microprocessador. Ao logo deste tópico, serão abordados alguns exemplos de interfaces para sensores levando-se em consideração o microprocessador a ser utilizado (MC68HC11).

1.4.5.1 Sensibilidade e alcance (Sensitivity and Range)

Dois conceitos importantes para se entender quando se analisa qualquer sensor são sensibilidade e alcance. Sensibilidade é a medida de quanto deve-se alterar o sinal observado para que se provoque alterações no sinal medido, ou seja, qual a menor alteração no sinal de saída que provoca alteração no sinal observado.

Um sensor reage a variações de níveis de alguns estímulos físicos provocando uma tensão característica de saída (ou corrente, freqüência, etc.). No geral, o circuito associado com o sensor amplifica e/ou transforma esta tensão e a alimenta em um conversor analógico-digital conectado à um microprocessador. O conversor A/D é sensível somente à um limitado intervalo de tensões, freqüentemente entre 0 à 5 V. No caso do conversor A/D construído no MC68HC11, esta tensão é convertida em um dos 256 níveis discretos. Portanto, não importa o quão complexo é o fenômeno e o sensor associando à sua detecção, o resultado do sensoriamento são valores numéricos entre 0 e 255.

No entanto, é importante se considerar cuidadosamente como uma quantidade física é transformada em um valor digital acessível ao microprocessador. As figura 50 e 51 ilustram duas opções de mapeamento de tensões em números: uma linear e outra logarítmica.

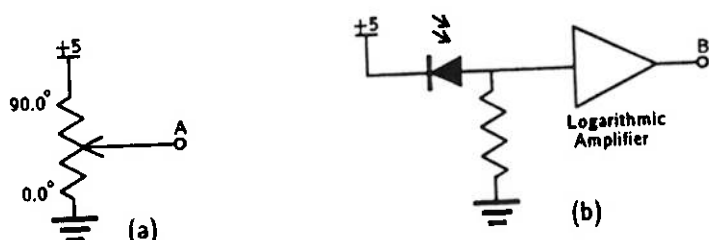


Figura 50 – Opções de Mapeamento de tensões em números

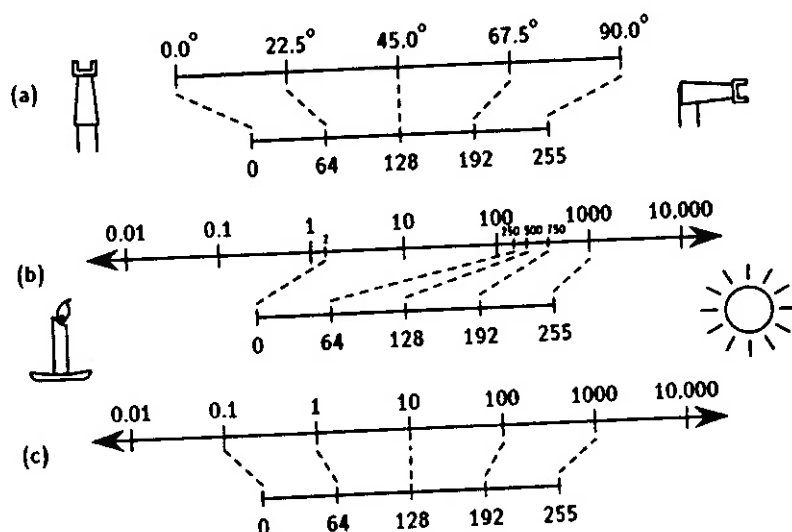


Figura 51 – Opções de Mapeamento de tensões em números

Para se entender melhor a utilização tanto de um como o outro pode-se recorrer à exemplos.

Supondo-se que o movimento de um braço de robô é restringido entre 0° e 90° . Neste caso, deseja-se saber a posição do braço com sensibilidade igual para todas as porções de seu escopo de movimento. Nestas circunstâncias, um mapeamento linear dos ângulos de articulação é apropriado, conforme é mostrado na figura 51 (a).

A situação de um foto-diodo é mais complicada. O nível de iluminação fornecido pela luz do sol é muitas ordens de grandeza maior que a fornecida por luz artificial.

Levando-se em consideração este fato, deve-se considerar que é desejado que o robô seja capaz de detectar variações de luz tanto em ambientes bem iluminados como em ambientes escuros. Desta forma, o gráfico da figura 13 (b) ilustra o problema que ocorre quando se tenta utilizar um mapeamento linear para o tratamento da saída de um foto-diodo.

Em uma escala arbitrária de unidade de iluminação, suponha-se que a iluminação em um ambiente iluminado típico varia de 10 à 1000 unidades, enquanto num ambiente escuro, a iluminação possui valores entre 10 e 0.1 unidades. Se forem escolhidos componentes para o circuito do sensor tais que os níveis de iluminação na faixa de 0.1 a 1000 sejam mapeados linearmente em valores A/D de 0 à 255, o robô terá uma boa sensibilidade em ambientes claros, conforme ilustrado na figura 51 (b). No entanto, qualquer nível de iluminação abaixo de 2 unidades é mapeado no valor A/D de 0. Sendo assim, o robô é praticamente incapaz de detectar variações de luminosidade em ambientes escuros.

Uma maneira de resolver este problema é utilizando-se o circuito mostrado na figura 50 (b). Neste circuito, um amplificador logarítmico produz uma tensão proporcional ao logaritmo da saída do foto-diodo. Este circuito possui o efeito de aumentar a sensibilidade à pequenas mudanças de intensidade luminosa quando o robô estiver em ambientes escuros e diminuir quando o mesmo se encontra em ambientes claros. Neste caso o robô é capaz de operar numa maior variedade de níveis de iluminação, conforme mostra a figura 51 (c).

No geral, a saída do sensor não é estritamente linear e nem logarítmica, devendo-se portanto determinar as condições em que o robô será utilizado para se obter uma boa resposta do sensor.

1.4.5.2 Sensores de Luz

Como dar “visão” ao robô, ou melhor, como dotar o robô da capacidade de orientação através de níveis de luz captados? A resposta à esta pergunta é tratada neste tópico, onde são estudados os principais componentes capazes de

tornar um robô apto à reconhecer mudanças de níveis de iluminação e ter um comportamento diante à este fenômeno. Estes componentes são chamados de sensores de luz. Além dos sensores de luz, muitas vezes se utiliza, em aplicações mais complexas (onde a imagem deve ser gravada ou transmitida remotamente, como no caso de robôs utilizados em missões exploração no espaço) câmaras de vídeo, onde deve-se destacar as câmaras de LCD por seu tamanho reduzido.

Os sensores de luz visível e infra-vermelho possuem as mais diversas complexidades. As foto-células estão entre os sensores mais simples de se interfacear com o microprocessador, e a interpretação da saída da foto-célula é straight-forward. As câmaras de vídeo, por outro lado, requerem um circuito especializado para tornar sua saída compatível com o microprocessador.

1.4.5.3 Os foto-resistores

Um foto-resistor (ou foto-célula) é fácil de interfacear com o microprocessador conforme já mencionado. A figura 52 mostra que somente um componente externo é requerido. Os foto-resistores são resistores variáveis (como os potenciômetros) onde a mudança da resistência é causada pela mudança no nível de iluminação incidente no componente.

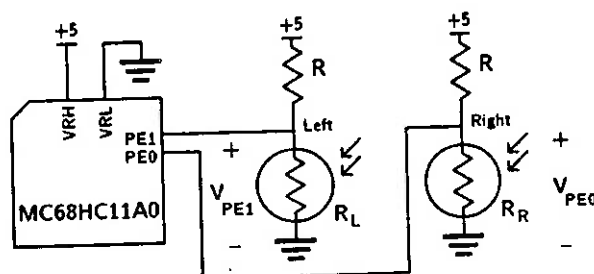


Figura 52 – Esquema de um Foto-Resistor

A facilidade de conectar um foto-resistor ao microprocessador pode ser notada na análise a ser feita abaixo.

Considerando um circuito para o foto-resistor da esquerda da figura 52, nota-se que há duas resistências, onde a resistência total R_t corresponde à soma das duas resistências:

$$R_t = R + R_I$$

De acordo com a Lei de Ohm, a corrente I , que atravessa o circuito é dada por:

$$I = V / R_t$$

Por causa do conversor A/D no microcontrolador possuir um potencial, alguma corrente pode fluir para o pino PE1. No entanto, por causa do MC68HC11 possuir uma alta impedância nas entradas, esta quantidade de corrente é desprezível quando comparada à correntes no restante do circuito. Neste caso, a conexão ao pino PE1 pode ser ignorada quando se analisa o divisor de voltagem. Assim, a tensão presente em PE1 é dada por:

$$V_{pe1} = I \cdot R_I$$

A resistência do foto-resistor cai à medida que o nível de luz aumenta. Isto significa que a voltagem em PE1 diminui. Substituindo por I , obtem-se:

$$V_{pe1} = (R_I / (R + R_I)) V$$

O conversor A/D de 8 bits no MC68HC11 mapeia a variação de tensão V_{pe1} na faixa de 0 à 255, conforme já mencionado. Embora o mapeamento provido pelo simples divisor de voltagem não seja logarítmico, como foi recomendado para sensores de luz, uma saída utilizável pode não obstante ser obtida.

Um bom compromisso entre a sensibilidade e o alcance é alcançado se a resistência R é ajustada para o mesmo valor da resistência presente no foto-resistor quando este é exposto ao nível de luz correspondente à metade da faixa de níveis de luz na qual o robô deve operar.

Tipicamente, os foto-resistores são feitos de sulfetos de cádmio (CdS) e são fabricados pela maioria dos grandes fabricantes de componentes eletrônicos, sendo portanto componentes fáceis de serem encontrados e apresentado um custo relativamente baixo.

1.4.5.4 Os foto-diodos

Os foto-diodos possuem uma grande sensibilidade, produzem um sinal linear sobre um largo espectro de níveis de luz, e respondem rapidamente à mudanças de iluminação. Estas características os torna úteis em sistemas de comunicação, na detecção de luz modulada, como por exemplo em controle remoto de aparelhos domésticos. A saída do foto-diodo, no entanto, requer uma amplificação antes a mesma possa ser utilizada pelo microprocessador.

1.4.5.5 Os foto-transistores

Os foto-transistores podem ser comparados a um interruptor baseado na luz incidente. Estes componentes possuem uma sensibilidade maior à luz do que os foto-resistores. Um foto-transistor é quase tão fácil de interfacear com o microprocessador quanto o foto-resistor. A figura 53 mostra uma configuração simples utilizando um foto-transistor.

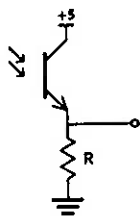


Figura 53 – Um circuito foto-transistor

1.4.5.6 Os detectores de proximidade infra-vermelho

Estes sensores permitem a detecção da presença de um objeto dentro do cone na direção para o qual está posicionado. Com estes sensores é possível apenas detectar se um objeto está presente ou não naquela direção, porém não a sua distância. Estes tipos de sensores normalmente irradiam larguras muito mais estreitas do que os sensores sonar rangefinders. Para se implementar em um robô a capacidade de acompanhar uma parede costuma-se utilizar dois detectores (um apontado diretamente para a parede e outro apontado 45º à frente) conforme mostra a figura 54.

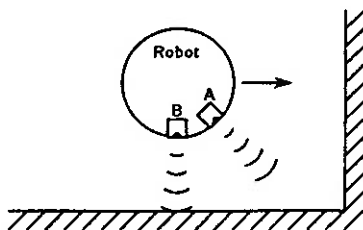


Figura 54 – Capacidade de detecção de obstáculos do robô

É também possível acompanhar uma parede utilizando-se somente um detector. Neste caso o robô deve apontá-lo para a frente quando algo é detectado e apontá-lo para a parede quando nada é detectado.

Estes detectores (chamados freqüentemente pela sigla IR) são insensíveis à comprimentos de ondas infravermelha muito longo detectados por sensores piro-elétricos.

Um par de emissor e detector infra-vermelho é mostrado na figura 55. O emissor é um LED que emite ondas em torno de 880 nm o detector pode ser um foto-diodo ou um foto-transistor.

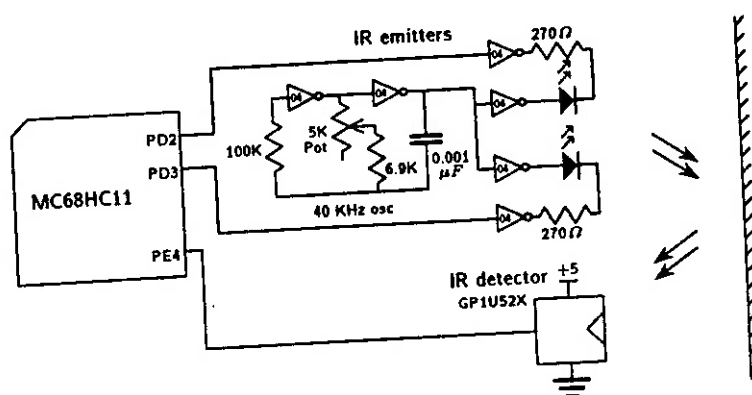


Figura 55 – Circuito de Interfaceamento entre o sensor de proximidade com o MC68HC11

A Sharp comercializa um pacote detector denominado GP1U52X que contém amplificadores, filtros, e um limitador integrados. Este detector responde à sinais modulados gerados por um LED próximo do infra-vermelho. Isto significa que o programa é responsável controlar a geração de um sinal padronizado pelo LED ao qual o detector irá responder. Um circuito simples que possibilita o interfaceamento entre o sensor de proximidade com o MC68HC11 é mostrado na figura 55 (somente um CI é necessário, o 74HC04).

O detector Sharp responde à pulsos na freqüência de 40Khz. Uma freqüência de 40 kHz significa que o é aceso e apagado em um período de 25 micro segundos. De acordo com a especificação do componente este sinal deve ser modulado à uma baixa freqüência. O LED pode permanecer aceso por 600 micro segundos e apagado pelo mesmo período de tempo conforme mostra o esquema da figura 56.

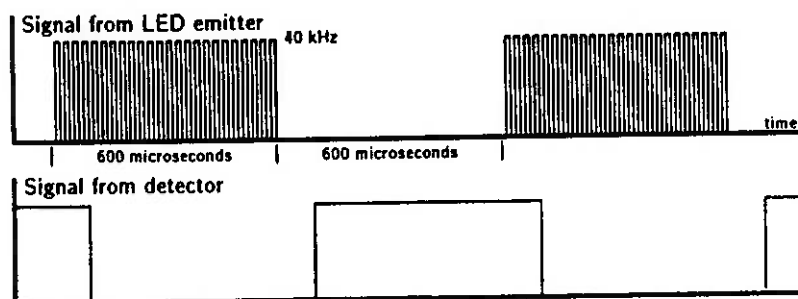


Figura 56 – Esquema de Ilustração do tempo do LED

A parte do oscilador do emissor infra-vermelho na figura 57 é implementado utilizando-se 2 inversores, um capacitor, um resistor e um potenciômetro. Este oscilador de 40 kHz deve funcionar constantemente enquanto o robô permanecer em operação, mas o LED pisca somente quando os pinos PD2 e PD3 da porta D estiverem estados. No entanto, o programa é responsável por ajustar os pulsos de 600 micro segundos. O detector Sharp emite um sinal low quando o mesmo detecta energia refletida e sinal high quando o mesmo não detecta nada. A figura 58 mostra o sinal emitido para o circuito pelo detector Sharp quando um objeto reflete a energia do emissor para o detector. A saída do detector Sharp é um sinal digital, 0 ou 5V. Conseqüentemente o pino PE4 do MC68HC11 pode ser utilizado em modo de entrada digital normal, ou seja, a capacidade de conversão A/D não é necessária.

O circuito que controla o emissor é bastante estranho. É incomum Ter as saídas dos inversores conectadas juntas. Normalmente uma porta AND deveria ser utilizado para permitir que sinais PD2 e PD3 modulem a saída do oscilador. A escolha do circuito mostrado na figura é devida a duas razões: o mesmo permite a

mesma funcionalidade de uma porta AND e não requer a adição de um outro chip no circuito.

O posicionamento geométrico dos sensores deve ser o seguinte: o detector montado no centro da parte frontal do robô e os emissores na parte direita e esquerda do detector.

1.4.5.7 Sensores Piro-elétricos

Um dos mais sensores mais úteis para dotar um robô da capacidade de interagir com humanos é um sensor piro-elétrico. Um sensor piro-elétrico é um componente essencial para certos tipos de alarmes de detecção de movimento. A saída de um sensor piro-elétrico muda quando uma pequena mudança na temperatura do sensor ocorre no tempo. Logicamente este sensor não será utilizado no Micromouse, mas por ser muito interessante, resolveu-se apresentá-lo, visto que este trabalho poderá ser utilizado no futuro como referência para construção de outros tipos de robôs.

O elemento ativo em tais sensores é tipicamente um cristal lithium tantale. A mudança é induzida quando o cristal é aquecido. Sensores piro-elétricos baratos são otimizados para detectar radiações na faixa de 8-10 μm (o espectro de radiações infra-vermelho emitida por humanos) e não requer resfriamentos para produzirem um sinal utilizável. Isto torna-os satisfatórios para uso em sensores de movimento e alarmes de segurança.

A figura 59 mostra um exemplo de sensor duplo com amplificador integrado (marca Eltec e modelo 442-3). O pacote é mostrado na embalagem com uma janela na esquerda. À direita é mostrada uma construção de papel com uma lente fresnel na distância focal da janela.

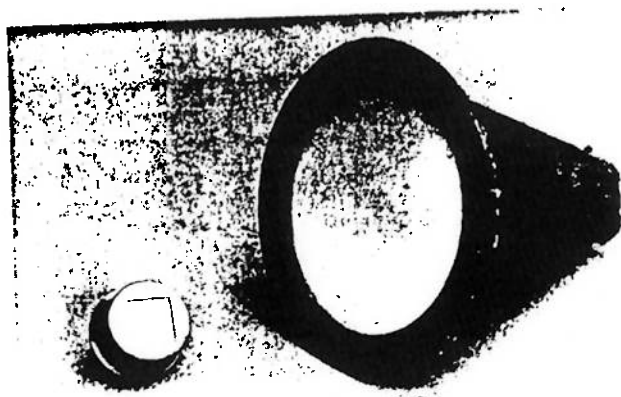


Figura 59 – Exemplo de um Sensor Duplo com amplificador integrado

A figura 60 mostra a interface entre o MC68HC11 e o sensor piro-elétrico. O sensor Eltec 442-3 mostrado incorpora dois cristais de lithium tantale. A diferença de voltagem amplificada através dos cristais é a saída do sensor. No caso dos dois cristais estarem na mesma temperatura, o sensor produz um sinal de saída que permanece em steady-state em aproximadamente 2.5 V (considerando uma fonte de tensão de 5V). Se uma pessoa caminhar na frente do sensor movendo-se da esquerda para a direita, o sinal irá aumentar aproximadamente 1 V e logo após retornará ao steady-state. Se uma pessoa caminhar da direita para a esquerda na frente do sensor, o contrário irá ocorrer: a tensão diminuirá aproximadamente 1 V e depois retornará ao steady-state.

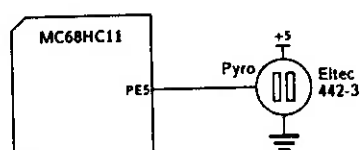


Figura 60 – Interface entre o MC68HC11 e o sensor piro-elétrico

A figura 61 ilustra a variação no tempo do sinal de saída do sensor Eltec.

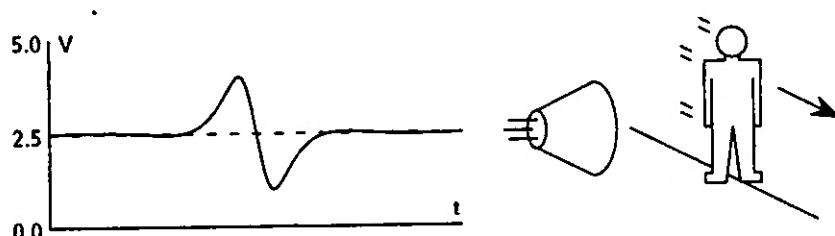


Figura 61 – Variação no tempo do sinal de saída do sensor Eltec

Aproveitando-se a porta A/D do MC68HC11, pode-se implementar a interface com o mínimo de componentes possível.

1.4.5.8 Câmeras

A tecnologia em vídeo câmeras continua a torná-las cada vez mais compactas e mais baratas atualmente. Ou seja, cada vez mais se tornam acessíveis à robótica experimental. Mesmo não sendo utilizadas no Micromouse, são apresentadas neste trabalho pelos motivos já descritos no item sensores Piro-elétricos. Pequenas câmeras de sistemas de segurança possuem uma boa qualidade aliada ao preço, como na câmera Chinon mostrada na figura 62.

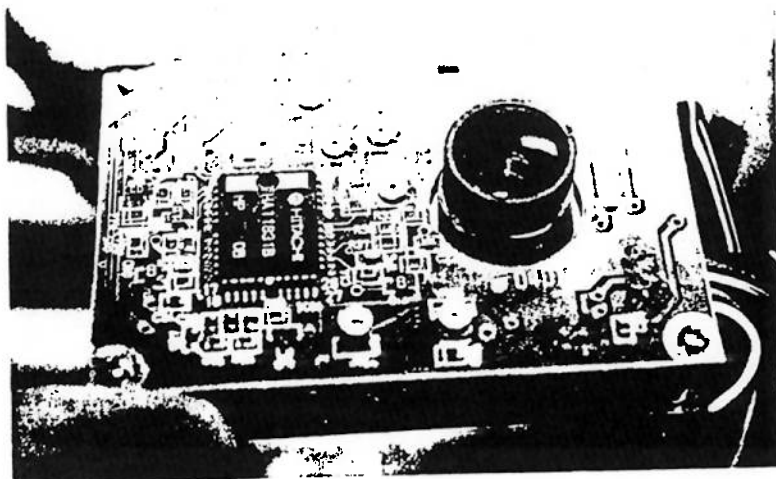


Figura 62 – Fotografia de uma vídeo câmera Chinon

Implementar a visão computacional com MC68HC11 provavelmente não é possível, para isto seria necessário um microprocessador mais poderoso e um tratamento complexo dos sinais da câmera. A câmera é muito utilizada para transmissão de sinais remotamente por um robô.

1.4.5.9 Sensores de Posição e Orientação

Sem dúvida alguma, é extremamente importante para um robô o conhecimento de sua localização e posicionamento em relação ao ambiente em que se encontra, ou quanto o mesmo se deslocou, com qual velocidade e em que direção de uma posição conhecida. Estas informações de posicionamento e orientação se tornam mais relevantes ainda quando se trata de robôs autômatos, como é o caso do Micromouse, pois neste caso não se pode contar com a capacidade de percepção e o bom senso humano e sim com a parametrização e o tratamento de informações obtidas pelos sensores responsáveis. Neste tópico são apresentados os sensores que permitem a obtenção de tais tipos de informações.

1.4.5.10 Shaft Encoders

Um Shaft Encoder é um sensor que mede a posição ou a taxa de rotação de um eixo. Tipicamente, um Shaft Encoder é montado na saída eixo de um motor ou no eixo. O sinal obtido deste sensor pode ser um código que corresponde à uma orientação particular do eixo (os Shaft Encoder são chamados de encoders absolutos) ou pode ser um trem de pulsos. Os Shaft Encoder que produzem um trem de pulsos são chamados encoders incrementais. Cada vez que o eixo gira de um pequeno valor, o estado de sua saída muda de high para low e vice-versa. Portanto, a taxa destes pulsos corresponde à taxa de rotação à qual o eixo gira.

Um potenciômetro pode ser utilizado como um encoder de posição absoluto. Cada posição do eixo produz um único valor de resistência no mesmo. Este tipo de encoder é utilizado para se determinar o posicionamento de braços de robô.

Uma das maneiras do robô obter um feedback de quanto suas rodas giraram ou do sincronismo de velocidade das duas rodas é conectando um encoder em cada eixo do motor. Os Shaft Encoders podem ser comprados como unidades prontas ou podem ser construídos como uma parte do motor. Alguns Shaft Encoder incrementais contém um disco com fendas. O disco é fixado no eixo do motor e gira com o mesmo. Um LED é colocado em um dos lados do disco e um foto-transistor no outro. Conforme o disco gira, a luz que passa pelo disco é interrompida através da movimentação das cavidades, e um sinal em forma de trem de pulsos é gerado como saída do foto-transistor. Esta combinação de LED com foto-detector montados de cada lado de um disco com fendas é chamado de foto-interruptor.

Outra implementação de um shaft encoder é um foto-refletor, no qual uma roda listrada é iluminada por um LED, refletindo a luz incidente para um foto-transistor. A roda contendo listras pretas e brancas alternadamente refletirá ou não a luz para o foto-transistor, produzindo um trem de pulsos similar.

Pelo motivo da energia infravermelha emitida pelo LED poder penetrar até uma certa espessura, deve-se colocar pelo menos 2 pedaços de papel branco atrás

dos discos listrados para tornar os segmentos brancos adequadamente opacos e garantir que a luz será refletida para o detector.

A figura 63 ilustra alguns padrões de encoders de 32, 48 e 64 segmentos.

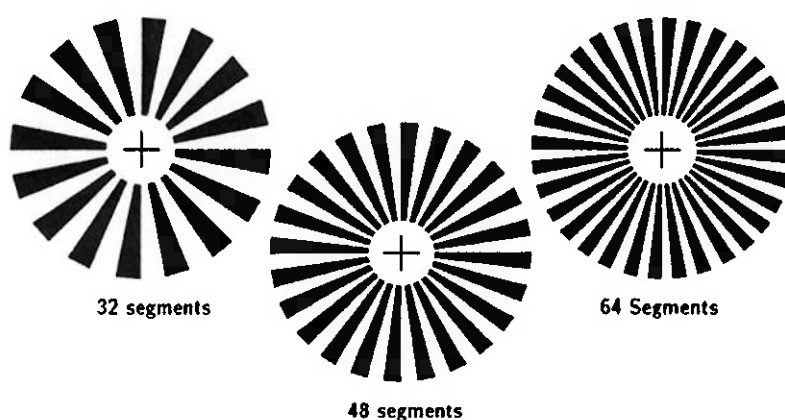


Figura 63 – Padrões de 32, 48 e 64 segmentos de encoder

1.4.5.11 Gyros

Um outro sensor útil para monitoração de como o robô se move é um rate gyroscope. Os giroscópios mecânicos utilizam o princípio da conservação do momento angular para manter um ou mais eixos internos apontados para a mesma direção. Portanto, um giroscópio adicionado em um robô torna possível determinar o quão rápido o robô está rotacionando ou quanto o mesmo rotacionou, relativamente à um eixo fixo de coordenadas.

Um rate gyro produz um sinal proporcional à taxa de rotação do eixo perpendicular ao eixo de giro, mas não fornece informação de orientação absoluta.

Um exemplo deste sensor é o fabricado pela Futaba, que modifica o sinal de largura modulada fornecido pelo MC68HC11 e o modifica (aumentando ou diminuindo a largura do pulso) baseado na taxa de rotação do giroscópio.

1.4.5.12 Opções em circuitos com Sensores Infra-vermelho

Alguns circuitos com sensores infra-vermelho podem ser adquiridos na RobotStore e na Lynxmotion, tais como os listados a seguir.

◆ Modulated I.R. Detector

Este circuito permite a detecção de objetos sem o contato físico através de emissão de luz infravermelha modulada e recepção do reflexo. O circuito reconhece seu próprio sinal e rejeita todos os outros, até mesmo luz na mesma frequência. Sua alimentação é de 5V, saída padrão TTL. Podem detectar objetos a uma distancia de muitos centímetros (dependendo da superfície). Seu preço na RobotStore é de US\$ 20,00.



◆ IRPD Kit

Esta é uma outra opção para detecção de obstáculos sem a necessidade de toque, detectando obstáculos posicionados à sua frente e aos seus lados direito e esquerdo. Este circuito utiliza um Sharp GP1U581 IR sensor com 2 IR LEDs para detecção dos obstáculos. O módulo Sharp é montado em num filtro para eliminar

ruídos associados a luz do sol ou à luz de lâmpadas comuns. Os LEDs são modulados por um oscilador ajustável. A sensibilidade do sensor é controlada alterando a frequência do oscilador. O microcontrolador pulsa alternadamente os LEDs e verifica o reflexo. Este circuito requer 3 vias de I/O (1 saída e 2 entradas) para um microcontrolador apropriado. Suas dimensões são 2.3" x 1.5" e a corrente de alimentação é de 35 mA.

Seu preço na Lynxmotion é US\$30,00

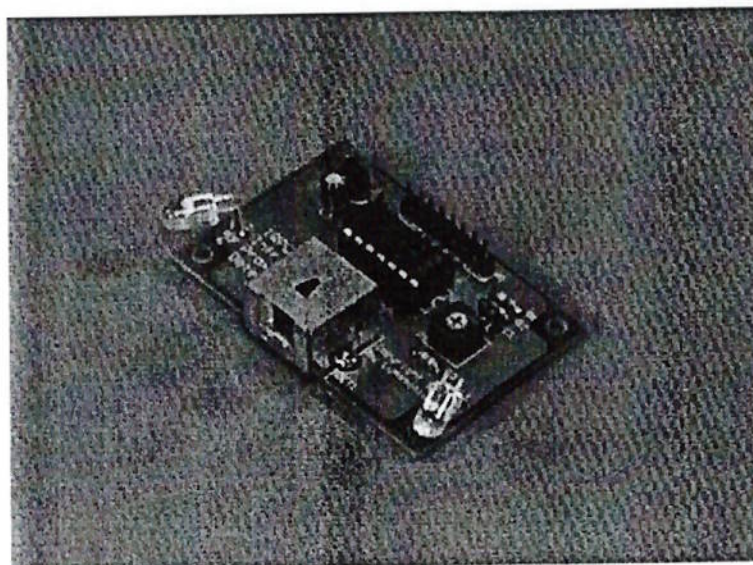


Figura 64 – Kit de Infra-Vermelho

◆ Tracker Kit

Este circuito permite que um robô realize seu movimento de acordo com uma linha, ou seja, com este circuito o robô pode seguir uma linha preta e um fundo branco e vice-versa. A teoria envolvida neste circuito é muito simples. Um LED é pareado com um detector de infra-vermelho. O LED é acionado e direcionado para a superfície onde a linha deverá ser detectada. O detector capta o sinal e o envia à um circuito condicionado. O sinal limpo é então levado ao microcontrolador que comanda os motores. Quando o sensor do centro detecta

a linha, o robô segue para frente. Se o sensor externo detecta a linha, o robô é guiado para a direção oposta.

O tamanho deste circuito é 2.3" x 1.5". Este circuito utiliza 3 vias de saída e uma corrente de 65 mA. Seu preço na Lynxmotion é de U\$20,00

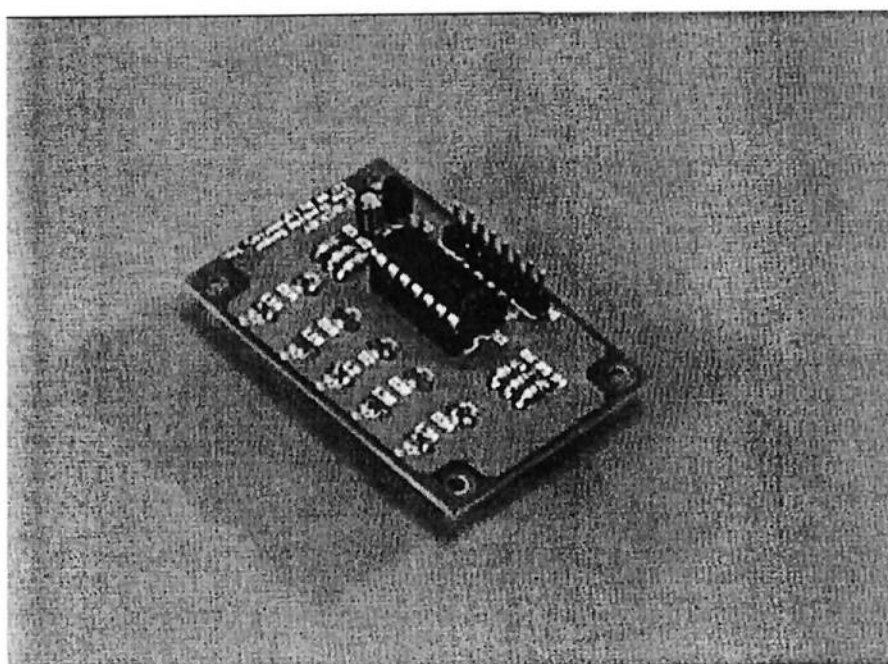


Figura 65 – Kit Tracker Line

1.4.5.13 Sonar

Enquanto um detector próximo do infra-vermelho permite que se meça somente se um objeto está ou não próximo ao robô, um transdutor sonar pode informar a distância porque é possível mensurar o tempo de início do sinal e do retorno do seu eco. Mensurando este tempo e sabendo a velocidade do som no ar, é possível calcular a distância de um objeto.

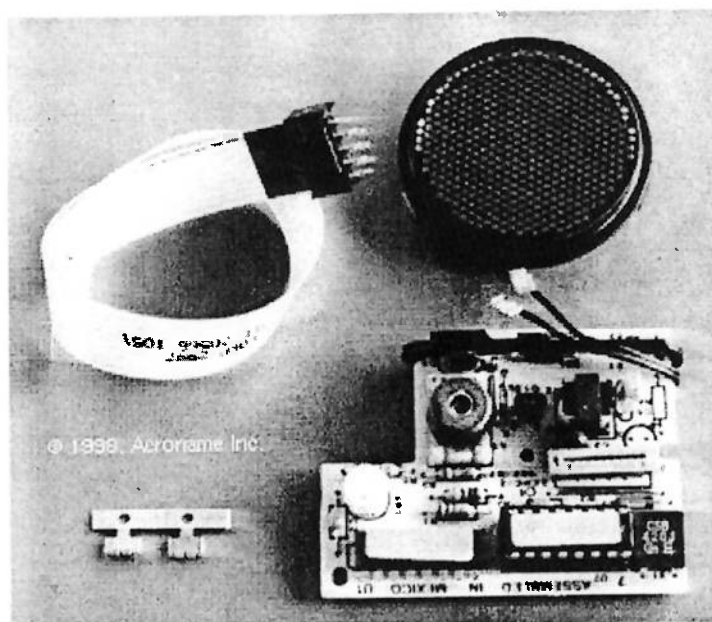


Figura 66 – Sonar Polaroid RangeFinding System

A figura 66 mostra um sonar Polaroid sonar rangefinding system, o qual é um dos mais sensores mais comuns utilizados em robôs móveis. Estes rangefinders foram desenvolvidos como mecanismos de auto-foco para câmeras, mas as unidades podem ser compradas separadamente.

A placa driver possui um protocolo muito simples para interfaceamento com o microprocessador. A figura 67 mostra o esquema do interfaceamento deste componente com o MC68HC11.

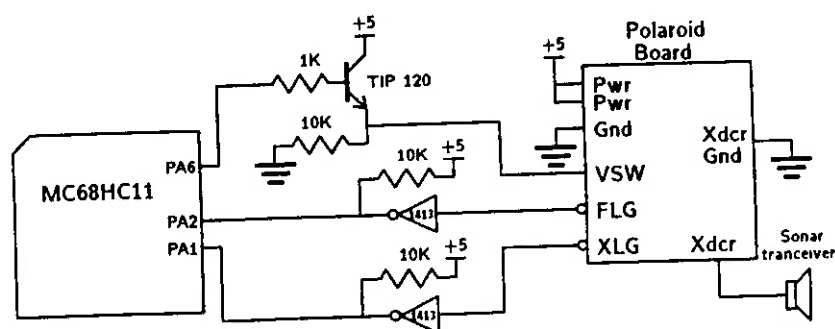


Figura 67 – Interface do Sonar Polaroid com o MC68HC11

A placa driver possui três sinais digitais de controle que interagem com o microprocessador. Um, o VSW, é o sinal que o driver board recebe do MC68HC11 quando é para ser enviado o pulso de comando para o transducer. Há um tempo de latência entre o momento que o transducer é comandado para enviar o sinal e quando o sinal realmente se inicia. Neste momento um sinal de retorno é enviado ao MC68HC11, XLG, que indica o início do sinal. Neste instante o MC68HC11 pode iniciar a temporização. O circuito analógico na placa driver Polaroid se encarrega de criar um pulso de 300 V para ser aplicado através do transducer quando o sinal é transmitido, coloca o mesmo em modo de recebimento após o envio do sinal, filtra, amplifica e detecta o tempo do retorno do eco. O retorno do sinal é avisado ao MC68HC11 pelo pino FLG. Neste instante, o MC68HC11 pode cessar a contagem do tempo e calcular a distância coberta no tempo calculado.

O transistor e buffers mostrados são necessários para interfacear os sinais VSW, XLG e FLG com o MC68HC11. De forma a facilitar a mensuração do tempo do sinal sonoro, e para possibilitar a inicialização dos mesmos em períodos dados, a capacidade de contagem de tempo da porta A do MC68HC11 é utilizada. Os pinos PA1 e PA2 são utilizados para a entrada dos sinais XLG e FLG no microprocessador, pois os mesmos possuem registradores de captura de entrada que podem inicializar interrupções.. O pino PA6 é usado como saída para o sinal VSW para o placa POLAROID, pois o mesmo pode agir como um registrador de saída comparador, setando para nível high quando o contador de tempo interno do MC68HC11 tiver um valor igual ao armazenado no registrador de saída comparador.

O software protocolo pelo qual o programador é responsável deve acerta o VSW. Além disso, o programador deve ajustar e inicializar o hardware para o contador de tempo, quando o flag XLG chega indicando que o sinal deve ser iniciado, o registrador de captura de entrada do PA1 captura a contagem de tempo. Da mesma maneira, quando o flag FLG chegam o registrador de captura de entrada

do PA2 deve capturar a contagem de tempo novamente. O programador pode calcular então a diferença entre os dois tempos capturados e multiplicá-la pela velocidade do som e dividir a mesma por 2. Este valor é a distância do objeto detectado.

O Sonar ranging é muito útil para o robô detectar obstáculos, para caminhar num corredor, para localização e construção de mapas, portanto é muito útil para a localização do robô num labirinto. Por mais sofisticada que seja a aplicação desta técnica, o processo de cálculo da distância é o mesmo.

A utilização do Sonar ranging oferece a vantagem sobre o IR detector de possibilitar o cálculo da distância do objeto detectado além da simples detecção do mesmo.

O Kit Sonar da Polaroid pode ser encontrado na RobotStore.



1.4.6 Motores e Redutores

Alguns anos atrás, o computador era o maior e o mais caro componente de um robô, enquanto os motores e as baterias consumiam somente pequenas porcentagens do orçamento total. Atualmente, enquanto que os motores e as baterias mudaram muito pouco, os computadores evoluíram de tal forma que este relacionamento se aproximou. Os componentes micro-eletrônicos encolheram em tamanho e preço de forma tão drástica, que hoje eles são os componentes mais baratos no projeto de um robô.

Os motores elétricos convertem a energia elétrica em energia mecânica. Existem motores de correntes contínua (DC) e motores de corrente alternada (AC). Os motores AC são tipicamente utilizados em grandes aplicações ou máquinas (tais como máquinas lavadoras, secadoras, etc) e são alimentados por uma fonte de potência AC.

Para o projeto do robô do Micromouses Contest, será utilizado um motor de corrente contínua DC. Esses motores são normalmente utilizados em aplicações menores e serão adequados para o projeto do nosso robô. Eles aparecem em uma grande variedade de formatos e tamanhos: permanent magnet iron core, permanent magnet ironless rotor, permanent magnet brushless, wound field series connected, wound field shunt connected, wound field compound connected, variable reluctance stepper, permanent magnet stepper, e hybrid stepper motors.

Para os requerimentos do robô, os motores DC rodam geralmente em alta velocidade e baixo torque. De forma a mudar essas características, o motor não deve ter redução. Assim, ao conectar o eixo do motor a uma caixa de redução, pode-se observar que a rotação de saída da caixa de redução será muito menor e com um torque significativamente maior. A caixa de redução pode ser projetada

separadamente, ou pode-se comprar um motor DC já acoplado a uma caixa de redução.

Estes motores compactos são denominados de DC gearhead motors e serão muito úteis no projeto de pequenos robôs. Eles também podem ser encontrados com encoders de posição conectados integralmente. A figura 68 ilustra dois motores DC convencionais.

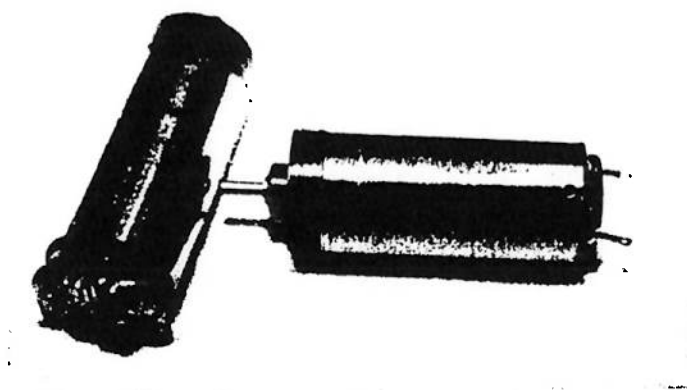


Figura 68 – Dois motores DC convencionais

A grande maioria dos motores DC tem dois terminais elétricos. Ao aplicar uma tensão entre esses dois terminais, o motor iniciará uma rotação em uma determinada direção, enquanto que ao aplicar uma tensão de polaridade reversa, o motor irá girar na outra direção. A polaridade da tensão irá determinar a direção do motor, enquanto que a amplitude da tensão determina a velocidade do motor.

No entanto, alguns motores DC, tais como motores de passo, tem mais de dois terminais, podendo atingir de seis a oito terminais. Os sinais são aplicados a estes terminais, que energizam diferentes enrolamentos dentro do motor seqüencialmente. O rotor é atraído por cada parte destes terminais de forma contínua. Assim, o timing destes sinais determina a velocidade de rotação do

motor, a fase do motor determina a direção da rotação e o número de comandos determina a posição do motor.

Outro tipo de motor DC com mais de dois terminais elétricos é o servo motor. Embora o termo servo motor seja utilizado em uma série de contextos, este se refere aos três enrolamentos do motor DC que são normalmente utilizados para controle de superfície em modelos aéreos ou em motores de carros controlados por rádio. Este tipo de construção incorpora um motor DC, uma caixa de redução, um potenciômetro para retorno da posição e um circuito integrado para controle da posição. Dos três enrolamentos presentes no servo motor, um deles é utilizado para potência, um outro é para terra, e o outro utilizado para entrada de sinais de pulso que determinam a posição que o motor deve assumir, ou seja, o circuito elétrico controla a rotação do motor correspondente a posição desejada. Caso o eixo do servo motor for interrompido e girado em sentido contrário por forças externas, o circuito elétrico irá ler o ângulo do eixo do motor fornecido pelo potenciômetro, e irá perceber que o eixo do motor não está mais na posição desejada e irá, conseqüentemente, aumentar a corrente no motor. Isto fará com que o torque do motor seja aumentado, superando o torque aplicado por forças externas até o momento que o eixo do motor retornar a posição desejada.

Os motores DC são caracterizados também por duas configurações diferentes: motores com escova (brush motors) e motores sem escova (brushless motors). Estas designações se referem à maneira de comutação utilizada que converte a corrente direta da bateria em corrente alternada necessária para gerar a ação do motor. Se a corrente DC for comutada mecanicamente com escovas, os segmentos do comutador no final do enrolamento de rotação do rotor se deslizam fisicamente contra as escovas que são conectadas aos terminais do motor. Caso a corrente DC for convertida em corrente AC no rotor eletronicamente, com sensores de posição e um microcontrolador, não são necessárias as escovas. Os motores com escova são os motores mais comumente utilizados, além de serem mais baratos. Por outro lado, os motores sem escova tem a vantagem de ter um

menor atrito, uma maior vida de duração e um controle mais acurado, além de produzirem uma menor interferência de rádio. Sua principal desvantagem se refere ao fato deles necessitarem de um controle mais rígido de forma a realizar a comutação eletronicamente.

Além dos motores DC e AC eletromagnéticos, existem alguns outros tipos de motores que não são eletromagnéticos. Os motores conhecidos como Piezoelétrico ultrassônico, muito utilizados em algumas câmeras japonesas, se baseiam no princípio da flexão mecânica de uma cerâmica piezoeétrica, usando um acoplamento de fricção para o rotor. Os japoneses também utilizam esses motores em mecanismos de carregamento de papéis em copiadoras, e em versões pequenas de relógios de pulsos com alarmes vibratórios.

1.4.6.1 Funcionamento dos Motores DC

O entendimento do mecanismo de geração de torque é importante tanto para o perfeito selecionamento do motor, quanto para o projeto do controle do motor pelo microprocessador.

Forças eletromagnéticas surgem devido a condução de corrente nos campos magnéticos, conforme mostrado na figura 69

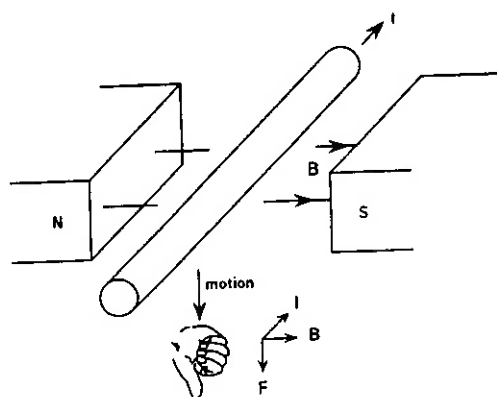


Figura 69 – Representação da direção da força resultante, F.

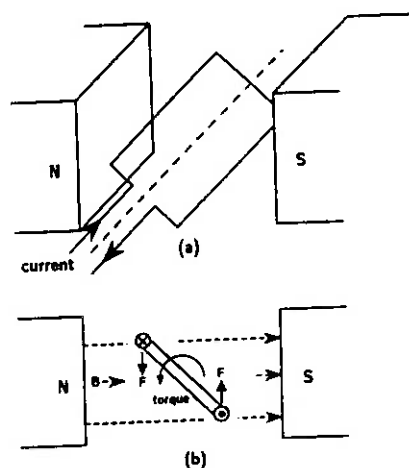


Figura 70 – Esquema de um Laço de Enrolamentos

As linhas de fluxo fluem do pólo norte magnético ao pólo sul magnético. A força F , criada é perpendicular tanto à direção da corrente, I , quanto à direção do campo magnético B . A direção de F pode ser determinada pela regra da mão direita, conforme pode-se observar pela figura 27. Para um movimento de ação rotativa, é necessário um laço de enrolamentos. A figura 70 (a) mostra um laço de enrolamentos montados sobre um eixo de rotação e situado no campo magnético. A figura 70 (b) mostra as forças resultantes. Devido ao fato das forças serem criadas numa direção perpendicular tanto à direção da corrente, quanto à direção do campo magnético, a corrente ao entrar no laço gera uma força com direção para cima, enquanto que quando a corrente estiver saindo do laço, ela gera uma força com direção para baixo. Esse binário de forças geradas é responsável pela geração do torque do motor. Este laço irá rotacionar até o momento que não existir mais forças atuantes. Este ponto seria alcançado quando a direção do laço fosse vertical e ambas as forças atuantes nas áreas de cima e de baixo atuarem no centro do círculo de rotação, resultando em torque nulo.

A ação contínua rotativa pode ser atingida revertendo a direção da corrente quando este ponto estiver próximo de ser atingido. O processo de fornecer esta corrente alternada de uma bateria DC é chamado de comutação. A comutação mecânica necessita de uma série de escovas que permitem que o final do laço do

enrolamento gire através dos contatos da bateria. Essa configuração do processo de comutação é mostrada em detalhes na figura 71.

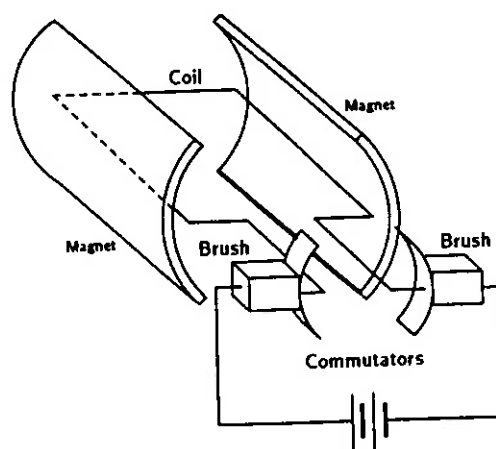


Figura 71 - Processo de Comutação no motor DC

1.4.6.2 Selecionando um Motor DC

O processo de seleção de um motor DC para o robô do micromouse Contest envolve tanto um entendimento das cargas que o robô irá impulsionar quanto da performance que o motor pode fornecer, conforme especificação do catálogo do fabricante. Alguns catálogos disponibilizam somente as características pertinentes de forma gráfica, enquanto que outros especificam todas as características de forma tabular. Qualquer que seja o catálogo, deve-se sempre ter um entendimento claro da linguagem do motor e de todas as unidades especificadas.

1.4.6.3 Torque, Velocidade, Potência e Energia

Torque é força angular que o motor pode fornecer a partir de uma determinada distância do eixo. Por exemplo, 5 kgf.cm significa que, numa distância de 1 centímetro (1 cm) do eixo do motor, o motor é forte o suficiente para fornecer um “peso” de 5 kgf, conforme mostra a figura 73. Em unidades métricas, os torques dos motores são geralmente especificados em Newtons-metros (Nm). Alternativamente, as unidades métricas podem ser especificadas em grama-força-centímetros (gf-cm), onde uma grama-força é a força que a gravidade exerce em um grama de massa.

A potência é a taxa ao qual a energia está sendo utilizada. A relação entre potência e energia pode ser expressada como:

$$1\text{Watt} = 1 \frac{\text{Joule}}{\text{seg}}$$

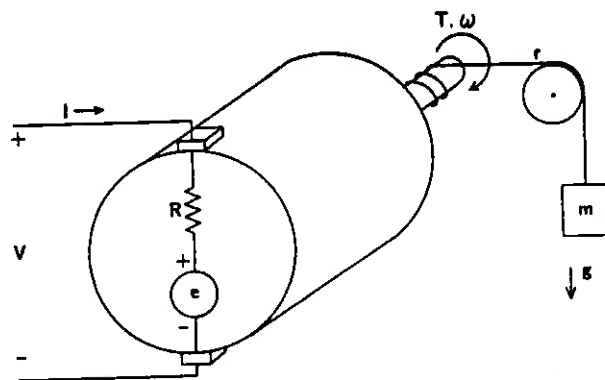


Figura 72 – Mecanismo de Conversão de Energia Elétrica em Mecânica

A figura 72 ilustra o mecanismo de conversão de energia elétrica em mecânica de um motor DC. A potência elétrica fornecida ao motor, P_e , é igual a tensão V , aplicada nos terminais do motor, multiplicada pela corrente, I , que percorrer o motor. A corrente, medida em unidades de amperes, é a quantidade de cargas

coulombs, que passam por uma corte longitudinal de uma seção em um segundo, conforme ilustra a relação abaixo:

$$P_e = V \cdot I$$

$$1 \text{ Ampere} = 1 \frac{\text{Coulomb}}{\text{seg}}$$

$$1 \text{ Watt} = 1 \text{ Volt} \cdot \text{Ampere} = 1 \text{ Volt} \cdot \frac{\text{Coulomb}}{\text{seg}}$$

A potência mecânica, P_m , é igual ao torque, T , multiplicado pela velocidade angular, ω , considerando o torque medido em Newton-metros e a velocidade angular em radianos por segundo.

$$P_m = T \cdot \omega$$

$$\frac{2\pi \text{ rad}}{\text{seg}} = 1 \frac{\text{rev}}{\text{seg}}$$

$$1 \text{ Watt} = 1 \frac{\text{Nm}}{\text{seg}}$$

1.4.6.4 O Modelo do Motor

Estas relações, que descrevem a conversão de energia elétrica em mecânica podem ser observadas claramente por um modelo equivalente de um circuito de um motor DC, conforme mostra a figura 73. A potência mecânica de saída (devido a perdas de atrito, aquecimento no enrolamento, etc) será uma parte da potência elétrica de entrada. Esta porcentagem é definida como a eficiência, η , aonde:

$$P_m = \eta \cdot P_e$$

O enrolamento do rotor, conforme visto na figura 70 é essencialmente um indutor com uma resistência R . Quando o rotor estiver girando, o deslizamento dos segmentos do comutador nas escovas cria uma corrente alternada nas bobinas da armadura. Assim, um diferencial de corrente, di/dt , através do indutor, induz uma tensão em volta dele, conforme mostra a relação abaixo:

$$v = L \frac{di}{dt}$$

, onde L é a constante de proporcionalidade conhecida como indutância. Conforme o motor gira, esta tensão é induzida e se opõe a tensão aplicada. Quanto mais rápido o motor girar, a corrente muda de direção mais constantemente, e mais alta é a tensão induzida. Como ela se opõe à tensão aplicada, conforme ela aumenta, ela tende a limitar a corrente que passa pela resistência, R . Assim, conforme a corrente diminui, menos fluxo é criado em volta do condutor e o torque, conseqüentemente, diminui. Portanto, conforme a velocidade aumenta, o torque diminui.

O motor pode ser modelado pela tensão induzida, denominada e (conhecida como força eletromotriz) e a resistência da bobina, R . Assim, a tensão aplicada pode ser relacionada à força eletromotriz e à corrente, pela relação abaixo:

$$V = I.R + e$$

Note que, quando o motor não estiver girando, e é igual a zero (0) e a corrente que passa pelo motor é igual a tensão aplicada dividida pela resistência, R . Esta corrente é a corrente necessária para iniciar o motor da velocidade zero e é conhecida como corrente inicial, I_s :

$$I_s = \frac{V}{R}$$

Assim, quando o rotor estiver girando, e aumenta proporcionalmente à velocidade da armadura:

$$e = Ke.\omega$$

, aonde Ke é a constante fem. A tensão aplicada é então relacionada à corrente e à velocidade da armadura, conforme a relação:

$$V = I.R + Ke.\omega$$

O torque que o motor produz depende do campo magnético em volta do condutor, que é controlado somente pela corrente. Assim, o torque aumenta linearmente com a corrente conforme a constante de proporcionalidade, kt, conhecida como constante de torque.

$$T = Kt.I$$

Assim, substituindo a corrente I na equação obtida, tem-se que :

$$V = \frac{T.R}{Kt} + Ke.\omega$$

No entanto, tem-se que Kt é exatamente igual à Ke. Isto pode ser provado pelo fato que a potência mecânica de saída é igual à potência elétrica de entrada, subtraída das perdas, $I^2.R$, devido ao aquecimento no resistor, conforme ilustra a relação abaixo:

$$P_m = P_e - I^2.R$$

$$T.\omega = V.I - I^2.R$$

Substituindo T e V, tem-se que:

$$K_t I \omega = (IR + K_e \omega) I - I^2 R$$

o que fornece que:

$$K_t = K_e = K$$

Assim, a tensão aplicada é então relacionada ao torque e à velocidade pela constante k , conforme mostra a relação abaixo:

$$V = \frac{T R}{k} + k \omega$$

o que nos fornece uma relação linear entre a velocidade e o torque, conforme mostra a relação abaixo:

$$\omega = -\frac{R}{k^2} T + \frac{V}{k}$$

Estas relações serão mais claras quando forem analisadas as curvas de performance do motor.

1.4.6.5 Curvas de Velocidade-Torque de Motores DC

As características de velocidade e torque de um motor DC dependem de uma série de parâmetros que variam com a geometria do motor, com os materiais envolvidos, com o número de bobinas, e com a tensão com a qual o motor é

controlado. Tipicamente, cada fabricante fornece uma data sheet mostrando as características pertinentes. Elas são geralmente ilustradas num gráfico de velocidade-torque para uma determinada tensão aplicada. Eficiência, corrente, potência de saída são geralmente plotadas com a velocidade num eixo vertical x torque no eixo horizontal, conforme mostra a figura 73.

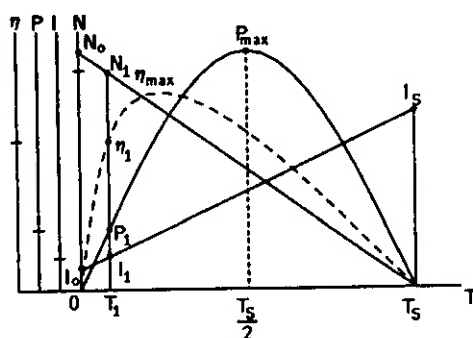


Figura 73 – Curva de Velocidade - Torque

Pode-se observar pela figura 73 que a curva de velocidade-torque é linear, e tem uma dependência no eixo y em relação à tensão aplicada.

Também, a corrente aumenta linearmente com o torque e é independente da tensão aplicada, conforme mostrado anteriormente. A curva de potência tem uma quadrática negativa, que pode ser entendida pela seguinte relação:

$$P_m = T \cdot \omega$$

, que substituindo na equação obtida no item anterior, tem-se que:

$$P_m = -\frac{R}{k^2} \cdot (T)^2 + \frac{V}{k} T$$

que mostra a dependência quadrática negativa entre potência e torque.

Existem alguns pontos interessantes a serem checados num data sheet de forma a selecionar o motor mais apropriado para determinada aplicação. A velocidade “de carregamento nulo”, denominada como N_0 na figura 73, é a velocidade, para uma dada tensão, com a qual o torque é igual a zero. Desta forma, o valor da velocidade angular ω para $T=0$ é:

$$\omega_{\max} = \frac{V}{k}$$

A corrente para esta condição de carregamento nulo, I_0 , é denominada corrente de carregamento nulo, e é necessária para sobrepor o atrito do motor.

Por outro lado, o torque fornecido pelo motor, quando este está submetido a uma carga máxima, e que não o deixa mais rodar é conhecido como o Stall Torque, T_s . A corrente nesta condição, I_s , é a stall current. Desde que o motor não se move nessa situação, a força eletromotriz, e , é igual a zero, e a corrente máxima, I_s , é a tensão aplicada dividida pela resistência do enrolamento, conforme mencionado anteriormente. Sendo o torque proporcional à corrente, o torque máximo pode ser dado por:

$$T_s = \frac{kV}{R}$$

Para qualquer ponto de operação de torque e velocidade, a potência mecânica de saída é o produto dos dois. O torque para a máxima potência pode ser

determinado pela derivação da potência em relação ao torque, conforme mostram as equações abaixo:

$$\frac{dP_m}{dT} = 0 = -\frac{2.R.T}{k^2} + \frac{V}{k}$$

$$T = \frac{kV}{2.R}$$

$$T = \frac{1}{2} \cdot T_{\max}$$

Portanto, o ponto de máxima potência de saída equivale ao ponto de operação de metade do stall torque. A velocidade de rotação correspondente para este ponto de operação pode ser determinada por:

$$\omega = -\frac{R}{k^2} \cdot \frac{kV}{2R} + \frac{V}{k} = \frac{V}{2k}$$

$$\omega = \frac{1}{2} \cdot \omega_{\max}$$

A máxima potência pode ser determinada então por:

$$P_m = \frac{1}{4} \cdot \omega_{\max} \cdot T_{\max}$$

No entanto, a máxima eficiência não pode ser atingida na máxima potência de saída. Na verdade, o ponto de máxima eficiência é um ponto de operação de baixo torque e alta velocidade. Consequentemente, é conveniente selecionar um motor super-dimensionado, de forma que ele possa operar num ponto eficiente enquanto fornece o torque suficiente.

Acontece que a máxima eficiência, por razões que não serão mencionadas no escopo deste documento, pode ser calculada pelas medidas da corrente sob carregamento nulo, I_0 , e a stall current, I_s :

$$\eta_{\max} = \left(1 - \sqrt{\frac{I_0}{I_s}}\right)^2$$

Caso o motor opere numa baixa tensão, a linha de velocidade-torque se desloca para baixo, conforme mostra a figura 74.

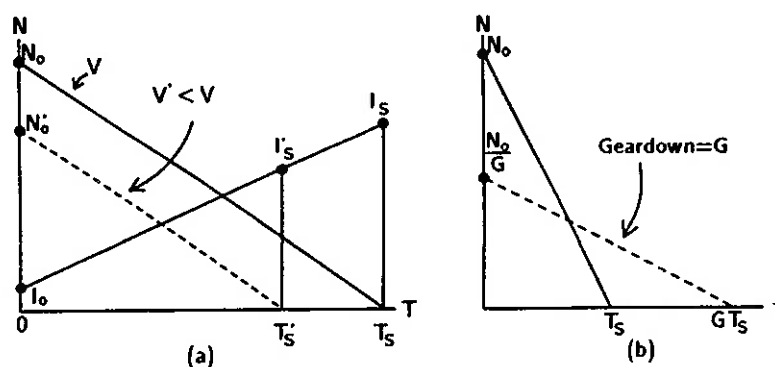


Figura 74 – Deslocamento da linha velocidade - torque

Conforme a tensão for diminuída, a velocidade e o torque decaem. A alteração da tensão aplicada, muda a velocidade do motor. Outra forma de alterar a velocidade do motor sem ter que produzir um efeito adverso no torque é a utilização de uma caixa de redução. Conforme mostra a figura 74 (b), a introdução de uma caixa de redução (com fator de 2), corta a velocidade sob carregamento nulo na metade, enquanto que dobra o valor do torque produzido. Além disso, a potência é mantida constante caso não haja atrito na caixa de redução. No entanto, sempre existem perdas tanto no motor quanto na caixa de redução. Hoje em dia, os melhores motores tem eficiências da ordem de 90 % ou mais, mas os motores mais baratos

tem uma eficiência bem menor, da ordem de 50 %. Adicionando essas perdas àquelas através da caixa de redução e levando em consideração as perdas entre as rodas e o chão (atrito, deslizamento, etc), tem-se como resultado final um sistema que não é muito eficiente.

1.4.6.6 Caixas de Redução

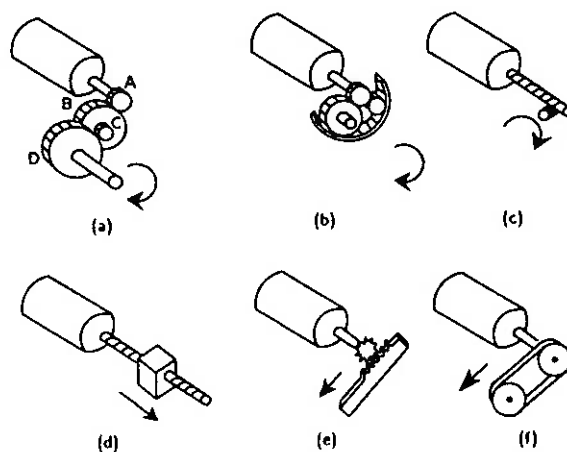


Figura 75 – Formas do Sistema de Transmissão de Potência

As caixas de redução e os sistemas de transmissão vêm em uma variedade de formas, tais como spur gears, planetary gears, rack-and-pinion gears, worm-gears, lead screws e belt-and-pulley gears, conforme ilustra a figura 75.

As caixas de redução de alta qualidade são geralmente feitas de metal, além de existirem e uma grande quantidade de caixas de redução feitas de plástico comumente encontradas em brinquedos.

Os motores DC já acoplados a uma caixa de redução, possui uma caixa do tipo spur gears acoplada ao eixo de saída. Um esquema desta caixa pode ser observado na figura 75 (a) . A engrenagem menor, montada diretamente no eixo do motor, é denominada de pinhão e tem que girar muitas vezes para girar as outras engrenagens. Se A, B, C e D denotarem o número de dentes de cada engrenagem correspondente, então a velocidade do eixo de saída pode ser determinado por:

$$\omega_{out} = \frac{A}{B} \cdot \frac{C}{D} \cdot \omega_{in}$$

, aonde que a velocidade final foi diminuída em razão da taxa de redução.

1.4.6.7 Opções em motores

No Brasil, a aquisição de motores DC é até que relativamente fácil, porém as reduções são um tanto quanto difíceis de serem encontradas. A melhor opção é a importação de kits contendo motores com reduções. Na RobotStore, diversos destes kits podem ser encontrados.

- ◆ Planetary Gear Box Kit

Permite a montagem de oito diferentes taxas de redução: 4, 5, 16, 20, 25, 80, 100 ou 400 para 1. Suas dimensões são 35 mm de largura e seu comprimento pode chegar à 80 mm.

Seu preço na RobotStore é de US\$ 30,00



- ◆ High Speed Gear Box Kit

Este kit é composto por uma caixa de redução que provê alta velocidade e baixo torque. Pode ser construída em duas diferentes taxas: 11.6 ou 18 para 1. Suas dimensões são 52 x 38 x 41 mm. Seu preço na RobotStore é aproximadamente US\$ 20,00.



- ◆ High Power Gear Box Kit

Este Kit é composto por uma caixa de redução que provê um elevado torque. Pode ser montada em uma das duas taxas de redução: 41.7 ou 64.8 para 1. Suas dimensões são 60 x 28 x 41 mm. Seu preço na RobotStore é US\$ 20,00.



◆ Worm Gear Box Kit

Este kit permite obter uma velocidade de rotação baixa, porém com um elevado torque. Pode ser montado em duas diferentes taxas de redução: 216.1 ou 336 para 1. Suas dimensões são 76 x 31 x 30 mm. Seu preço é de US\$ 20,00



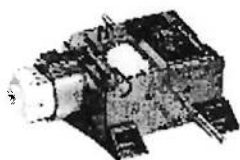
◆ Twin Motor Gearbox Kit

Este kit inclui dois motores DC com reduções independentes numa mesma unidade compacta. É uma opção muito interessante para controles diferenciais de robôs. Pode ser montado em duas taxas de redução diferentes: 58 ou 203 para 1. Suas diomensões são 75 x 50 x 23 mm. Seu preço na RobotStore é US\$ 15,00.



◆ Selectable Gear Box Kit

Este kit permite a mudança entre três taxas de redução de maneira rápida, para seleção da velocidade e torque desejados. Pode ser montado em um dos diferentes grupos de taxas de redução: 6.8, 45.97 e 310.74 para 1 ou 17.68, 119.52 e 807.93 para 1. É uma opção ideal para máquinas com velocidades diferentes. Seu preço na RobotStore é US\$20,00.



◆ Super Micro Stepper Motor 5-Pack

Este pacote inclui 5 mini motores de passo bipolares. Seu tamanho é suficientemente reduzido para se encaixar nas pontas dos dedos. Suas características são: 10 passos por revolução (360 por revolução) , alimentação entre 4 e 6 VDC e 8 ohm por espira. Inclui uma engrenagem de 10 dentes na extremidade de seu eixo. Suas dimensões são 10 mm de diâmetro e 15 mm de comprimento.

O preço deste pacote de motores na RobotStore é US\$ 24,95.



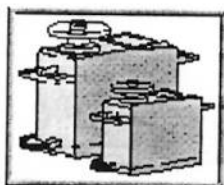
◆ RC Servos

O RC (Remote Control) servo é um servo motor originalmente projetado e utilizado em aeromodelos de controle remoto. Eles são constituídos de um motor DC, uma redução, um potenciômetro para feedback de posição e um circuito impresso de controle. O movimento destes servos são limitados até aproximadamente 180º de rotação, mas normalmente são utilizados em uma

faixa de 90°. O sistema é proporcional, de maneira que o atuador pode ser posicionado de maneira rápida ou lenta até a posição desejada. Estes servo motores são bem leves e resistentes, podendo ser controlados facilmente por um microcontrolador.

Estes servo motores podem ser adaptados para rotação livre, sem feedback, possibilitando o seu uso como motor DC e de suas reduções.

Há diversas opções destes servos, que podem ser adquiridos na Lynxmotion.



Especificações	HS-300	HS-615MG	HS-700BB ¼ Scale Servo
Tamanho padrão (pol.)	1.6 x 0.8 x 1.4	1.6 x 0.8 x 1.4	2.3 x 1.1 x 2.0
Torque (oz.-in.)	49	132	161
Peso (oz)	1.75	2.12	3.6
Velocidade (seg/ 60 graus)	0.16	0.18	0.19
Velocidade c/ roda 1.5 polegadas (pol./seg.)	4	-	-
Velocidade c/ roda 3.0 polegadas (pol./seg.)	8	-	-
Engrenagens	plástico	metal	-
Ball Bearing	-	Dual ball bearing	Top ball bearing
Preço (US\$)	15,00	63,00	40,00

1.4.7 Interface com Motores

Em razão do microprocessador não fornecer corrente suficiente para controlar diretamente um motor, deve haver algum circuito de interfaceamento de modo que a potência do motor seja fornecida de uma outra fonte e somente os sinais de controle derivem do microprocessador. Este circuito de interfaceamento pode ser implementado utilizando várias tecnologias diferentes, tais como transistores bipolares, MOSFETS (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistors), e circuitos integrados de controle de motores. No entanto, em todas essas tecnologias, a topologia básica do circuito é basicamente a mesma. Este circuito é conhecido como ponte-H e consiste basicamente de 4 switches conectados na topologia de um "H", conforme pode-se observar na figura 76.

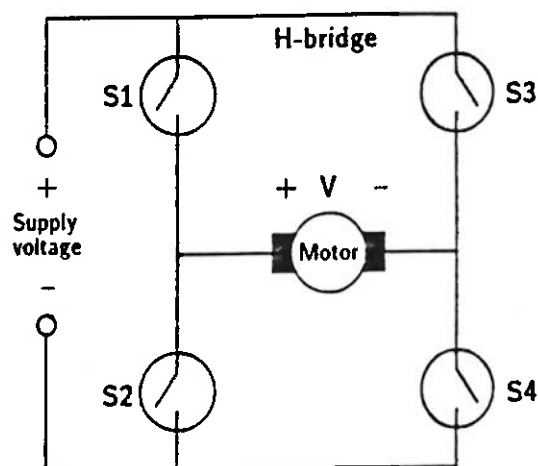


Figura 76 – Diagrama de uma Ponte H

1.4.7.1 Pontes – H

Em uma ponte H, os switches estão abertos e fechados de uma maneira que ao inserir uma tensão de uma polaridade através do motor, a corrente flui fazendo com que o eixo do motor gire em uma direção e, ao inserir uma tensão de polaridade oposta, a corrente flui na direção oposta fazendo com que o eixo do motor gire no sentido inverso. Por exemplo, se os switches S1 e S4 da figura acima estiverem fechados enquanto os switches S2 e S3 estiverem abertos, a corrente irá fluir da esquerda para a direita no motor.

Para controlar a velocidade do motor, os switches são abertos e fechados em taxa diferentes de modo a aplicar diferentes tensões através do motor. Esta técnica, conhecida como PWM (Pulse Width Modulation) é ilustrada na figura 77, aonde V é a tensão no motor e t é o tempo. Por exemplo, se os switches S1 e S4 forem utilizados para o PWM enquanto que os switches S2 e S3 forem deixados abertos, a tensão do motor será igual e de mesma polaridade que a tensão de fornecimento quando S1 e S4 estarem fechados e 0V quando eles estiverem abertos.

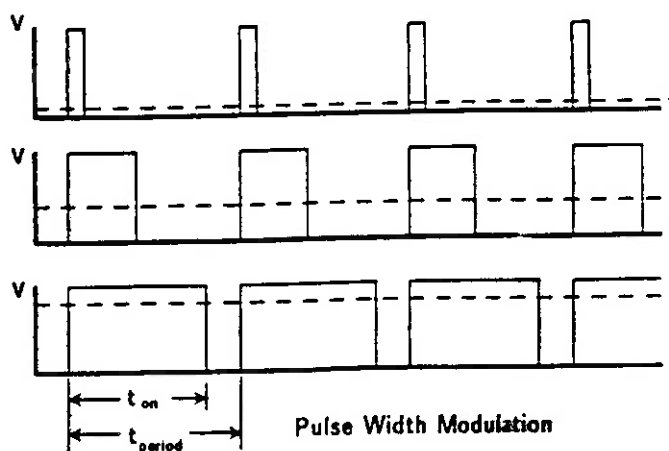


Figura 76 – Esquema do PWM

A velocidade de um motor DC pode ser ajustada através da alteração na taxa do tamanho do pulso, conforme mostra a expressão abaixo:

$$\text{Taxa}_{PW} = \frac{t_{on}}{t_{period}}$$

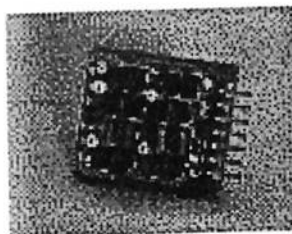
Conforme já mencionado, existem várias tecnologias que permitem implementar um PWM. No entanto, os transistores bipolares e os MOSFETs são as tecnologias mais convenientes para o projeto de um PWM.

1.4.7.2 Opções em circuitos de controle de motor

A Lynxmotion e a RobotStore comercializam alguns circuitos que permitem a implementação da interface de controle do motor com o microprocessador. Uma breve descrição destes circuitos é dada a seguir.

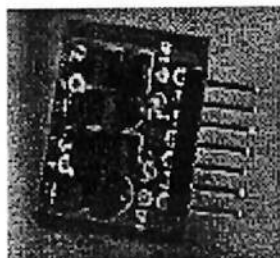
◆ Mini Dual H-Bridge Motor Driver Kit

Este Circuito permite o controle de dois motores DC a partir de um microprocessador (Parallax Pbasic, Motorola 68HC11, etc). Através de quatro entradas são recebidos os sinais de controle do motor, permitindo o acionamento dos mesmos independentemente nos dois sentidos de rotação ou parado. O circuito utiliza como alimentação uma tensão de 5 V e uma corrente de 300 mA. O tamanho é bem reduzido (25 x 28 x 7 mm), assim como seu peso. Este circuito pode também ser utilizado para controlar um Motor de Passo Bipolar de 5V. Pode ser adquirido pela RobotStore por um preço em torno de US\$23,00



- ◆ Mini Single H-Bridge Motor Driver Kit

Este circuito é idêntico ao anterior, porém para o controle de apenas um motor DC. Sendo assim, ele utiliza apenas duas entradas de sinal de controle. Suas dimensões são também bastante reduzidas (25 x 18 x 7 mm). O preço deste kit é algo em torno de US\$15,00 na RobotStore.



- ◆ Maxi Dual H-Bridge Motor Driver Kit

Este circuito constitui uma opção para controlar motores mais potentes. Com ele é possível controlar motores DC de 12 até 36 Volts (Para conexão com motores alimentados com tensões maiores do que 20 Volts é necessária a conexão de um diodo zenner que não está incluído no circuito), com até 45 Watts de potência cada (com bons dissipadores e calor). As entradas são isoladas, garantindo a proteção da conexão com o microprocessador. Suas dimensões são 79 x 25 x 20 mm. Seu preço na RobotStore é em torno de US\$40,00



◆ Stepper 10 Amp Motor Driver Kit

Este circuito controla qualquer motor de passo unipolar (5 ou 6 terminais), com tensão entre 10 e 36 Volts até uma corrente de 10 Ampéres (necessitando de um bom dissipador de calor). Há isolamento nas entradas para proteção do circuito com níveis de tensão TTL. Suas dimensões são 69x25x20 mm e seu preço na RobotStore é aproximadamente US\$35,00

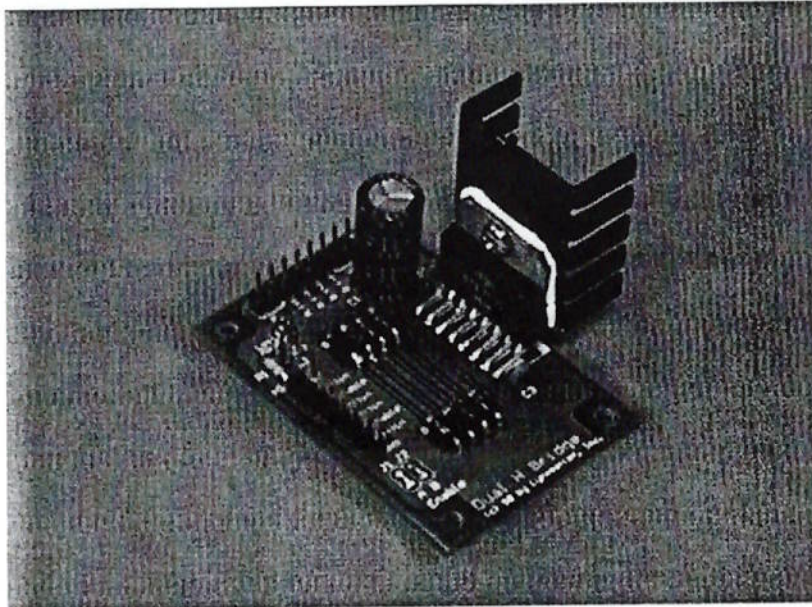


◆ Dual H-Bridge Motor Driver Kit

O Dual H-Bridge Motor Driver Kit é um circuito de controle para até dois motores DC. Este circuito incorpora um diodo para proteção das entradas. Há um LED para indicar a tensão lógica apresentada. Há quatro conectores para controle da direção e velocidade, um enable opcional para cada motor. A teoria envolvida neste circuito é bem simples. Se a entrada A está high e a B está low, o motor rotacionará em uma direção. Se a entrada A está low, e a entrada B está high o motor irá rotacionar na direção oposta. O controle de um trem de pulsos para ambas as entradas irá controlar a velocidade.

Suas dimensões são 2.3" x 1.5". A corrente por motor é de 500 mA para os dissipadores inclusos, podendo ser de até 2A por motor, porém necessitando de dissipadores adicionais.

Seu preço na Lynxmotion é US\$30,00



1.4.8 Fonte de Energia

Um robô autômato móvel como o micromouse necessita de um sistema de energia que atende à varias especificações simultaneamente. A fonte de energia deve armazenar energia suficiente de forma a permitir que o robô realize uma quantidade útil de trabalho, alimentando os motores, sensores e demais circuitos eletrônicos que o compõem. Para assegurar uma perfeita operação dos circuitos eletrônicos do robô, a fonte deve fornecer uma voltagem constante. Os ruídos e power glitches produzidos por um circuito não devem interferir em qualquer outro componente.

1.4.8.1 As Baterias

As baterias (também chamadas de pilhas) são as soluções mais comumente adotadas nos robôs móveis autômatos para o problema de armazenamento de energia. Uma bateria converte energia química em energia elétrica. Da natureza química da bateria surgem uma complexa variedade de propriedades. Algumas destas propriedades mais importantes são explicadas abaixo:

- **Recarregabilidade:** uma bateria que não pode ser recarregada é uma bateria primária. Já aquelas que permitem recarga são chamadas de baterias secundárias ou recarregáveis.
- **Densidade de Energia:** é a máxima quantidade de energia por unidade de massa que uma tecnologia particular de bateria permite armazenar. A densidade de energia é usualmente mensurada na unidade Watt-hora/Quilograma (Wh/Kg). A densidade de energia pode também ser mensurada em unidades de energia por unidade de volume.

- Capacidade: a capacidade de uma bateria é a energia armazenada em uma pilha. A capacidade é normalmente representada em unidades de ampére-hora ou miliampére-hora. A capacidade é o produto da densidade de energia pela massa da bateria.
- Voltagem: a voltagem produzida por uma simples bateria é a característica de uma reação química particular que ocorre na bateria. A voltagem também depende do estado da carga da pilha.
- Resistência Interna: quando colocada em curto-circuito, a corrente fornecida pela bateria é limitada pela sua resistência interna. A resistência interna aumenta a medida que a bateria se descarrega.
- Taxa de descarga: esta é a taxa (em unidades de corrente) na qual a bateria é descarregada. A máxima taxa de descarga é limitada pela resistência interna da bateria.
- Vida útil: as baterias se descarregam até mesmo quando não estão sendo utilizadas. Vida útil é a medida do quão rápido isto ocorre.
- Dependência da Temperatura: muitas das propriedades das baterias, em particular, capacidade disponível e vida útil são afetadas pela temperatura.

Uma bateria ideal deveria ter uma densidade de energia muito alta, mantendo uma voltagem constante durante a descarga, tendo uma resistência interna bem baixa, e até mesmo ser capaz de uma descarga rápida. Além disso, deve ser resistente à temperaturas extremas, exibindo uma vida útil ilimitada, ser recarregável, e possuir um custo baixo.

Mas infelizmente, nenhuma tecnologia de bateria possui todas estas características. Portanto, na prática, é necessário elencar estas propriedades de acordo com a importância para a aplicação desejada. Estas informações podem servir para auxiliar a escolha da bateria a ser utilizada na aplicação. A figura 78 mostra algumas propriedades de algumas tecnologias de baterias.

1.4.8.2 Composição Química

Há diversas tecnologias de baterias que empregam diferentes composições químicas nas mesmas. Porém, a prática mostra-nos que na maior parte das aplicações são utilizadas baterias alcalinas se baterias primárias são requeridas, ou baterias de níquel-cádmio (NiCd) se forem recarregáveis.

As baterias de carbono-zinco existem há mais de 100 anos, e embora possuam o menor custo de todas as baterias listadas, elas também possuem a menor densidade de energia das baterias primárias. Nestas baterias ocorrem grandes variações de tensão, além de possuírem resistência interna alta e uma performance muito pequena em baixas temperaturas.

As baterias alcalinas de manganês, normalmente chamadas de alcalinas apenas, possuem densidade de energia maior do que as baterias de carbono-zinco. A resistência interna é muito baixa. O custo das baterias alcalinas é mediano, e elas possuem uma enorme disponibilidade no mercado. No entanto, elas possuem uma sloping curva de descarga. (A curva de descarga mostra a tensão da bateria em função do tempo de uso).

A densidade de energia do mercúrio e baterias de prata são muito boas, e as mesmas possuem outras propriedades desejáveis também. Por exemplo, elas possuem uma curva de descarga flat. As suas desvantagens são que possuem um custo muito alto e que são disponíveis apenas no formato de botão ou moeda. Estas baterias, devido à estas propriedades são utilizadas em calculadoras, relógios, agendas eletrônicas e outras aplicações onde o tamanho também é um requerimento fundamental.

As baterias de lítio possuem de longe a maior densidade de energia das baterias normalmente disponíveis. Elas possuem também uma curva de descarga flat e uma vida útil bem grande (aproximadamente 10 anos). No entanto, estas baterias possuem uma resistência interna mais alta que as alcalinas e são muito mais caras.

Baterias lead-acid são disponibilizadas em uma variedade de tamanhos no formato retangular. Elas são relativamente baratas, possuem uma resistência

interna bem baixa e podem ser recarregadas. A densidade de energia é baixa, no entanto. As baterias lead-acid possuem até mesmo densidade de energia menor do que as de carbono-zinco.

As baterias de níquel-cádmio, ou NiCd, são disponíveis nos tamanhos AA, C, D e 9 Volts. Desta forma, elas podem substituir diretamente as alcalinas nos equipamentos portáteis. A tensão da bateria, no entanto é menor. Uma bateria de 9 V NiCd fornece normalmente 7.2 V. As baterias de Níquel-cádmio possuem resistência interna bem baixa, mas a densidade de energia é comparável às baterias lead-acid. As restrições operacionais do uso de baterias de NiCd são provavelmente mais severas do que com outras baterias. Se um pacote de bateria contendo diversas baterias NiCd for totalmente descarregado, a polaridade das unidades podem ser invertidas. As baterias NiCd também sofrem do "efeito memória". Se uma bateria NiCd é repetidamente descarregada, por exemplo, de 50% de sua capacidade e então recarregada, ela poderá eventualmente se comportar como se tivesse somente 50% de sua capacidade original. Este fato pode ser contornado descarregando-se as baterias completamente e então recarregando-as.

Uma nova tecnologia de baterias recarregáveis conhecida como níquel-metal-híbrida (NiMH) está se tornando largamente disponível. As baterias NiMH possuem muitas características em comum com as baterias NiCd. Embora as baterias NiMH não possam fornecer correntes tão altas como as NiCd, a densidade de energia das baterias NiMH é aproximadamente 50% maior do que das NiCds. Há uma tendência de substituição das baterias de NiCd por NiMH ao longo dos próximos anos, devido também ao fato das mesmas não possuírem cádmio, o que representa um menor risco ambiental. Hoje, porém, estas baterias custam quase que três vezes o preço da bateria NiCd.

Battery Chemistry	Recharge	Energy Density (Whr/kg)	Cell Voltage	Typical Capacity (mAh)	Internal Resistance (ohms)	Comments
Alkaline	No	130	1.5	AA 1400 C 4500 D 10000	0.1	Most common primary battery
Lead-Acid	Yes	40	2.0	1.2 - 120 Ah	C-size 0.006	Available in a wide variety of sizes
Lithium	No	300	3.0	A 1800 C 5000 D 14000	0.3	Excellent energy density. high unit cost
Mercury	No	120	1.35	Coin 190	10	Low internal resistance. available from many sources
NiCd	Yes	38	1.2	AA 500 C 1800 D 4000	0.009	
NiMH	Yes	57	1.3	AA 1100 4/3A 2300		
Silver	No	130	1.6	Coin 180	10	
Zinc-Air	No	310	1.4			High energy density but not widely available. limited range of sizes
Carbon-Zinc	No	75	1.5	D 6000		Inexpensive but obsolete

Figura 78 – Tabela de comparação das características de baterias

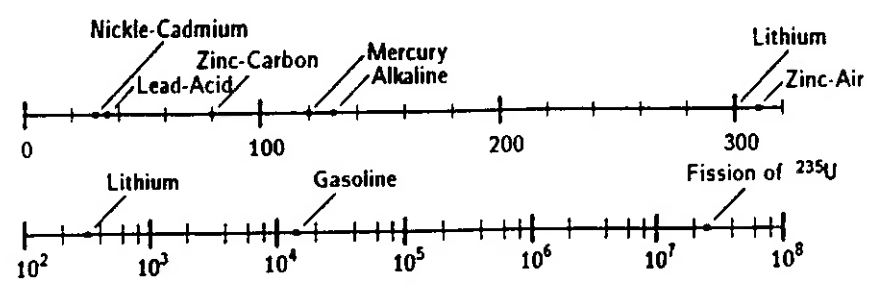


Figura 80 – Comparação das densidades de energia de diferentes tecnologias

1.4.8.3 Densidade de Energia

Um parâmetro crucial de qualquer tecnologia de bateria é a densidade de energia. A Figura 80 mostra a densidade de energia à temperatura ambiente de uma variedade de baterias normalmente utilizadas. Para dar uma idéia da ordem de grandeza, a densidade de energia das baterias são comparadas com a da gasolina e a da fusão do urânio 235. Este gráfico demonstra o grau de desvantagem atual das baterias comparado aos combustíveis fósseis e técnicas de armazenamento de energia nuclear. É por este motivo que o custo do kWh fornecido por baterias é muito mais alto do que de outros mecanismos químicos de armazenamento de energia. A energia elétrica fornecida por baterias pode custar até 1000 vezes mais do que a mesma quantidade de energia fornecida pela rede elétrica local. Porém a vantagem da bateria é a portabilidade da energia, ou seja, a mesma pode fornecer energia no local que for desejado, sem a necessidade de geradores e máquinas mecânicas). Por este motivo, apesar do alto custo da energia fornecida pela bateria, as mesmas são largamente utilizadas. Em aplicações como robôs autômatos móveis, logicamente as baterias são indispensáveis.

1.4.8.4 Voltagem

Embora seja desejável que a bateria mantenha uma voltagem constante quando sujeita à uma carga, normalmente a tensão varia de acordo com o estado da carga. A forma como a tensão varia de acordo com a carga é uma propriedade intrínseca da tecnologia utilizada na confecção da bateria. A figura 81 mostra as características de descarga das quatro tecnologias de baterias mais utilizadas.



Figura 81 – Características de descarga das tecnologias de baterias mais comuns

1.4.8.5 Capacidade

A capacidade da Bateria normalmente descrita como ampère-hora está na verdade errada. Isto devido ao fato de ampère-hora não ser unidade de energia. Para se obter a unidade de energia, deve-se multiplicar ampère-hora pela tensão da bateria. Este produto resulta Watt-hora, que é uma unidade de energia:

$$1 \text{ Watt} = 1 \text{ Joule} / \text{sec}$$

Geralmente, a quantidades de energia que pode ser extraída de uma bateria depende da taxa na qual a bateria é descarregada. A capacidade descrita pelo fabricante se refere à taxas favoráveis de descarga, não necessariamente uma taxa razoável para o projeto. Este tipo de engano, costuma levar à erros no cálculo da autonomia.

1.4.8.6 Resistência Interna

Se os terminais positivos e negativos são curto-circuitados, a fluxo de corrente é limitado somente pela resistência interna da bateria. Um modelo útil de uma

bateria real consiste de uma bateria ideal em série com uma resistência, conforme mostrado na figura 82.



Figura 82 – Modelo de Bateria

Enquanto o valor exato desta resistência depende de um número de fatores (tal qual idade da bateria, carga, capacidade, e temperatura), tecnologias diferentes de bateria possuem resistências internas características. Uma pequena bateria alcalina pode Ter uma resistência interna 10 vezes maior do que uma bateria NiCd de mesmo tamanho. Apesar da baixa densidade de energia, isto pode tornar a bateria NiCd mais apropriada para aplicações que requerem altas taxas de corrente. Da mesma forma, isto pode tornar a bateria NiCd mais perigosa para utilização, pois um curto-circuito com esta bateria pode ser suficiente para causar danos irreparáveis no circuito.

1.4.8.7 Opções em pilhas e baterias

Além das pilhas de carbono-zinco comuns e as alcalinas encontradas facilmente no mercado, existem as pilhas recarregáveis de NiCd que podem ser encontradas na RobotStore em diversos modelos e tamanhos.

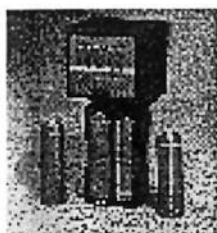


Estas pilhas são comercializadas em pacotes com 4 unidades, nos tamanhos pequeno, AA, médio e grande, aos preços de, respectivamente, US\$ 13,00, US\$ 10,00, US\$ 15,00 e US\$ 15,00. As tensões nominais são de 1,25 Volts e as correntes são de respectivamente 150 mA, 650 mA, 1400 mA e 1400mA. Há também uma bateria de 7.2V e 100mA por US\$9,00.

Para carga e recarga destas baterias há algumas opções em recarregadores na RobotStore. Conforme mostrado a seguir.

◆ NiCd Battery Charger Quad A Special

Este carregador é extremamente compacto e permite a carga de 2 ou 4 pilhas AA ou uma bateria 9V. Seu preço é US\$15,00



◆ 4 Position NiCD battery charger

Este carregador permite a carga simultânea de dois pares de pilhas AA, pequenas, médias e grandes ou até duas baterias de 9 Volts num período de 4 horas. O preço deste carregador é US\$ 20,00



◆ 8 Position NiCd battery charger

Este carregador permite a carga de 4 pares de pilhas AA, pequenas, médias e grandes simultaneamente ou até quatro baterias de 9 Volts. O tempo de carga das pilhas é de 4 horas. O preço deste carregador é U\$ 30,00.



1.4.9 Sistema de Movimentação

O sistema de locomoção utilizado para o Micromouse será baseado em rodas. Porém, existem inúmeros arranjos de rodas para as mais diversas funcionalidades conforme ilustra a figura 83. Nesta figura pode-se observar os arranjos diferencial, sincronizado, triciclo e estilo automóvel. Desta forma, este tópico se propõe a apresentar alguns destes arranjos para uma melhor seleção do mais adequado ao projeto.

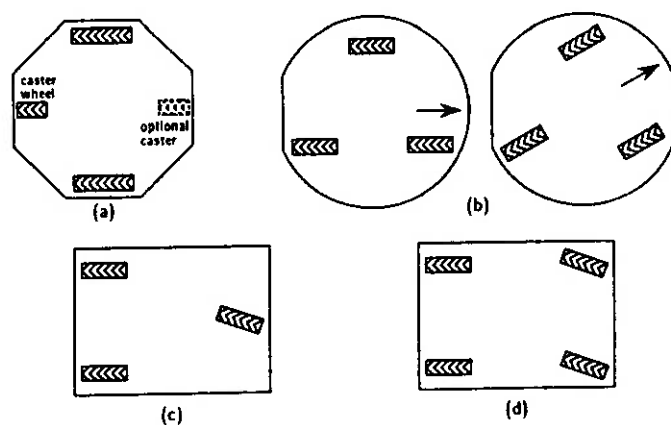


Figura 83 – Diversos arranjos de sistemas de locomoção baseados em rodas

1.4.9.1 Sistema Diferencial

Do ponto de vista de construção e programação, o sistema diferencial pode ser um dos menos complicados sistemas de movimentação. A figura 84 mostra um exemplo de um robô que utiliza este sistema de locomoção. O esquema diferencial consiste de duas rodas em um eixo comum, sendo cada uma guiada independentemente. Este tipo de arranjo possibilita ao robô se locomover em linha reta, realizar rotações em torno de seu eixo e se mover em arcos.

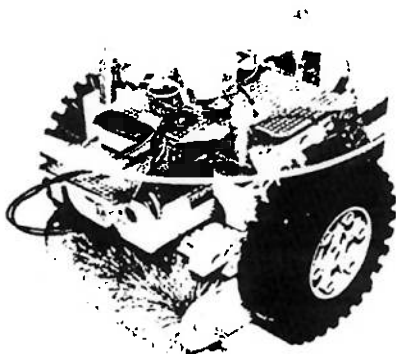


Figura 84 – Robô com arranjo diferencial

Um problema importante de projeto que surge quando se utiliza o sistema diferencial é conhecido como balanceamento assegurado (ensure balance). Para isto pode-se utilizar suportes adicionais às rodas motoras para se prevenir o tombamento do robô. Em geral, costuma-se utilizar uma ou duas rodas caster, arranjadas em um padrão triangular ou de diamante. Dependendo de como é a distribuição de massa do robô e a força de seus motores, um padrão triangular pode levar o robô ao tombamento. Se o robô com a configuração de rodas mostrado na figura 83 (a) em as rodas opcionais se mover de repente para a frente (para a direita) e parar bruscamente, ele tombará na direção do movimento, a menos que seu centro de gravidade seja bem à esquerda.

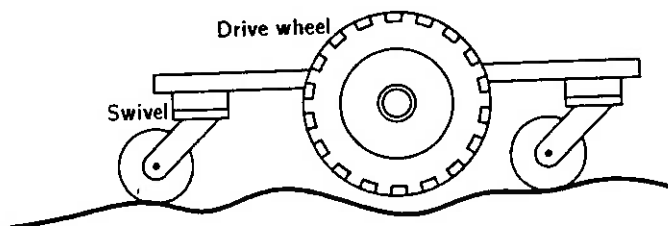


Figura 85 – Ilustração do robô sendo suportado somente pela roda cáster, perdendo o contato das rodas de tração com o chão.

Um padrão de diamante resolve este problema mas pode introduzir um outro, conforme ilustrado na figura 85. Se as rodas cáster estiverem fixadas rigidamente ao corpo do robô, pequenas ondulações na superfície de deslocamento podem levar o robô a ser suportado somente por estas roda, perdendo assim o contato das rodas tração com o chão. Desta forma, as rodas de tração não conseguem mover o robô. Portanto, a configuração das rodas cáster em padrão de diamante requer algum tipo de sistema de suspensão para que a mesma possa acompanhar a ondulação do terreno, movendo-se para verticalmente em relação às rodas de tração.

Uma outra consideração de projeto para robôs diferenciais é como fazer o robô se locomover em linha reta. Para isto é importante que se garanta uma mesma velocidade de rotação para as rodas, caso contrário o robô irá se mover numa trajetória em arco.

A simplicidade da implementação do sistema diferencial é compensada pela complexidade do sistema necessário para o seu controle. Portanto, à medida que se diminui a complexidade mecânica envolvida no sistema de movimentação do robô, aumenta-se a complexidade exigida para controlá-lo no que tange os arranjos em hardware e software.

1.4.9.2 Sistema Sincronizado

O sistema de locomoção conhecido como Sincronizado é mostrado na figura 83 (b). A figura 86 mostra a parte inferior de um robô com este tipo de arranjo.



Figura 86 – Robô com Sistema de Locomoção Sincronizado

Com o mecanismo de locomoção sincronizado, todas as rodas (geralmente três) realizam o tracionamento e o direcionamento do robô. As rodas são ligadas de forma que estejam na mesma direção o tempo todo. Quando é necessário mudar a direção, o robô rotaciona todas as rodas simultaneamente em relação a um eixo vertical, conforme mostrado na figura 83 (b). No entanto, a direção do movimento do robô muda mas o chassi continua apontando na mesma direção. Se o robô possui parte frontal (supostamente onde os sensores estão localizados), deve-se implementar uma ligação adicional para manter seu corpo apontado na mesma direção de suas rodas. É importante notar que o arranjo sincronizado resolve muitos dos problemas apresentados nos arranjos diferencial, triciclo e estilo automóvel a um custo de uma maior complexidade mecânica.

1.4.9.3 Sistema Triciclo e Estilo Automóvel

O sistema estilo automóvel (também conhecido como estilo Ackerman) com quatro pontos de suspensão promove uma ótima estabilidade. O sistema de triciclo possui a mesma funcionalidade, porém com a vantagem de ser mecanicamente mais simples, visto que o arranjo estilo automóvel exige um tipo de ligação entre as duas rodas guiáveis. Em geral, para os dois tipos de arranjos, as duas rodas

fixas são conectadas ao motor e as guiáveis não. Em alguns robôs, no entanto, as rodas guiáveis são também conectadas ao motor.

Nestes arranjos, não é necessário monitorar a velocidade da roda para garantir o movimento do robô em linha reta. O simples posicionamento da roda dirigível em sua posição neutra é suficiente para isto.

1.4.10 Rodas

A roda é um componente de fundamental importância no sistema de locomoção do robô. Logicamente, existem outros dispositivos de locomoção, mas, para os fins do Micromouse, sem dúvida alguma nenhum supera a roda.

Para um bom funcionamento do sistema, é muito importante que as rodas utilizadas possuam algumas características:

- Pequenos desvios geométricos: não só para a aplicação proposta, mas como em praticamente todas, um bom acabamento final do produto, desbalanceamento e excentricidade quase que desprezíveis é fundamental para o bom funcionamento do dispositivo.
- Material leve, resistente e com razoável coeficiente de atrito na superfície de contato: Devido ao princípio físico de funcionamento da roda, é muito importante que a mesma seja de uma material leve, de forma a oferecer pouca inércia de rotação. Porém como há exigência de um esforço mecânico na movimentação do robô, pois a roda deve aplicar esforços no solo suficiente para mover todo o robô, o material deve Ter uma resistência mecânica aceitável que garanta o movimento sem deformações. Além disto, a superfície deve Ter um coeficiente de atrito suficiente para permitir um movimento livre de escorregamentos.

Há algumas rodas ideais para este tipo de aplicação. Uma opção são aquelas fornecidas nos kits da Lego. Outra, que é uma alternativa mais dispendiosa, porém com qualidade superior são rodas utilizadas em aeromodelos (tanto de espuma como de borracha) e rodas utilizadas em modelos de corrida.

1.4.11 Material da estrutura do robô

Para a construção da estrutura mecânica do robô deve-se selecionar um material que obedeça alguns requisitos básicos para este tipo de projeto:

- Resistência mecânica: o material escolhido deve ter resistência mecânica suficiente para suportar os esforços mecânicos presentes na movimentação do robô e devidos ao peso dos componentes.
- Facilidade de fixação: o material deve permitir facilmente a fixação dos diversos componentes na estrutura do robô através de parafusos, cola, etc.
- Leveza: é importante que o material seja leve, pois isto reduz o peso total do robô, além de diminuir a inércia do movimento.

Alguns materiais que podem ser utilizados em forma de placas e hastes são:

- PVC: é um material leve, de boa resistência mecânica para o tipo de aplicação em questão. Apresenta um custo razoável e permite a fixação dos componentes com relativa facilidade através de diversas opções, tais como cola quente, cola fria, parafusos, etc. Além destas características, este material apresenta uma facilidade de trabalho. Outra característica é que este material é isolante, o que é desejado, pois evita indesejáveis correntes no corpo do robô que podem produzir curto-circuito ou cargas eletrostáticas que podem influenciar o funcionamento dos componentes eletrônicos. O acabamento conseguido com o PVC é normalmente muito bom.
- Alumínio: é um material com boa resistência mecânica e leve. Permite facilmente a fixação dos demais componentes do robô. O alumínio oferece uma dificuldade adicional de trabalho em relação ao PVC. Além disto, o alumínio é um material metálico, e, portanto, é um material condutor, o que

oferece riscos de isolação elétrica aos circuitos do robô. Este material geralmente oferece um acabamento muito bom.

- Madeira: é um material leve e com boa resistência mecânica. Permite a fixação dos componentes com relativa facilidade, além de oferecer uma facilidade de trabalho. A madeira também é um material isolante e oferece um bom acabamento final à estrutura.
- Lego: as peças lego são excelentes para a construção de protótipos de robôs devido a sua versatilidade de montagem, modularidade, resistência mecânica e acabamento. Há um tópico neste trabalho que trata de kits lego especialmente projetados para esta função.

1.4.12 Componentes de Fixação:

Há diversas maneiras de se fixar os componentes do robô na estrutura do mesmo. A escolha da forma de fixação é feita a partir de alguns requisitos que a junção deverá atender, tais como:

- Resistência mecânica: é importante avaliar em tempo de projeto quais os esforços mecânicos ao qual as uniões estarão submetidas, para se definir qual o tipo de fixação que deverá ser utilizado de forma a resistir aos esforços presentes.
- Materiais a serem unidos: outra característica que deve ser levada em conta para a união é a natureza dos materiais que deverão ser unidos. A importância desta consideração se deve ao fato do diferente grau de adesão das colas e adesivos nos diversos materiais, e à possibilidade de corrosões galvânicas e etc. A corrosão é muito importante quando deseja-se unir materiais de diferentes composições, bem como na utilização de parafusos e rebites.
- Massa dos fixadores: se houver uma grande quantidade de fixações a serem realizadas, pode ser necessária uma avaliação da massa a ser acrescentada ao sistema por estes, pois esta massa pode alterar o resultado dos cálculos relativos à inércia do movimento, aos sistemas de controle e etc.
- Acabamento: a nível de design, pode ser necessário uma escolha também baseada no acabamento final das junções.

1.5 Solução 1

Esta é uma possibilidade de solução bastante simplificada, porém muito interessante de ser apresentada. Esta solução permite apenas que o Micromouse solucione o labirinto com os algoritmos left-hand ou right-hand (consultar tópico sobre os algoritmos para maiores detalhes).

1.5.1 Componentes da Solução

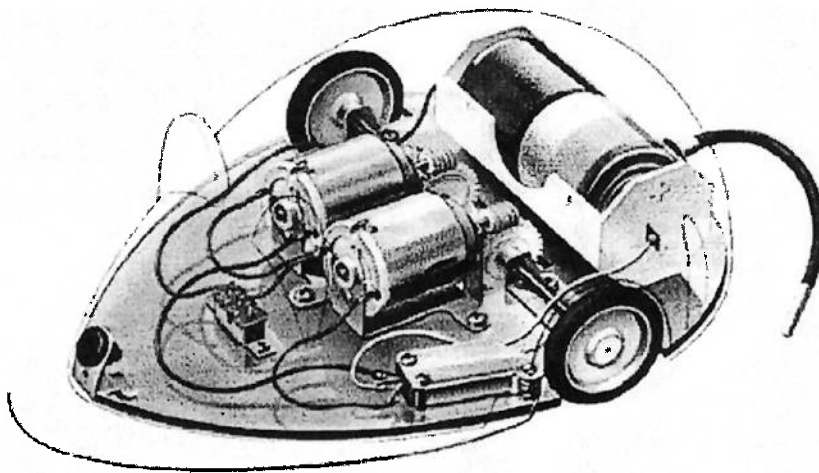
Esta solução, por ser bastante simplificada, dispensa os seguintes componentes:

- ◆ Microcontrolador
- ◆ Memória
- ◆ Interface com Computador
- ◆ Interface com Sensores
- ◆ Interface com Motores

Os componentes utilizados por esta solução são:

- ◆ Sensores: chaves de contato de pressão (Push Button)
- ◆ Fonte de Energia: pilhas alcalinas, pilhas Carbono-Zinco ou Ni-Cd
- ◆ Chassi: Lego ou PVC
- ◆ Motores: Motor DC
- ◆ Redutores: de preferência de plástico e de dimensões reduzidas (Lego ou equivalente)
- ◆ Rodas: Borracha ou Espuma (de preferência Lego ou de Aeromodelo, devido a qualidade)
- ◆ Suportes: Lego ou PVC
- ◆ Fixadores: cola quente, encaixe (Lego) e parafusos

A RobotStore oferece uma opção para a confecção desta solução que é vendida em forma de Kit para montagem conhecida como Wall Hugging Mouse Robot Kit. O seu preço é US\$ 30,00. A figura abaixo mostra uma imagem deste kit montado.



1.5.2 Descrição da Solução

A figura 87 ilustra o diagrama de blocos desta solução.

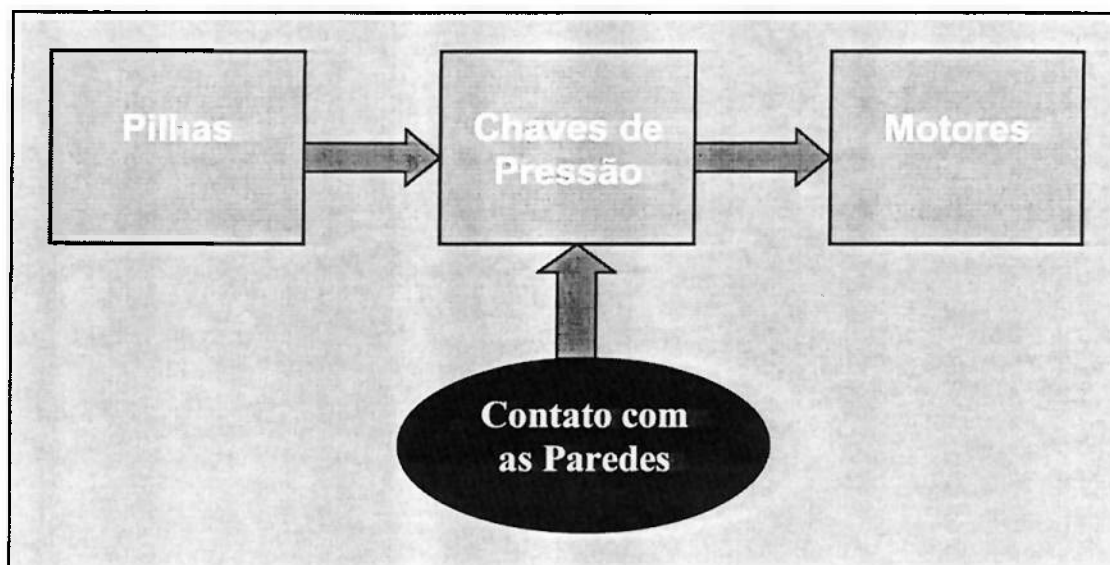


Figura 87 - Diagrama de blocos da solução

O terminais das pilhas são ligados aos terminais comuns da chave de pressão. Aos terminais normalmente fechados da chave são conectados os terminais dos motores DCs de forma que os mesmos sejam submetidos ao mesmo sentido de corrente. Aos terminais normalmente abertos da chave são conectados os terminais dos motores DCs novamente, porém de forma que os mesmos fiquem submetidos à sentidos opostos de corrente.

A figura 88 mostra um esquema da concepção física do robô.

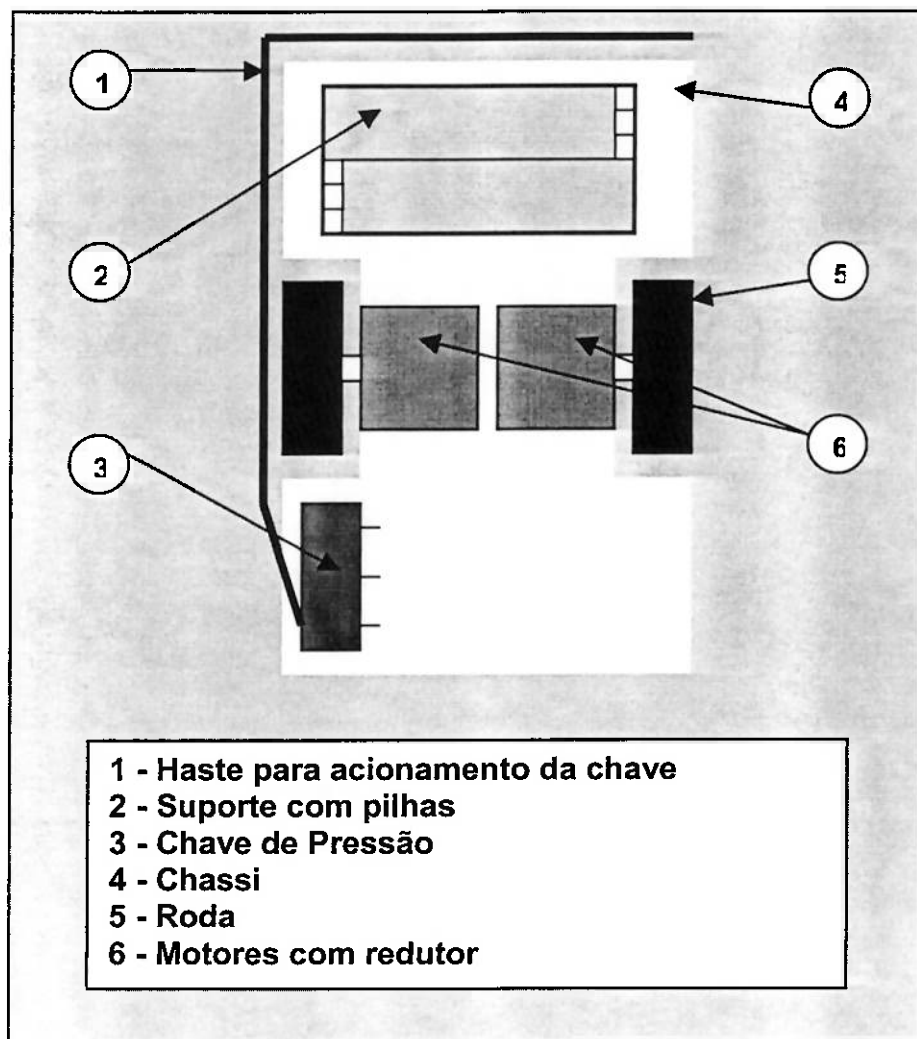


Figura 88 – Diagrama esquemático do Robô

O diagrama da figura 88 representa a visão superior do robô, sendo o mesmo concebido para a solução do labirinto utilizando o algoritmo *left-hand*. Caso se deseje utilizar *right-hand* deve-se posicionar a chave e a haste no lado direito do robô.

O funcionamento desta solução pode ser explicado da seguinte maneira (supondo a configuração da figura para *left-hand*): enquanto houver parede do lado esquerdo do robô, a haste será pressionada, conseqüentemente o botão de

pressão será acionado fazendo com que ambos os motores sejam alimentados por correntes no mesmo sentido, provocando o movimento retilíneo do mesmo; quando não houver mais parede do lado esquerdo, a haste não será mais pressionada, conseqüentemente o botão também não, implicando na inversão do sentido da corrente do motor do lado esquerdo, provocando a rotação do mesmo para o lado esquerdo até que a haste seja pressionada novamente; quando existe uma parede na frente, o processo ocorre de maneira análoga.

1.5.3 Valor Econômico

A tabela abaixo mostra uma relação de peças que poderiam ser utilizadas na construção desta solução com os valores médios de cada componente. Os valores foram pesquisados em diversos revendedores, principalmente pela Internet.

Componente	Modelo / Fabricante	Preço Unitário (US\$)	Preço Total (US\$)
Sensores	Chaves de Pressão /		
Fonte de Energia	4 Pilhas Alcalinas / Duracell		
Chassi	Retalhos de PVC (vendido por peso na Plastécnica)	20,00	20,00
Motores	2 Servo-Motores de Aeromodelo adaptado como Motor DC / Hitec		
Redutores	Contido no Servo-Motor HiTec	-	-
Rodas	1 par de Rodas de	10,00	10,00

	Espuma para aeromodelo 2.5 in de Diâmetro / Barão Vermelho (vendido na Aerobrás)		
Suportes	1 Haste de PVC (vendido por peso na Plastécnica)	5,00	5,00
Fixadores	Parafuxos, Porcas e Cola Quente (3 bastões)		
Diversos	Fios, Solda		

A tabela acima mostra que esta solução é viável economicamente devido ao seu baixo custo de montagem. A principal desvantagem desta solução é a sua restrição em termos de algoritmos que podem ser utilizados, a ausência de um sistema de armazenamento de dados (memória), ausência de uma realimentação do movimento.

1.6 Solução 2

Esta solução consiste basicamente da utilização conjunta de 2 kits fornecidos pela lynxmotion: o Micromouse Kit e o IRPD Kit. A programação é toda feita em PBASIC num PC e transferida para o robô através de um cabo conectado à porta paralela do mesmo e ao circuito microcontrolador do Micromouse.

Esta solução é bem interessante para iniciantes pois permite a montagem e conhecimento do funcionamento dos diversos componentes e do Basic Stamp. Estes kits fornecem todos os componentes necessários para sua total montagem e manuais de instruções, constituindo assim um material bastante didático.

1.6.1 Componentes da solução

Os componentes desta solução são basicamente:

- ◆ Micromouse Kit
- ◆ IRPD Kit
- ◆ Cabo Paralelo de programação para PC
- ◆ 4 Pilhas pequenas recarregáveis
- ◆ Software de programação e download

Os componentes do Micromouse Kit são:

- ◆ 2 Rodas de Borracha de 1.5"
- ◆ 2 servo motores Hitec HS-300

- ◆ 1 First Step Microcontroler Kit
- ◆ Bases e suportes de PVC
- ◆ Parafusos

As especificações do Micromouse Kit são:

- ◆ Peso: 8 oz. (s/ pilhas)
- ◆ Largura: 4.5"
- ◆ Altura: 2.75"
- ◆ Comprimento: 4"
- ◆ Tensão de alimentação do servo: 4.8 – 6 VDC
- ◆ Corrente de alimentação do servo (IDLE): 9.7 mA cada
- ◆ Corrente de alimentação do servo (em movimento): 130 mA cada
- ◆ Torque do Servo: 49 oz.-in.
- ◆ Corrente de alimentação do First Step Microcontroller: 2mA
- ◆ Controle do Movimento: diferencial em malha aberta

A figura 89 mostra uma foto do Micromouse Kit montado sem o IRPD Kit.

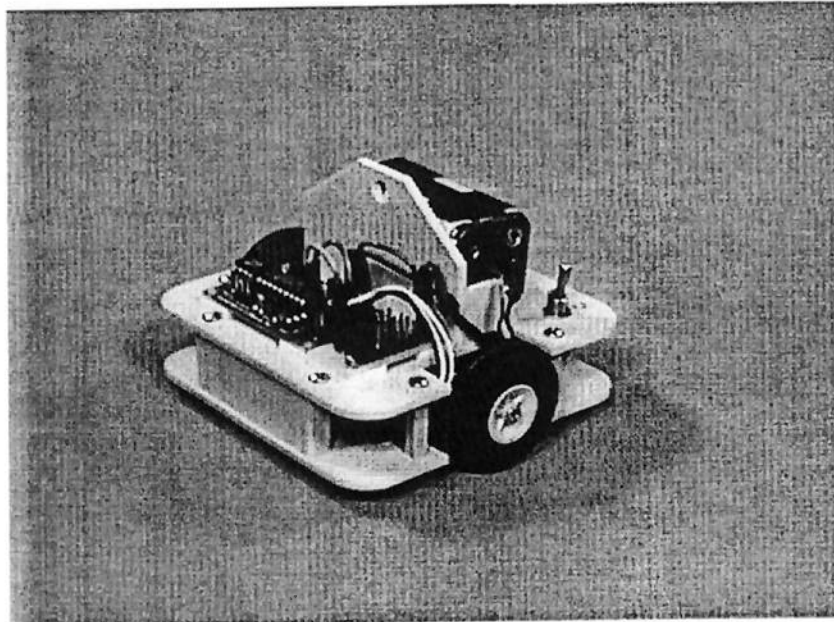


Figura 89 - Micromouse da Lynxmotion

A descrição do IRPD Kit pode ser encontrada no item Sensores, assim como a descrição dos servo-motores no item Motores.

1.6.2 Descrição da Solução

A figura 90 ilustra o diagrama de blocos desta solução.

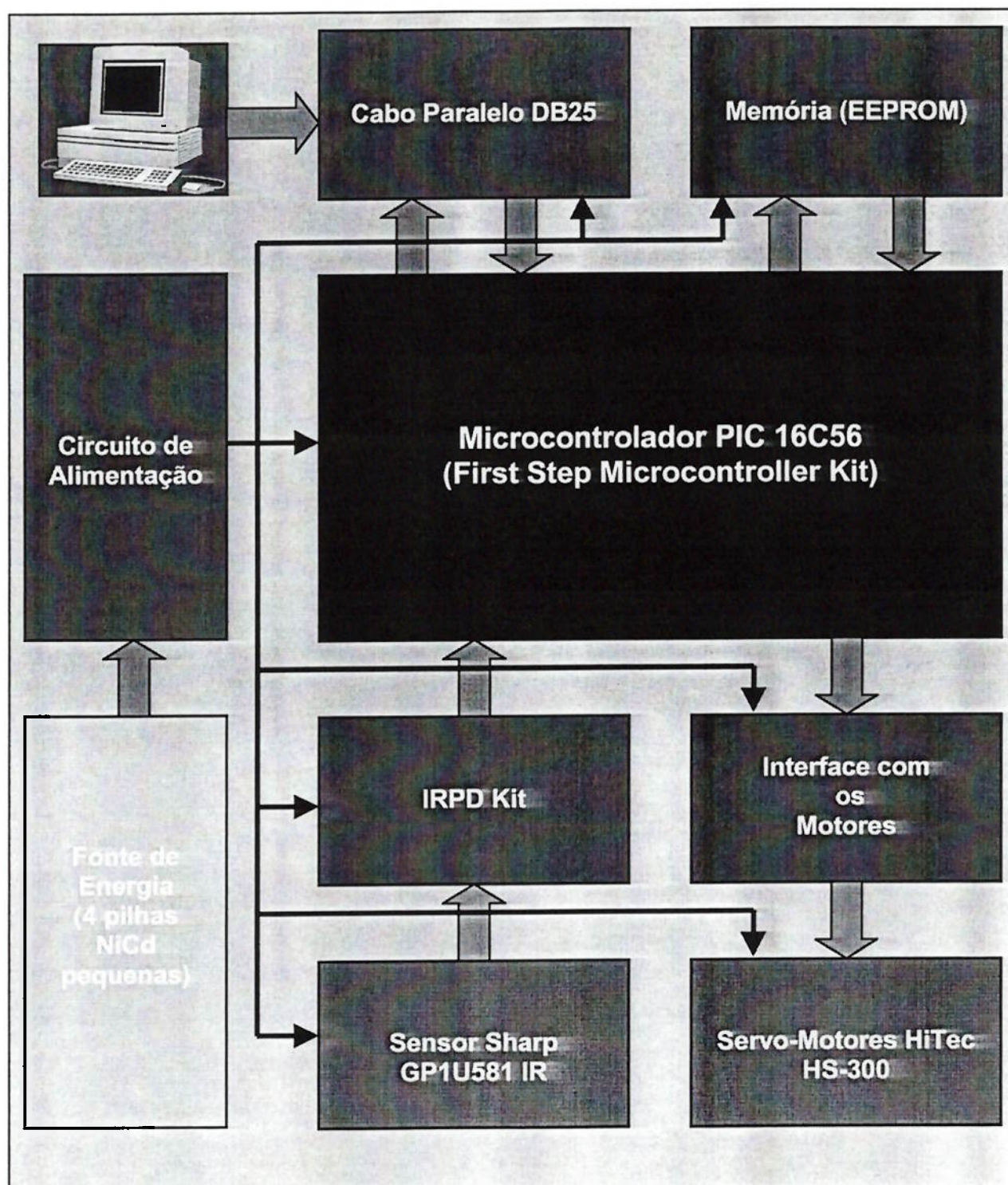


Figura 90 – Diagrama de Blocos da solução

Com esta solução implementada, é possível a programação do software de controle em PBASIC e a sua posterior carga no Basic Stamp . Algumas rotinas de controle de servo motores e sensores em PBASIC são encontradas nos ANEXOS.

Devido a restrição em termos de capacidade de armazenamento, os algoritmos mais ideais de serem implementados são os *wall followers (left-hand e right-hand)*. Logicamente, seria interessante a implementação destes algoritmos com alguma inteligência adicional, como por exemplo a detecção do movimento em loop do robô.

1.6.3 Valor Econômico

A tabela abaixo mostra uma relação de peças que poderiam ser utilizadas na construção desta solução com os valores médios de cada componente. Os valores foram pesquisados em diversos revendedores, principalmente pela Internet.

Componente	Modelo / Fabricante	Preço Unitário (US\$)	Preço Total (US\$)
Sensores	IRPD Kit /Lynxmotion	30,00	30,00
Fonte de Energia	4 Pilhas NiCd		
Interface com computador	Cabo paralelo DB25 / Lynxmotion	6,00	6,00
Chassi	Placas de PVC do Kit Micromouse / Lynxmotion	95,00	95,00
Motores	2 Servo-Motores de Aeromodelo adaptado como Motor DC do kit	-	-

	Micromouse / Hitec		
Redutores	Contido no Servo-Motor HiTec	-	-
Rodas	1 par de Rodas de Borracha do Kit Micromouse / Lynxmotion	-	-
Suportes	Hastes de PVC do kit Micromouse	-	-
Fixadores	Parafusos, Porcas e Cola Quente (3 bastões)	-	20,00
Diversos	Fios, Solda	-	20,00

A tabela acima mostra que esta solução é viável economicamente devido ao seu baixo custo de montagem. Porém esta solução apresenta algumas desvantagens que devem ser mencionadas:

- ◆ Pouco espaço de memória para os programas: devido a restrição do espaço para armazenamento do programa, este se torna bastante simplificado, restringindo assim a complexidade do algoritmo a ser implementado. Com o espaço de memória disponível no Basic Stamp I é impossível um mapeamento do labirinto de 256 células (16 x 16), o que restringe os algoritmos aos *Wall Followers*.
- ◆ Não há realimentação do movimento: o fato de não haver *feedback* do movimento não permite que a trajetória seja otimizada através da eliminação de trechos redundantes. Isto porque o Micromouse não possui a capacidade de reconhecer a sua posição exata no labirinto.

1.7 Solução 3

Esta solução utiliza componentes Lego para construção da estrutura do robô. O controle do robô é realizado através da HandyBoard, juntamente com sensores de proximidade infra-vermelho. A idéia desta solução, baseada na Handyboard, é possibilitar a implementação de algoritmos mais sofisticados no Micromouse.

1.7.1 Componentes da Solução

Esta solução utiliza basicamente os seguintes componentes:

- ◆ Sensores: sensores de proximidade infra-vermelho da Quality Technologies QRD1114
- ◆ Fonte de Energia: pilhas Ni-Cd
- ◆ Chassi: Lego
- ◆ Motores: Servo-motores adaptados para funcionar como Motor DC
- ◆ Redutores: redutores incluídos no servo-motor
- ◆ Rodas: de borracha, fornecidas no Kit Lego
- ◆ Suportes: Lego
- ◆ Fixadores: cola quente e encaixes Lego
- ◆ Memória: 32 kbytes de SRAM contidos no sistema Handyboard
- ◆ Interface com o Motor: interface para 4 o motores DC constituída pelo CI L293D H-bridge (Ponte H) incluído na Handyboard.
- ◆ Interface com o Computador: interface padrão serial incluída na Handyboard

1.7.2 Descrição da Solução

A figura 91 ilustra o diagrama de blocos desta solução contendo os componentes adotados para o Micromouse. Basicamente, a idéia é a utilização de dois servomotores dispostos na configuração diferencial, ligados ao microprocessador através dos CIs L293D da Handyboard. São utilizados 3 sensores infra-vermelhos de proximidade QRD1114 para detecção das paredes frontal e laterais. Estes Sensores são dispostos na configuração mostrada na figura seguinte, de forma que haja um sensor na frente do robô para a detecção da parede frontal, um sensor do lado esquerdo do mesmo para a detecção da parede lateral esquerda, e, finalmente, um sensor do lado direito para a detecção da parede lateral direita. A programação do robô é feita em um PC utilizando-se a linguagem Interactive C e o compilador para a mesma. O programa compilado é passado para o Micromouse através de um cabo serial conectado ao computador e à handyboard.

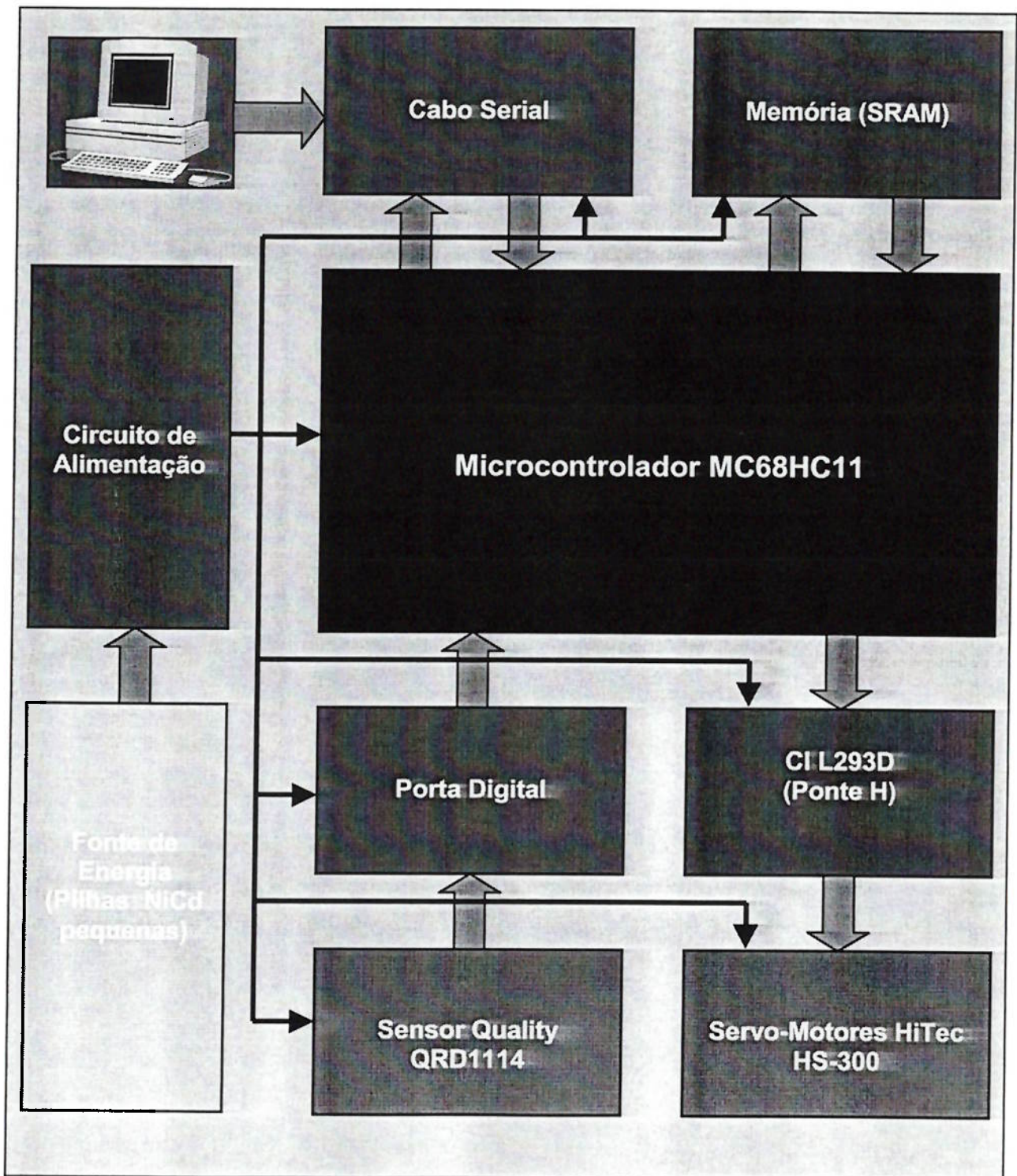
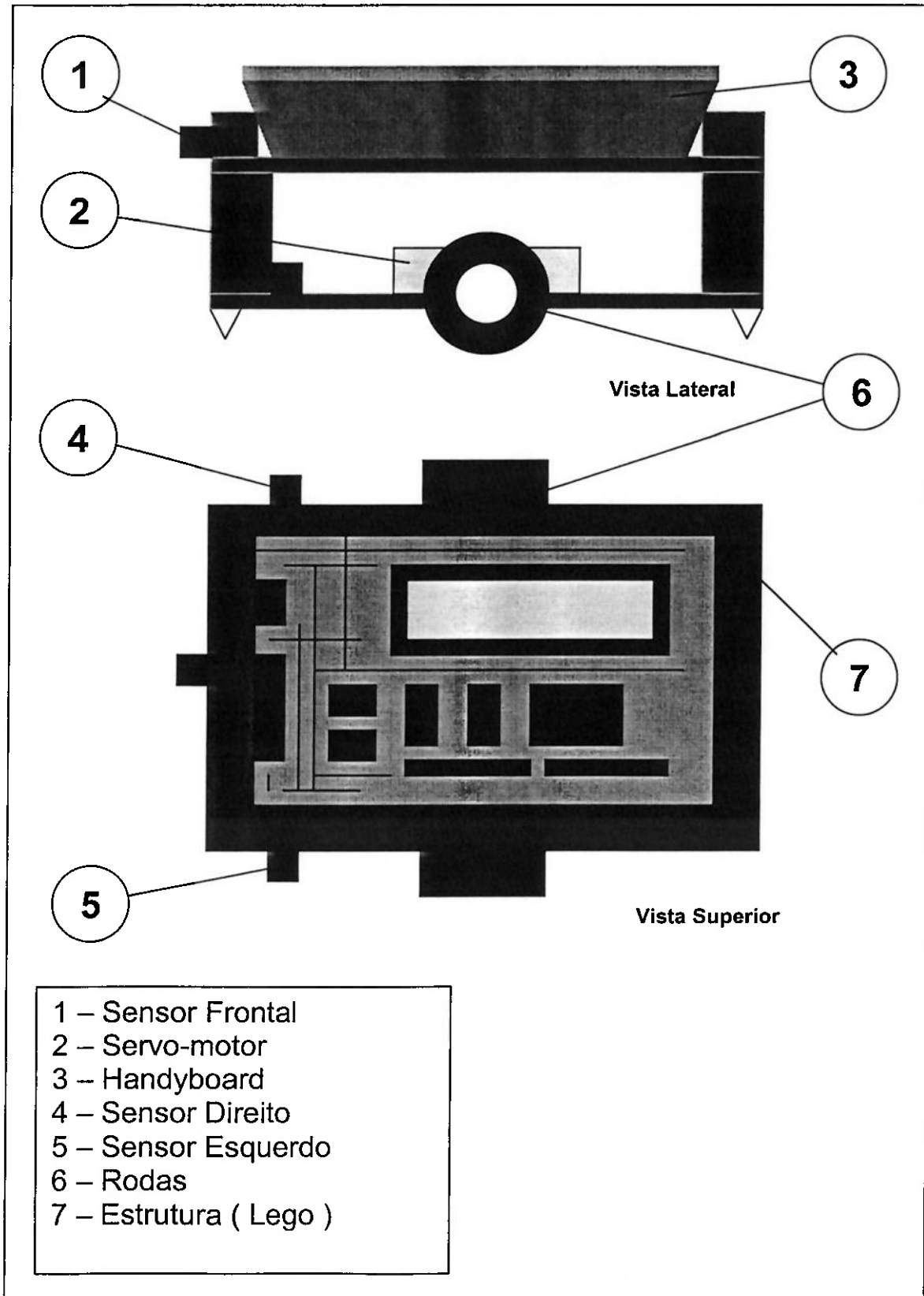
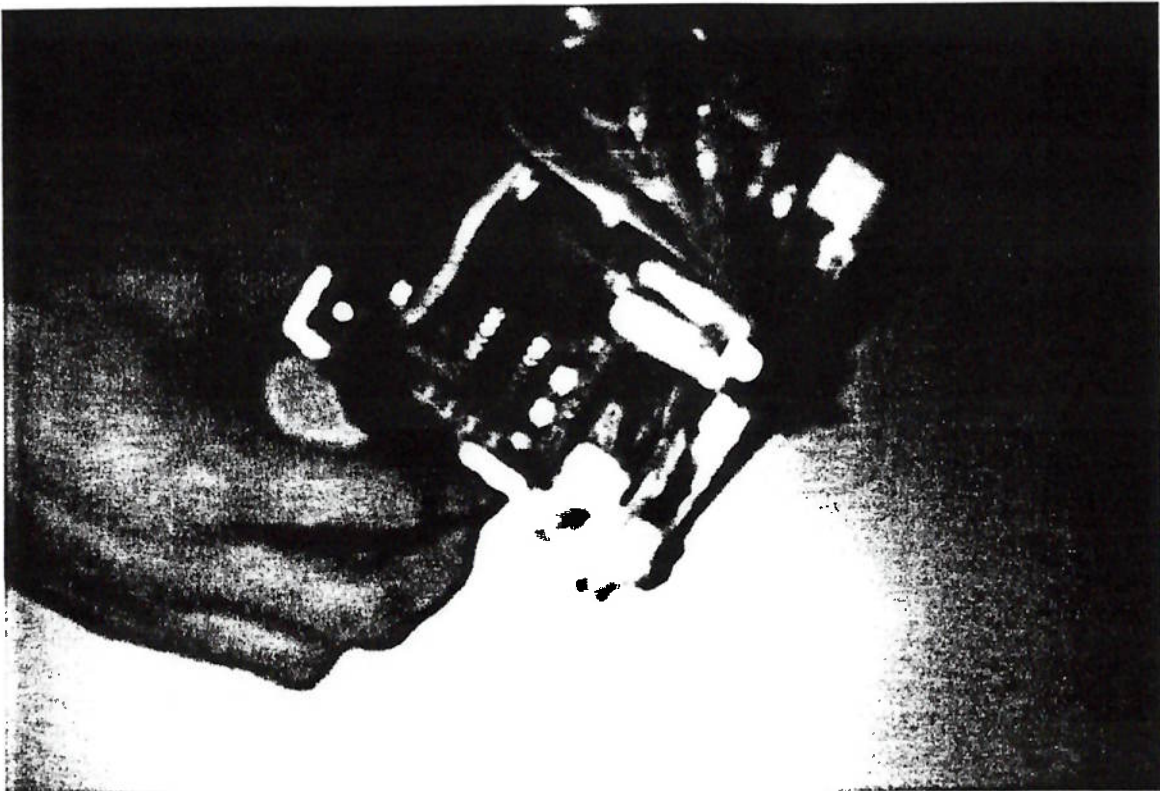
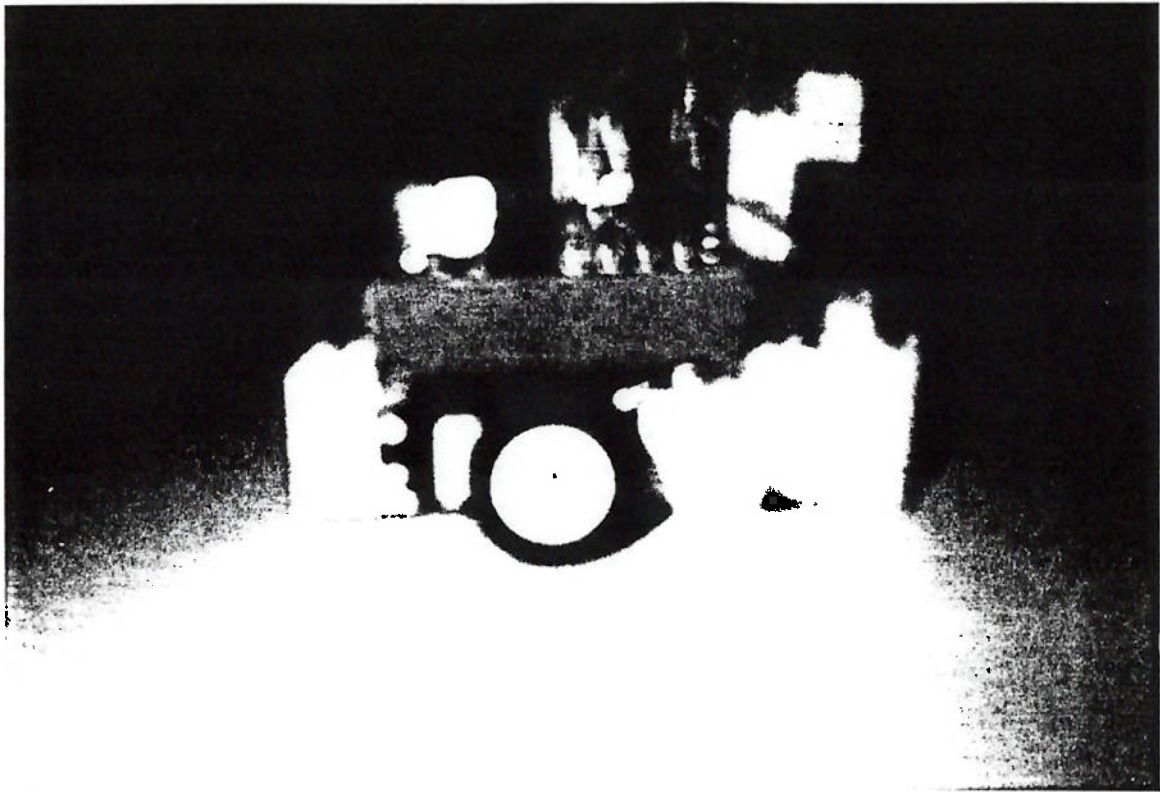


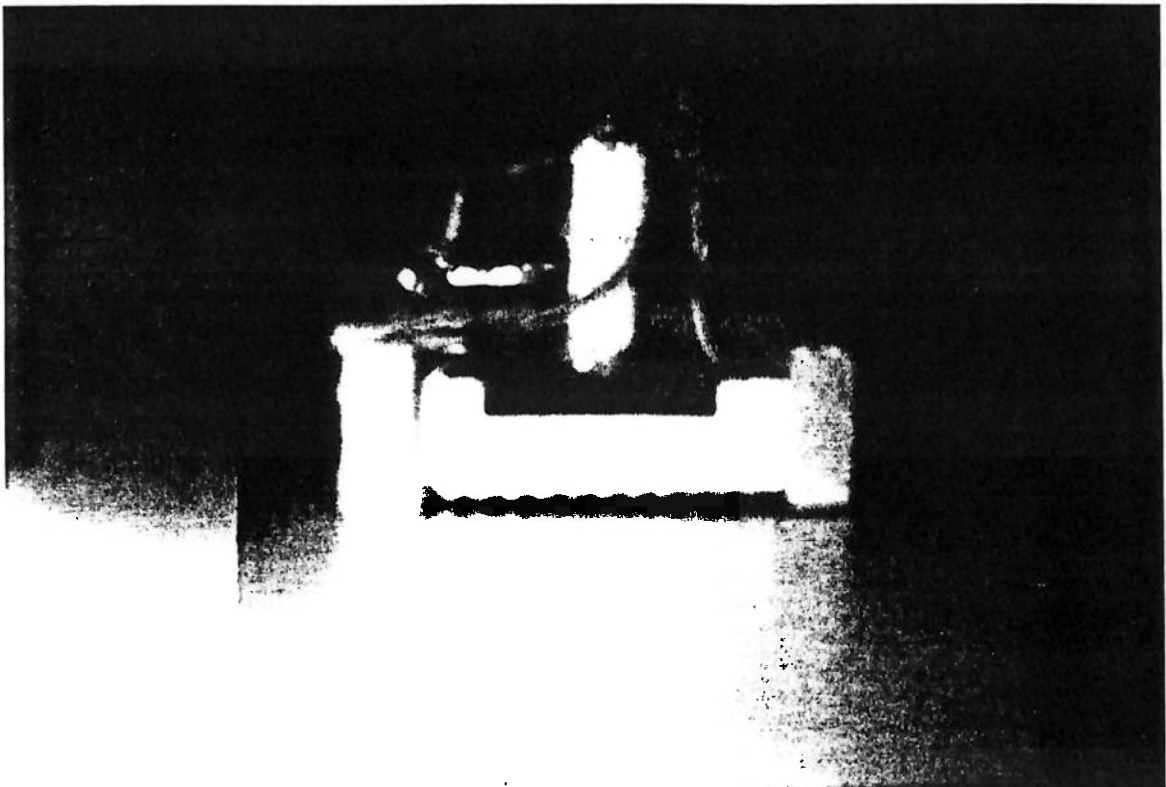
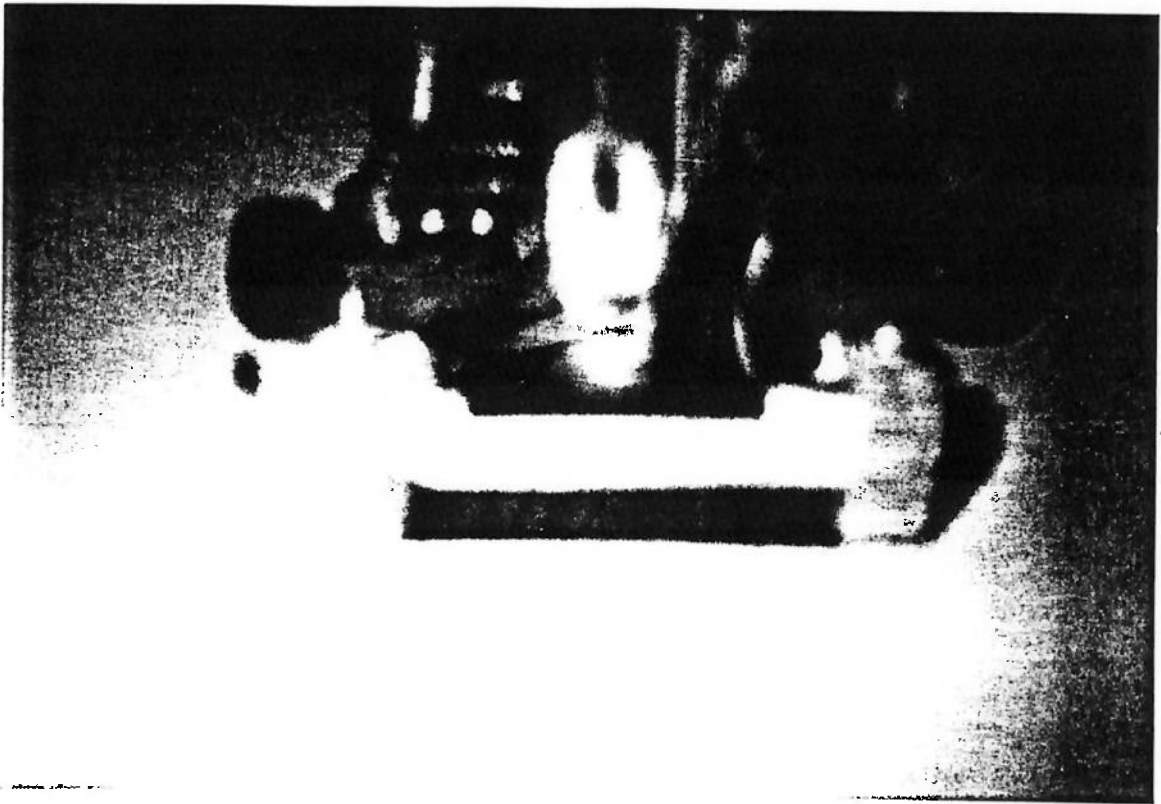
Figura 91 – Diagrama de Blocos da solução



Esta solução, assim como outras que não possuem *feedback* da rotação das rodas, possui algumas desvantagens:

- Não há controle da velocidade desenvolvida pelas rodas, o que pode implicar num assincronismo das mesmas caso haja uma diferença considerável de velocidade. Esta diferença de velocidade das mesmas pode provocar um desvio do movimento retiníneo do robô, mudando a direção do movimento do mesmo.
- O robô não consegue se localizar no labirinto, pois não sabe quais as distâncias percorridas mas somente as mudanças de direção ocorridas. Pode-se tentar uma medida do tempo que o robô se movimenta entre duas mudanças de direção seguidas. Conhecendo-se a velocidade desenvolvida pelas rodas, pode-se calcular o espaço percorrido em cada direção pelo robô. No entanto, esta medida é um tanto quanto imprecisa pois a velocidade desenvolvida pelas rodas varia de acordo com a carga da bateria, que estando baixa, implica numa menor velocidade.





1.7.3 Valor Econômico

A tabela abaixo mostra uma relação de peças que poderiam ser utilizadas na construção desta solução com os valores médios de cada componente. Os valores foram pesquisados em diversos revendedores, principalmente pela Internet.

Componente	Modelo / Fabricante	Preço Unitário (US\$)	Preço Total (US\$)
Sensores	3 x QRD1114	3,00	9,00
Fonte de Energia	Incluídas na Handyboard	-	-
Interface com computador	Incluído na Handyboard	-	-
Chassi	Kit lego	140,00	140,00
Motores	2 Servo-Motores de Aeromodelo adaptado como Motor DC do kit Micromouse / Hitec	30,00	60,00
Redutores	Contido no Servo-Motor HiTec	-	-
Rodas	1 par de Rodas de espuma de aeromodelo	12,00	12,00
Suportes	Hastes de PVC do kit Micromouse	10,00	10,00
Fixadores	Parafuxos, Porcas e Cola Quente (3 bastões)	-	20,00
Diversos	Fios, Solda	-	20,00

A tabela acima mostra que esta solução é viável economicamente devido ao seu médio custo de montagem. Deve-se notar o elevado custo do kit lego.

1.8 Solução 4

Esta solução utiliza placas e hastes de PVC para construção da estrutura do robô. O controle do robô é realizado através da HandyBoard, juntamente com sensores de proximidade infra-vermelho. Nesta versão do Micromouse é implementado um *feedback* da velocidade da roda do robô através de um encoder óptico em cada roda.

1.8.1 Componentes da Solução

Esta solução utiliza basicamente os seguintes componentes:

- ◆ Sensores: sensores de proximidade infra-vermelho da Quality Technologies QRD1114
- ◆ Encoder: 2 discos listrados e 2 sensores de proximidade infra-vermelho da Quality Technologies QRD1114
- ◆ Fonte de Energia: pilhas Ni-Cd
- ◆ Chassi: placas e hastes em PVC
- ◆ Motores: Servo-motores adaptados para funcionar como Motor DC
- ◆ Redutores: redutores incluídos no servo-motor
- ◆ Rodas: de espuma (de aeromodelo)
- ◆ Suportes: hastes em PVC
- ◆ Fixadores: cola quente, parafusos e porcas
- ◆ Memória: 32 kbytes de SRAM contidos no sistema Handyboard
- ◆ Interface com o Motor: interface para 4 o motores DC constituída pelo CI L293D H-bridge (Ponte H) incluído na Handyboard.
- ◆ Interface com o Computador: interface padrão serial incluída na Handyboard

1.8.2 Descrição da Solução

A figura X.1 ilustra o diagrama de blocos desta solução contendo os componentes adotados para o Micromouse. Basicamente, esta solução a idéia é a utilização de dois servo-motores dispostos na configuração diferencial, ligados ao microprocessador através dos CIs L293D da Handyboard. São utilizados 3 sensores infra-vermelhos de proximidade QRD1114 para detecção das paredes frontal e laterais. Estes Sensores são dispostos na configuração mostrada na figura seguinte, de forma que haja um sensor na frente do robô para a detecção da parede frontal, um par de sensores do lado esquerdo do mesmo para a detecção da parede lateral esquerda, e, finalmente, um par de sensores do lado direito para a detecção da parede lateral direita. A programação do robô é feita em um PC utilizando-se a linguagem Interactive C e o compilador para a mesma. O programa compilado é passado para o Micromouse através de um cabo serial conectado ao computador e à handyboard. Nesta solução é implementado ainda um encoder óptico em cada roda para a medição da velocidade das mesmas. Este encoder é composto por um sensor QRD1114 que fica apontado para um disco padronizado com faixas escuras e claras intercaladas. A cor escura não reflete a luz infra-vermelha emitida pelo sensor, já a luz clara sim. Desta forma o sensor envia para o processador um trem de pulsos com a frequência proporcional ao movimento da roda em questão.

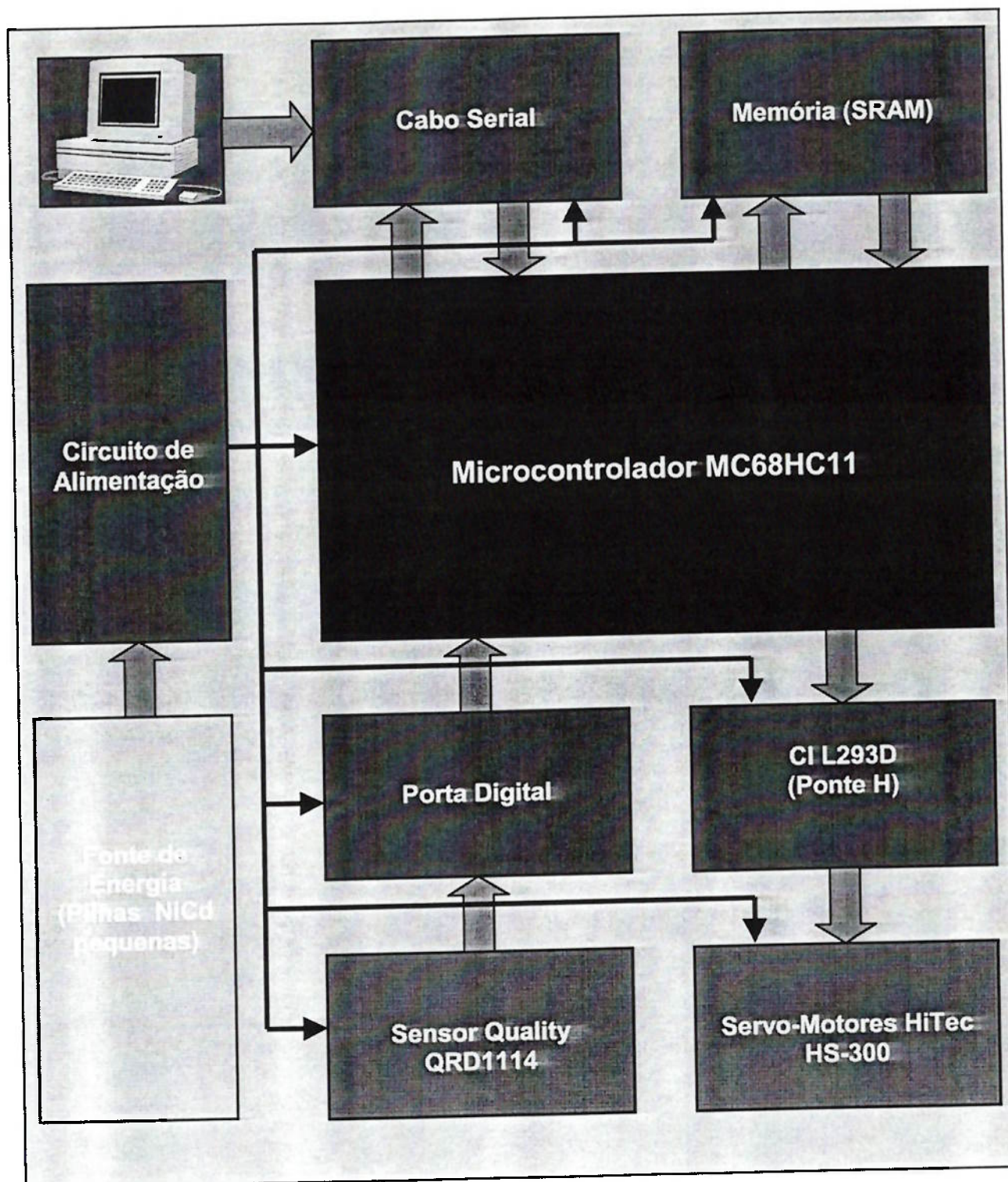


Figura 90 – Diagrama de Blocos da solução

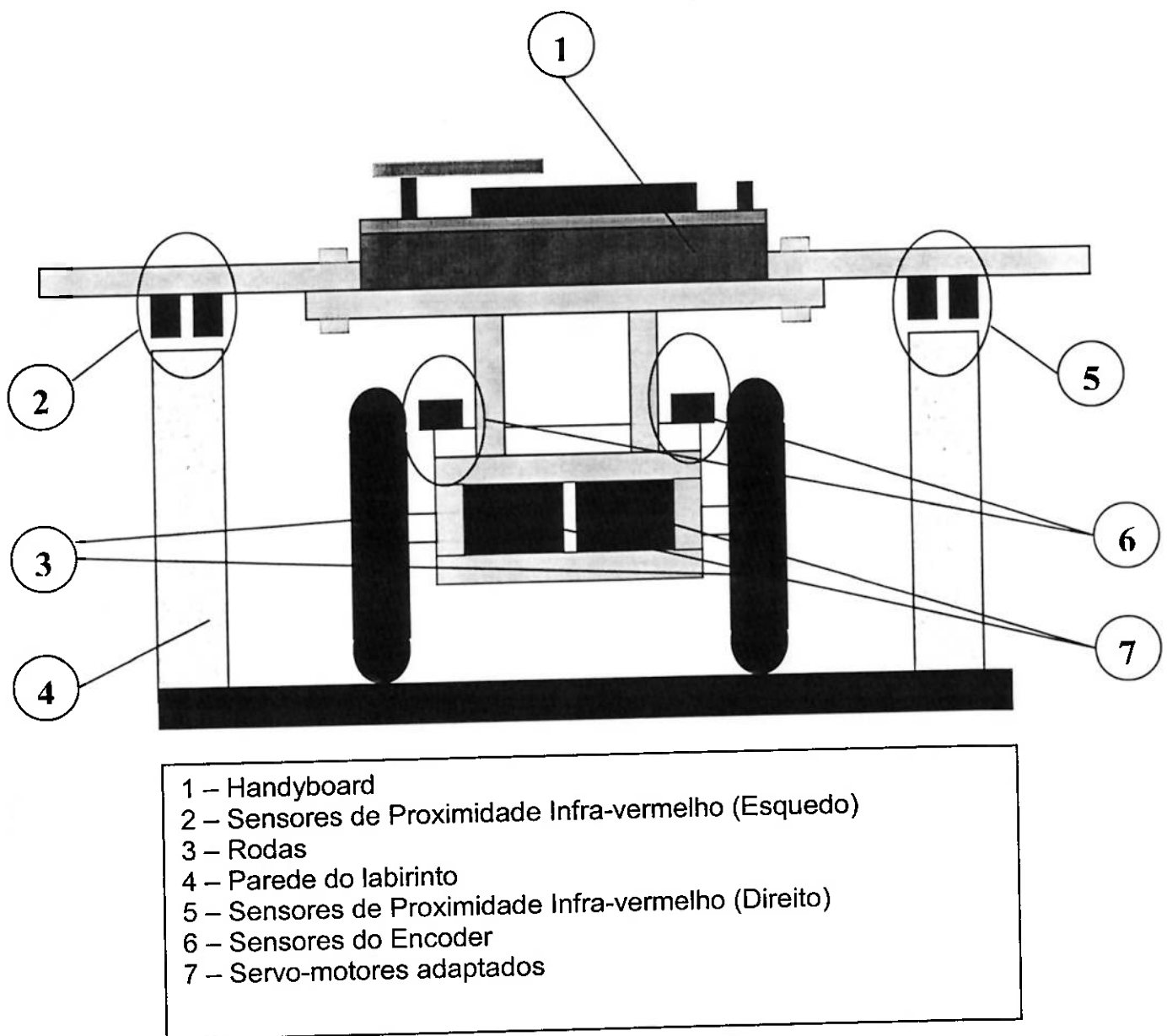


Figura 91 – Esquema da solução

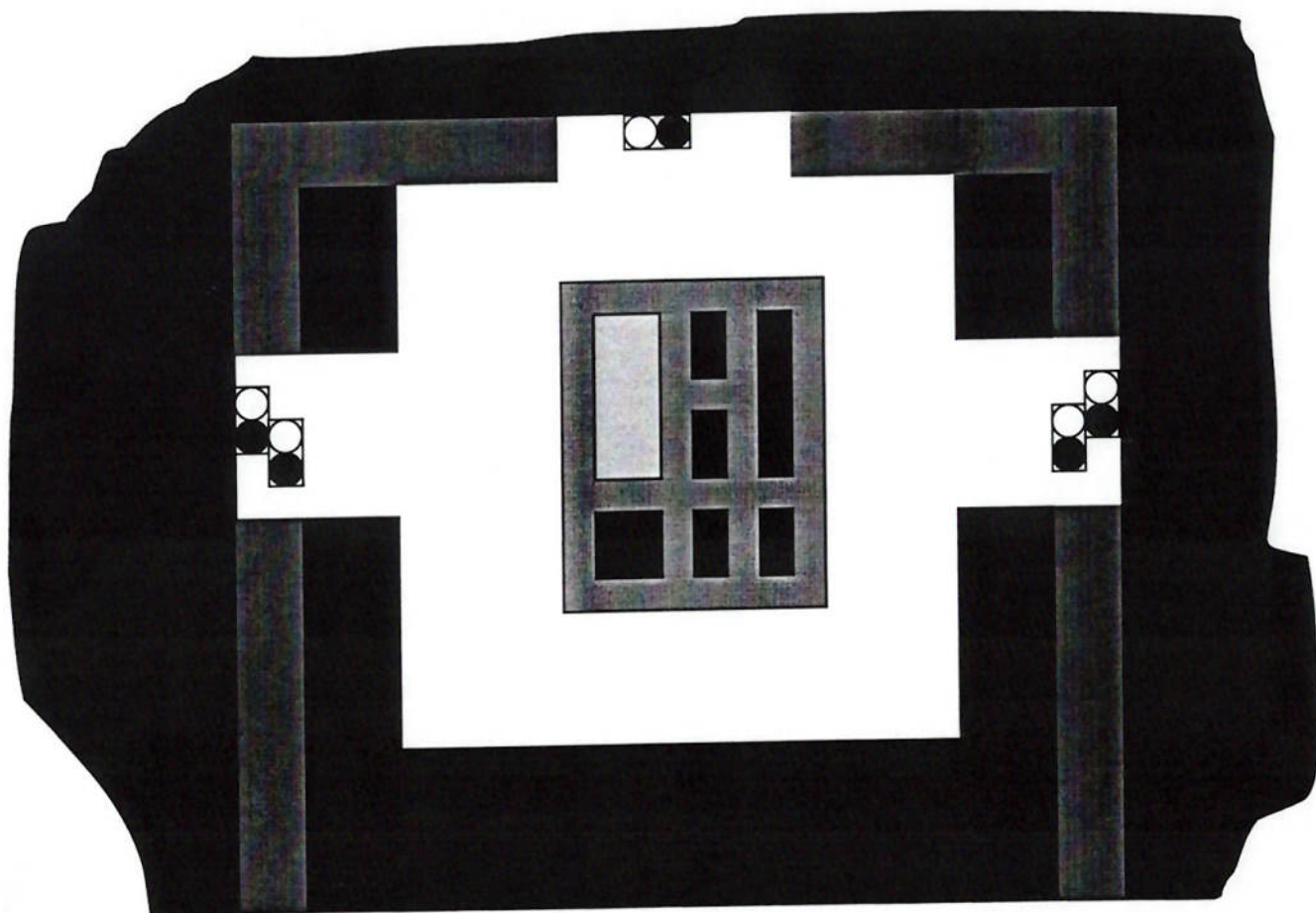


Figura 92 – Vista Superior do Micromouse no Labirinto

Esta configuração, mostrada na figura abaixo utiliza 5 sensores IR. O posicionamento deles é acima da borda superior da parede do labirinto (borda vermelha), apontando para a mesma. Desta forma, o sensor detecta a diferença na reflexão dos raios infra-vermelho na cor vermelha e na cor preta (chão do labirinto).

Com esta configuração é possível a detecção das paredes laterais e frontal, além de garantir um certo grau de alinhamento com as paredes laterais. Este alinhamento é feito da seguinte maneira: Quando ocorre um desvio angular do movimento do robô em relação às paredes do labirinto, um dos dois sensores de cada lado não detecta reflexo de luz infra-vermelha. Desta forma, sabe-se para

qual lado o robô está desalinhado, e pode-se corrigir aumentando-se a potência do motor do lado correspondente até que o sensor passe a detectar o reflexo.

1.8.3 Valor Econômico

A tabela abaixo mostra uma relação de peças que poderiam ser utilizadas na construção desta solução com os valores médios de cada componente. Os valores foram pesquisados em diversos revendedores, principalmente pela Internet.

Componente	Modelo / Fabricante	Preço Unitário (US\$)	Preço Total (US\$)
Sensores	3 x QRD1114	3,00	9,00
Fonte de Energia	Incluídas na Handyboard	-	-
Interface com computador	Incluído na Handyboard	-	-
Chassi	Placas de PVC	30,00	30,00
Motores	2 Servo-Motores de Aeromodelo adaptado como Motor DC do kit Micromouse / Hitec	30,00	60,00
Redutores	Contido no Servo-Motor HiTec	-	-
Rodas	1 par de Rodas de espuma de aeromodelo	12,00	12,00

Suportes	Hastes de PVC do kit Micromouse	10,00	10,00
Fixadores	Parafuxos, Porcas e Cola Quente (3 bastões)	-	20,00
Diversos	Fios, Solda	-	20,00

A tabela acima mostra que esta solução é viável economicamente devido ao seu médio custo de montagem.