



UNIVERSIDADE LUTERANA DO BRASIL  
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA



ÉVERTON LOCATELLI

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE  
DETECÇÃO DE POSIÇÃO PARA AGV

Canoas, Dezembro de 2009



**ÉVERTON LOCATELLI**

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE  
DETECÇÃO DE POSIÇÃO PARA AGV**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Departamento de  
Engenharia Elétrica da ULBRA como um  
dos requisitos obrigatórios para a obtenção  
do grau de Engenheiro Eletricista

**Departamento:**

Engenharia Elétrica

**Área de Concentração**

Controle de Posição

Instrumentação

**Professor Orientador:**

Eng. Eletr. Luis Fernando Espinosa Cocian – CREA- RS: 88.866-D

Canoas 2009



## FOLHA DE APROVAÇÃO

**Nome do Autor:** Éverton Locatelli

**Matrícula:** 012105771-2

**Título:** Desenvolvimento de um Sistema de Detecção de Posição para AGV

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da ULBRA como um dos requisitos obrigatórios para a obtenção do grau de Engenheiro Eletricista

**Professor Orientador:**

Eng. Eletr. Luis Fernando Espinosa Cocian

CREA-RS: 88.866-D

**Banca Avaliadora:**

MSc. Eng. Eletr. Dalton Luiz Rech Vidor

CREA-RS: 79.005-D

Conceito Atribuído (A-B-C-D):

Esp. Eng. Eletr. Márcio Gil Faccin

CREA-RS: 12.230-1

Conceito Atribuído (A-B-C-D):

**Assinaturas:**

---

Autor  
Éverton Locatelli

---

Orientador  
Luis Fernando Espinosa Cocian

---

Avaliador  
Dalton Luiz Rech Vidor

---

Avaliador  
Márcio Gil Faccin

Relatório Aprovado em:



## DEDICATÓRIA

Dedico a aos meus pais Baldino Locatelli e Glória Maria Agostini Locatelli que puderam me proporcionar tantas alegrias em toda a minha vida, a minha namorada e futura esposa Gisele da Gama Fraga que soube compreender os momentos que fiquei ausente, ao meu irmão Evandro Locatelli que literalmente acompanhou passo a passo esta longa jornada, ao meu irmão Cassiano Locatelli e cunhada Valeria da Silva Locatelli que sempre apoiaram nos momentos difíceis, ao meu sobrinho Tiago da Silva Locatelli que me fazia rir nos momentos mais tensos e a todos os familiares e amigos que são a base solida dessa valiosa conquista.



## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me proporcionar à vida e a saúde necessária para que eu possa realizar mais uma etapa da minha vida.

A todos que colaboraram direta ou indiretamente na elaboração deste trabalho, o meu reconhecimento.

Aos Professores Augusto, Dalton, Godoy, e Cocian pelo estímulo, dedicação e esforço pessoal proporcionado.

Aos colegas Emerson Pedrotti, Evandro Locatelli (o "mano"), Flavio Giordani (o "gordinho"), Gilberto Davi Nunes Filho (o "giba"), Guilherme Neukamp (o "alemão"), Leandro Fernandes (o "santa rosa"), Marcio, Rodrigo Bólico (o "negrinho"), Rodrigo Brandt (o "de caxias"), Rogério Volcan (o "pai fresco"), pelas sugestões, observações e dúvidas.



## EPÍGRAFE

*“O sábio não se senta para lamentar-se,  
mas se põe alegremente em sua tarefa  
de consertar o dano feito.”  
William Shakespeare*



## RESUMO

LOCATELLI, Éverton. **Desenvolvimento de um sistema de detecção de posição para AGV.** Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Elétrica - Departamento de Engenharia Elétrica. Universidade Luterana do Brasil. Canoas, RS.

Este trabalho mostra o desenvolvimento de um sistema para detecção da posição do *Automated Guided Vehicle* (Veículo Auto Guiado, AGV), montado com sensores sobre uma plataforma construída em alumínio.

Propõe uma metodologia para avaliação dos obstáculos e a sua real posição tomando a decisão de reduzir a velocidade em 30% e 50%, ou em casos de até parar caso haja risco de colisão, isso será permitido devido a um sensor sonar, que consegue uma medida com precisão de 250 mm até 2000 mm.

Este será capaz de seguir um caminho desenhado na superfície do piso por uma fita, sobre a qual o AGV ira se mover fazendo curvas com vários ângulos para isso foi implantado uma série de sensores fixados embaixo do veículo.

**Palavras chave:** AGV, Controle, Veículo autônomo, Instrumentação, Detecção de posição.



## ABSTRACT

*LOCATELLI, Everton. System for detecting the position of the AGV. Conclusion Course in Electrical Engineering - Department of Electrical Engineering. Lutheran University of Brazil. Canoas, RS.*

*This work shows the development of a system to detect the position of Automated Guided Vehicle (Auto Guided Vehicle, AGV), fitted with sensors on a platform constructed of aluminum.*

*It proposes a methodology for assessment of barriers and the actual position taking the decision to reduce speed by 30% and 50%, or in cases even stop if risk of collision, it will be allowed due to a sonar sensor that can measure with accuracy of 250 mm to 2000 mm.*

*This will be able to follow a path drawn on the floor surface of a tape on which the AGV will move cornering with various angles to this was implemented a series of sensors fixed underneath the vehicle.*

*Keywords: AGV, control, vehicle alone, Instrumentation, Detection of position.*



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2-1 - Principais componentes de um AGV.....	21
Figura 2-2 - AGV de transporte em “comboio” em um estoque.....	22
Figura 2-3 - Operação de carga/descarga.....	22
Figura 2-4 - AGV em transito num armazém.....	23
Figura 2-5 - Sistema por reflexão óptica.....	24
Figura 2-6 - Sistema com três sensores.....	24
Figura 2-7 - Câmara fotográfica com iluminação artificial.....	25
Figura 2-8 - Guias UV.....	25
Figura 2-9 - Disposição dos sensores.....	26
Figura 2-10 - Scanner Laser que envia ao AGV a sua posição e ângulo.....	27
Figura 2-11 - “Odyssey Tugger Vehicle” guiado por sistema laser.....	27
Figura 2-12 - Pormenor no sensor e imã.....	28
Figura 2-13 – Funcionamento do sistema GPS.....	28
Figura 2-14 - Funcionamento do fotodiodo.....	29
Figura 2-15 - Sensor LDR.....	30
Figura 2-16 - Funcionamento do sensor indutivo.....	30
Figura 2-17 - Sensor indutivo.....	30
Figura 2-18 - Sensor capacitivo.....	31
Figura 2-19 - Funcionamento do Sonar.....	31
Figura 2-20 - Atuador hidráulico linear.....	34
Figura 2-21 - Atuador hidráulico rotativo.....	34
Figura 2-22 - Atuador pneumático.....	35
Figura 2-23 - Atuador elétrico.....	35
Figura 2-24 - Atuador elétrico.....	36
Figura 3-1 - Diagrama de Blocos simplificado do sistema.....	38
Figura 3-2 - Diagrama da base do veículo.....	39
Figura 3-3 - Base do veículo.....	39
Figura 3-4 - Roda dianteira.....	40
Figura 3-5 - Roda traseira.....	40
Figura 3-6 - Tecla de tact switch.....	41
Figura 3-7 - Hardware do Display LCD ligado ao PIC 18F4620.....	43
Figura 3-8 - Sensores fotoelétricos.....	44
Figura 3-9 - Esquema elétrico da ligação dos sensores fotoelétricos.....	44
Figura 3-10 - Circuito do comparador.....	45
Figura 3-11 - Pinagem do CI LM311, comparador.....	45
Figura 3-12 - Interruptor NA.....	46
Figura 3-13 - Esquema do funcionamento dos sensores de contato seco.....	46
Figura 3-14 - Esquema elétrico do contato seco.....	46
Figura 3-15 - Módulo sonar.....	47
Figura 3-16 - Diagrama do funcionamento do sonar.....	47
Figura 3-17 - Esquema elétrico do sonar.....	48
Figura 3-18 - Ligação do sinal luminoso.....	49
Figura 3-19 - Ligação do sinal sonoro.....	49
Figura 3-20 - Pinagem do PIC 18F4620.....	51
Figura 3-21 - Pinagem do CI 293B.....	51
Figura 3-22 - Esquema elétrico da ligação do driver de potencia para ligação dos motores.....	52



Figura 3-23 - Motor elétrico.....	52
Figura 3-24 - Estrutura básica de um Encoder. ....	53
Figura 3-25 - Fototransistor Encapsulado. ....	53
Figura 3-26 - Esquema elétrico do sistema óptico da roda direita. ....	55
Figura 3-27 - Esquema elétrico do sistema óptico da roda esquerda. ....	55
Figura 3-28 - Pinagem do CI 74HCT14.....	56
Figura 3-29 - Placa do processador .....	57
Figura 3-30 - Sistema de Controle dos Motores e Aquisição de Dados. ....	58
Figura 3-31 - Placa sensor fotoelétrico. ....	59
Figura 3-32 - Placa sensor fotoelétrico. ....	59
Figura 3-33 - Placa de gravação do PIC.....	60
Figura 3-34 - Fluxograma da rotina principal do Software. ....	61
Figura 3-35 - Fluxograma da rotina de interrupção Software.....	62
Figura 3-36 - Fluxograma da rotina de interrupção Software.....	63
Figura 3-37 – Fluxograma para a leitura da faixa.....	64
Figura 3-38 - Fluxograma do Programa.....	66
Figura 4-1 - Sinal de saída do sensor fotoelétrico na fita de sinalização.....	69
Figura 4-2 - Sinal de saída do sensor fotoelétrico fora da fita de sinalização.....	69
Figura 4-3 - Sinal de saída do comparador na fita de sinalização. ....	70
Figura 4-4 - Sensor fotoelétrico fora da área de sensibilidade.....	70
Figura 4-5 - Gráfico da distância medida x distância esperada. ....	73
Figura 4-6 - Área de cobertura do sonar. ....	74
Figura 5-1 – Protótipo do AGV implementado. ....	77
Figura 5-2 – Protótipo do AGV implementado vista superior.....	78



## LISTA DE TABELAS

Tabela 3-1 - Conexões do display de LCD. ....	42
Tabela 3-2 - Principais Características do PIC18F4620. ....	50
Tabela 4-1 - Distância percorrida x PWM x indicada. ....	71
Tabela 4-2 - Distância medida x distância calculada e o erro.....	72
Tabela 4-3 - Distância medida horizontal x vertical. ....	73



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AGV: *Automated Guided Vehicle* em português Veículo Guiado Automaticamente.

UV: Ultravioleta.

LDR: *Light Dependent Resistor* do português Resistor dependente da luz

NA: Normalmente aberta.

NF: Normalmente fechada.

LCD: *Liquid Cristal Display* (Tela de Cristal Líquido).

EEPROM: Electrically-Erasable Programmable Read Only Memory.



## LISTA DE SÍMBOLOS

$v$  - tensão elétrica [V]

$i$  - corrente elétrica [A]

$R$  - resistência elétrica [ $\Omega$ ]

$D \theta$  = Deslocamento angular

$\Delta t$  - intervalo de tempo

$\omega$  - velocidade angular [rad/s]



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>16</b>
1.1	Visão Geral do Problema	17
1.2	Formulação do Problema de Engenharia	18
1.2.1	Objetivos gerais	18
1.2.2	Fatores condicionantes	18
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>19</b>
2.1	Conceituação	19
2.2	Breve Histórico	19
2.3	O que é um AGV	21
2.4	Navegação Automática	23
2.4.1	Caminho Fixo	23
2.4.1.1	Reflexão Óptica	24
2.4.1.2	Reconhecimento por Imagens	25
2.4.1.3	Luz Ultravioleta	25
2.4.1.4	Referencial Indutivo	25
2.4.2	Caminho Semi-fixo	26
2.4.2.1	Referência por Laser	26
2.4.3	Caminho Indefinido (sem referência)	27
2.4.3.1	Referência Inercial	27
2.4.3.2	Referência por GPS	28
2.5	Tecnologias de Transdutores	28
2.5.1	Sensores Ópticos	29
2.5.1.1	Fototransistor	29
2.5.1.2	LDR	29
2.5.2	Indutivos	30
2.5.3	Capacitivos	31
2.5.4	Sonar	31
2.5.5	Encoder	32
2.6	Sistemas de Alerta e Segurança	33
2.7	Atuadores	33
2.7.1	Atuadores Hidráulicos	34
2.7.1.1	Atuador Linear	34
2.7.1.2	Atuador Rotativo	34
2.7.2	Atuadores Pneumáticos	35
2.7.3	Atuadores Elétricos	35
2.8	Motores elétricos	35
2.9	Aplicações dos AGV	36
2.10	Perspectivas Futuras	36
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>37</b>
3.1	Descrição Geral do Sistema	37
3.2	Diagrama de Blocos	38
3.3	Descrição dos Sistemas Mecânicos	38
3.3.1	Base do Veículo	39
3.3.2	Rodas Dianteiras	39



3.3.3	Roda Traseira .....	40
3.4	Descrição dos Sistemas Eletroeletrônicos .....	40
3.4.1	Teclas de Seleção .....	41
3.4.2	Display LCD.....	41
3.4.3	Sensores .....	43
3.4.3.1	Sensores de Inicialização.....	43
3.4.3.2	Sensores de Obstáculos.....	45
3.4.4	Alarmes .....	48
3.4.4.1	Sinal Luminoso .....	48
3.4.4.2	Sinal Sonoro .....	49
3.4.5	Microcontrolador .....	49
3.4.5.1	PIC 18F4620.....	49
3.4.6	Driver de Potência para Acionamento dos Motores .....	51
3.4.7	Motores Elétricos.....	52
3.4.8	Encoder .....	53
3.4.9	Placas Eletrônicas.....	56
3.4.9.1	Placa do Controlador .....	56
3.4.9.2	Placa do Sensor Fotoelétrico.....	59
3.5	Descrição dos Sistemas Informáticos e Computacionais.....	59
3.5.1	Hardware de Gravação do Firmware.....	60
3.5.2	O Compilador MicroCD.....	60
3.5.3	Software de Gravação .....	60
3.6	Firmware .....	60
3.6.1	Iniciando o Software .....	63
3.7	Principais Rotinas.....	66
3.7.1	Rotina para Seguimento da Fita Guia.....	66
3.7.2	Leitura do Sonar .....	67
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>68</b>
4.1	Seguimento a Fita Guia .....	68
4.2	Sensores Fotoelétricos .....	68
4.3	Testes dos Encoders .....	71
4.4	Sonar .....	72
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>75</b>
5.1	Problemas Encontrados.....	75
5.1.1	Ruído no Encoder .....	75
5.1.2	Sinal dos Sensores Fotoelétricos.....	76
5.2	Avaliação dos Objetivos Propostos .....	76
5.3	Conclusões .....	76
5.4	Sugestões para Trabalhos Futuros .....	78
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>79</b>
	<b>OBRAS CONSULTADAS.....</b>	<b>80</b>
	<b>APÊNDICE A – SOFTWARE PRINCIPAL .....</b>	<b>81</b>
	<b>APÊNDICE B – ROTINA DE INTERRUPÇÃO .....</b>	<b>84</b>
	<b>APÊNDICE C – OUTRAS FUNÇÕES .....</b>	<b>86</b>
	<b>ANEXO A – MANUAL DO SENSOR SONAR .....</b>	<b>94</b>
	<b>ANEXO B – CARACTERÍSTICAS PIC16F4620 .....</b>	<b>95</b>
	<b>ANEXO C – DATASHEET DO COMPARADOR LM311.....</b>	<b>97</b>
	<b>ANEXO D – DATASHEET DO FOTOTRANSISTOR PT331.....</b>	<b>100</b>
	<b>ANEXO E – DATASHEET DO FOTODIODO PD333.....</b>	<b>103</b>



# 1 INTRODUÇÃO

A navegação autônoma de veículos há muito desperta o interesse de pesquisadores, principalmente na área de inteligência artificial. Com o desenvolvimento de tecnologias de navegação para veículos autônomos e o aumento da capacidade de processamento dos computadores, apareceram os primeiros robôs móveis industriais. Embora o seu âmbito de aplicação seja muito mais amplo, um robô móvel procura conjugar num só dispositivo de automação a mobilidade de um veículo autônomo e a capacidade de manuseamento e manipulação dos robôs. Neste domínio, o AGV (*Automatic Guided Vehicle*) é um dispositivo com maior aplicação em empresas industriais ou de distribuição.

Nos últimos anos houve muito interesse no desenvolvimento de tecnologias aplicadas em veículos guiados automaticamente. Desde a automatização de tarefas que envolvem traslado e carga de materiais ou simples tarefas de inspeção, onde implica o movimento desde um ponto inicial a um ponto final do veículo, tem havido uma grande melhoria na redução de riscos, tempos de traslado e consumo de energia.

A movimentação dos veículos guiados automaticamente (AGV) é baseada no estudo das diferentes técnicas de navegação existentes, as quais utilizam diferentes tipos de sensores (infravermelho, ultrassom, táctil, visão, etc.) como parte dos equipamentos para realizar tarefas de movimentação do AGV desde uma posição inicial até uma posição final. Assim, uma aplicação comum é o transporte de materiais e peças.

Tradicionalmente os AGV são utilizados em sistemas de manufatura, especialmente no deslocamento de peças e materiais. O seu uso tem crescido enormemente desde sua introdução. O número de áreas de aplicação e variação nos tipos tem aumentado significativamente. Armazéns e centros com muitas intersecções são exemplos de áreas distribuídas.



Existem três tecnologias principais que são comumente usadas em sistemas comerciais dos AGV: 1- cabo guiado, 2- rastreamento de caminhos desenhados no chão "*paint strips*" e 3- veículos auto-guiados. As tecnologias mais recentes como laser, GPS, fusão sensorial, visão, etc., são desenvolvidas para especificamente os veículos auto-guiados.

Os próximos capítulos deste trabalho podemos verificar os estudos feitos para a escolha da metodologia utilizada, assim como os materiais utilizados, os testes de funcionamento e a conclusão.

O capítulo 2 apresenta o referencial teórico sobre as metodologias e tecnologias que são geralmente aplicadas nos processos existentes nos sistemas comerciais usados pela indústria. Também são aqui descritas as partes que compõem os AGV e as suas finalidades. Também são descritos alguns dos métodos de locomoção e sensores de posição.

O capítulo 3 apresenta os materiais usados e os métodos empregados para o desenvolvimento deste projeto. Dentre eles a montagem do AGV, do hardware de controle, junto com a explicação de como o processo foi planejado e executado. Também é descrito neste capítulo o desenvolvimento do software, relatando os passos e as decisões em função dos eventos (sinais) gerados pelos sensores.

O capítulo 4 apresenta a metodologia de testes e os resultados obtidos do conjunto funcional, na forma de tabelas e gráficos, dos dados levantados após os ensaios realizados.

O capítulo 5 descreve os problemas encontrados durante a montagem, e os testes, apresentando uma avaliação geral dos objetivos propostos e dos objetivos alcançados. Foram colocadas também algumas sugestões para trabalhos futuros.

## **1.1 Visão Geral do Problema**

A idéia inicial é construir um veículo que substituísse o atual "carrinho do data show" usado na universidade, transformando-o em um AGV.

O AGV ou o transporte automático de cargas são ditos por muitos como um sério causador do desemprego nas indústrias devido ao forte investimento nessa área dentro das empresas. Mas assim como a máquina desemprega a "mão de obra" abre a oportunidade de novos estudos nesta área em ascensão. São várias frentes de estudo tentando melhorar cada vez mais a rotina, diminuindo cada milésimo de segundo na execução da tarefa.



Nos dias de hoje podemos ver várias formas de AGV's desde um simples reabastecimento de matéria prima na linha de montagem, como em alta performance na tomada de decisões.

Com a automatização do transporte podem aumentar a produtividade reduzindo o risco de falha humana, pois nas máquinas o risco é quase nulo.

Todos ganham quando podem aliar a inteligência humana com a força bruta de uma máquina, assim o trabalho rotineiro ou que exige muito esforço tranquilamente será executado por uma máquina e sem reclamações.

## **1.2 Formulação do Problema de Engenharia**

Desenvolver um sistema auto guiado de transporte de cargas.

### **1.2.1 Objetivos gerais**

Construir um AGV com as seguintes características:

- ✚ Autopropulsão;
- ✚ Detecção de obstáculos;
- ✚ Detecção de posição;
- ✚ Alarmes;

### **1.2.2 Fatores condicionantes**

Alguns fatores que foram analisados.

- ✚ Capacidade das baterias
- ✚ Faixa de sensibilidade dos sensores
- ✚ Fita guia
- ✚ Cromicidade dos pisos

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Iremos ver neste capítulo os conceitos de como funciona um AGV, desde o seu conceito (2.1), um breve histórico do surgimento (2.2), o que é um AGV (2.3), a navegação automática (2.4), as tecnologias de transdutores (2.5), os sistemas de alertas (2.6), os atuadores (2.7), algumas aplicações para os AGV's (2.8), e por fim as perspectivas futuras dessas máquinas (2.9).

### 2.1 *Conceituação.*

Com as tecnologias disponíveis nos campos de processamento da informação, sensoriamento e controle, tornam-se realidade as fábricas automatizadas, o que até pouco se considerava como "fábricas do futuro", onde se produziam bens de alta qualidade, a baixos custos, sob condições humanizadas de trabalho.

Dentro desta nova realidade, o transporte de material e peças sempre assume importância destacada, uma vez que a preocupação com a integração das diversas matérias-primas e máquinas-ferramenta passam a ser parte das estratégias de produção.

O transporte automático de cargas passou a ser feito inicialmente por esteiras transportadoras e elevadores, que possibilitavam a transferência de carga com rapidez e precisão, tendo como desvantagem a pouca flexibilidade no que diz respeito a mudanças de *layout* ou mesmo no processo de produção. Passou-se a buscar um sistema de transporte que fosse sobre tudo flexível no que se refere aos fatores mencionados e desta forma surgiram os veículos de guiagem automática ou, como são chamados de AGV <sup>[9]</sup>.

### 2.2 *Breve Histórico*

Os primeiros veículos auto-guiados foram desenvolvidos nos EUA, no início da década de 50 pela *Barret Eletronics*, como resultado de pesquisas no campo de controles indutivos. O primeiro sistema foi instalado em 1954 na Carolina do Sul,



na empresa *Mercury Motor Freight*. Esse mercado ficou sob o domínio da *Barret* até 1961, quando a *Webb Company* passou a atuar neste ramo [9].

Diversos fatores contribuíram para que a indústria ligada à produção de veículos autônomos nos EUA tivesse um crescimento tímido no início. Dentre eles destacam-se o grande volume e poucos recursos oferecidos pelos AGV da época, como também o posicionamento contrário adotado pelas associações de trabalhadores [9].

Durante os anos 60 e início dos anos 70, os controladores passaram a ser transistorizados e posteriormente utilizou a tecnologia dos circuitos integrados, o que deu um novo impulso ao mercado. Ainda assim as aplicações nos EUA eram pequenas, ao contrário do que ocorreu na Europa, devido, entre outros, aos seguintes fatores [9]:

- ✚ os trabalhadores europeus não viram na automação uma ameaça aos empregos da forma como foi vista pelos americanos;
- ✚ regulamentações severas visando à segurança no trabalho, o que favorece a automação;
- ✚ as empresas européias padronizaram a construção e as dimensões dos *pallets* (estrados para carga).

A aplicação pioneira na Europa foi a Volvo, numa fábrica de montagem em Kalmar, em 1974. Dentre os resultados positivos encontrados nesse caso, pode-se citar a redução de 25% no Tempo de Montagem e de 39% nos Reparos de Qualidade. A partir deste exemplo, diversas outras empresas européias passaram a utilizar sistemas com veículos auto-guiados [9].

Por diversos motivos, as aplicações de AGV's nos EUA passaram a ser de interesse, dentre elas [9]:

- ✚ a competição externa passou a ser mais acirrada;
- ✚ a recessão do final dos anos 70 e início dos anos 80 teve um efeito bastante forte sobre a indústria automobilística americana, forçando-a buscar métodos mais eficientes de produção;
- ✚ as associações de trabalhadores passaram a ter um comportamento diferente frente à automação, desde que ela representasse, por exemplo, maior segurança no trabalho;
- ✚ os sistemas de AGV europeus passaram a ser transferidos para os EUA.

O marco das aplicações nos EUA ocorreu em 1984, quando a *General Motors* implantou o seu primeiro sistema de montagem flexível.

Deve-se também levar em consideração os AGV fabricados no Japão, inicialmente pela empresa *Daifuku*. Segundo dados de 1985, mais de 15

companhias trabalhavam no desenvolvimento de AGV e mais de 30 empresas mantinham AGV em operações [9].

### 2.3 O que é um AGV

Um AGV pode ser definido como “um sistema autônomo e descontínuo de movimentação de matérias, particularmente flexível no que diz respeito à trajetória, à frequência das operações de transporte e à quantidade de pontos de transferência de carga”. Um AGV consiste basicamente de veículos e de uma rede interna de transporte que define os possíveis caminhos a serem percorridos pelos veículos [12]. Os componentes mais importantes dentro de um AGV podem ser divididos da seguinte maneira (Figura 2-1):

- ✚ Nível Físico: constituído por AGV, Rede de Transporte e Sistema de Transferência de Carga
- ✚ Nível de Informação: constituído pelo Sistema de Controle do Veículo e pelo Sistema de Tráfego.

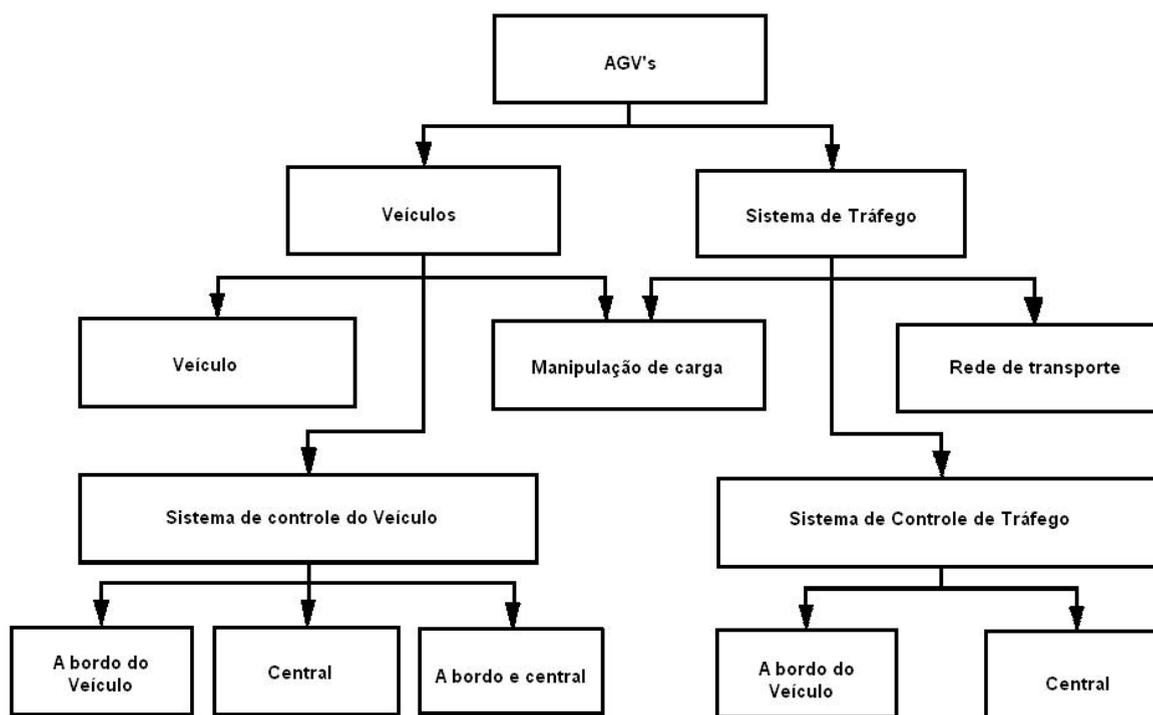


Figura 2-1 - Principais componentes de um AGV.

[Fonte: Estudo e implementação de sistema de controle para veículo auto-guiado – [9]]

A Figura 2-2, mostra o AGV em forma de comboio, em um estoque. Este sistema consiste em vários vagões interligados sendo puxados pelo mesmo controlador. A Figura 2-3 mostra o veículo em função de carga e descarga de

materiais, o processo é feito sem intervenções. A Figura 2-4 mostra o AGV em um armazém de depósito, vários AGV's transitando ao mesmo tempo num mesmo ambiente executando tarefas diferentes.



Figura 2-2 - AGV de transporte em "comboio" em um estoque.  
[Fonte: Egemin Automation - [www.egemin.com](http://www.egemin.com)]



Figura 2-3 - Operação de carga/descarga.  
[Fonte: Egemin Automation - [www.egemin.com](http://www.egemin.com)]



Figura 2-4 - AGV em transito num armazém.  
[Fonte: Egemin Automation - [www.egemin.com](http://www.egemin.com)]

## 2.4 Navegação Automática

O sistema de navegação é uma das partes críticas do AGV, é dela que a inteligência do sistema se baseia para saber por onde deve andar, pois em qualquer momento pode haver um obstáculo ou uma curva a fazer. Assim esse sistema deve ser bem alinhado e ter o mínimo de falhas para minimizar o risco de se perder.

Existem diversos métodos de navegação que permitem um AGV seguir um caminho. Alguns dos sistemas de orientação que estão disponíveis podem ser classificados como caminho fixo ou dinâmico. A determinação dos caminhos fixos ou dinâmicos depende dos custos de instalação, dos requisitos de flexibilidade e da necessidade ou não da futura ampliação do sistema. Os sistemas com caminhos fixos são menos dispendiosos, todavia inviabilizam a possibilidade de reagir a alterações no layout do trabalho sem interromper seu funcionamento normal, acarretando por isso custos adicionais [9].

### 2.4.1 Caminho Fixo

Este sistema tem sido largamente utilizado devido à sua simplicidade e robustez, mas tem a desvantagem de não permitir a reconfiguração do layout, o que

o torna muito pouco flexível. Os possíveis caminhos a serem percorridos são traçados diretamente na fábrica [9].

Agora veremos alguns métodos para o reconhecimento do trajeto a ser percorrido. (1) a reflexão óptica feita por meio de uma marcação fixada no chão. (2) o reconhecimento por imagens feitas através de câmeras fotográficas. (3) luz ultravioleta para ambientes escuros ou com baixa luminosidade. (4) o reconhecimento por meio de sinal indutivo para pisos com imperfeições e com sujeira.

### 2.4.1.1 Reflexão Óptica

Consiste numa linha marcada no chão, que pode ser fitas adesivas, plásticas ou até mesmo pintadas, como mostra a Figura 2-5. No veículo existe uma fonte de luz de baixa potência que emite fluxo luminoso que é refletido pela linha e que é captado pelos sensores ópticos fixados na parte inferior do veículo (ver Figura 2-6). É a solução preferencial devido ao seu baixo custo de implementação.

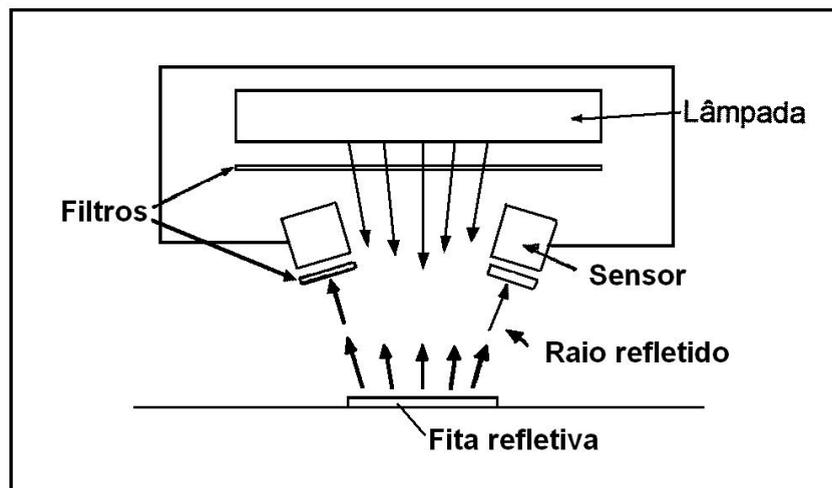


Figura 2-5 - Sistema por reflexão óptica.

[Fonte: Estudo e implementação de sistemas de controle para veículos auto-guiados- [9]]



Figura 2-6 - Sistema com três sensores.

[Fonte: AGV- [10]]

### 2.4.1.2 Reconhecimento por Imagens

Outro método de detecção da linha é através de uma câmara fotográfica (ver Figura 2-7). A idéia básica é conduzir o veículo manualmente pelo percurso que deverá ser seguido e assim gravar as imagens que posteriormente serão comparadas quando o AGV estiver funcionando no modo automático, isto é, sem intervenção de um operador. As limitações para a implementação deste sistema estão da alta capacidade computacional exigida do *hardware*, bem como dos algoritmos que deverão ser utilizados pelo *software* para o processamento e análise em tempo real das imagens. É importante que neste caso o veículo seja dotado de certa inteligência para análise de dados, como no caso de haver um obstáculo transitório (a passagem de alguma pessoa ou objeto, por exemplo) durante o percurso do AGV.



Figura 2-7 - Câmera fotográfica com iluminação artificial.  
[Fonte: AGV- [10]]

### 2.4.1.3 Luz Ultravioleta

É possível a sua utilização em ambientes escuros através de iluminação ultravioleta (UV) conforme mostra a Figura 2-8.



Figura 2-8 - Guias UV.  
[Fonte: AGV- [10]]

### 2.4.1.4 Referencial Indutivo

Os sensores indutivos são transdutores de sinal que detectam, sem contato direto, elementos metálicos que atravessam o seu campo magnético, os condutores metálicos embutido no pavimento formam a trajetória dos veículos. Os cabos são

percorridos por corrente elétrica de frequências específicas [19]. Como mostra a Figura 2-9, o cabo indutor está enterrado no piso.

A implementação é mais complexa que o sistema óptico devido ao fato de ter de introduzir cabos no solo, na construção mais comum. Pode ser utilizado em qualquer tipo de piso, e é imune à sujeira, óleos, etc.

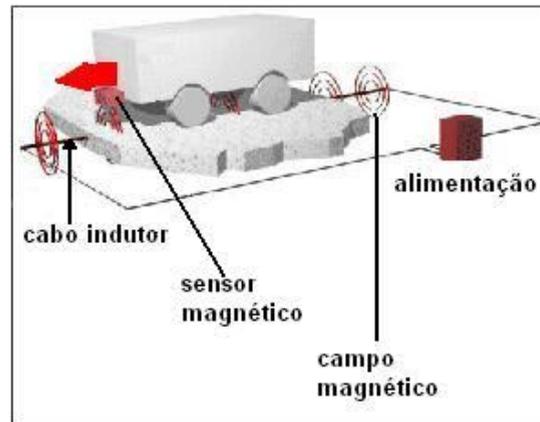


Figura 2-9 - Disposição dos sensores.  
[Fonte: AGV- [10]]

## 2.4.2 Caminho Semi-fixo

Estes sistemas são mais flexíveis e suportam facilmente as modificações de *layout* e requisitos variantes de capacidade de planta, podendo ser transportados para outro local sem muita demanda de estrutura [11], estes sistemas são mais complexos e custosos, por terem uma abrangência de área maior que os de caminho fixos e menos suscetíveis a interferências do clima. Os possíveis caminhos são marcados descontinuamente ao longo do trajeto e as possíveis marcações são por referencial laser, navegação por imagens ou GPS [11].

### 2.4.2.1 Referência por Laser

Consiste em refletores espalhados pelo edifício. Um sistema emissor/receptor Laser emite e capta as reflexões e determina continuamente a sua posição. Os sensores medem a distância e o ângulo determinando a posição XY do veículo e o seu ângulo.

O sensor consiste num laser rotativo montado na parte superior do AGV. É combinado com sistemas de detecção de obstáculos por ultrassom ou opticamente. O sistema é bastante preciso e permite que o veículo opte por circuitos alternativos.

A figura Figura 2-10 e Figura 2-11 mostram modelos de AGV's de pequeno e grande porte que usam sensores por referencial a laser para caminho semi-fixo.



Figura 2-10 - Scanner Laser que envia ao AGV a sua posição e ângulo.

[Fonte: AGV- [10]]



Figura 2-11 - "Odyssey Tugger Vehicle" guiado por sistema laser.

[Fonte: AGV- [10]]

### 2.4.3 Caminho Indefinido (sem referência)

O veículo se vale dos seus próprios recursos para seguir a trajetória. Trabalha-se segundo a seguinte filosofia: o percurso pode estar armazenado em um mapa (mapeamento prévio) [9], ou o AGV pode receber informações de fontes de sinais de ultrassom ou raios laser. A forte característica neste tipo de sistema de orientação é a capacidade de o veículo decidir sobre qual caminho tomar para chegar até o seu destino, bem como a capacidade de tratamento de situações inesperadas (como o aparecimento de obstáculo).

#### 2.4.3.1 Referência Inercial

Consiste na medição dos desvios através de um giroscópio e na comparação com o percurso armazenado em memória.

São instalados pares de ímãs no chão ao longo dos trajetos e a distâncias regulares, como mostra a Figura 2-12. A distância entre cada ímã determina uma posição XY dentro da instalação. É um sistema muito versátil no que respeita à mudança de trajetos, mas sacrificando a precisão dos veículos.



Figura 2-12 - Pormenor no sensor e imã.  
[Fonte: Egemin Automation - [www.egemin.com](http://www.egemin.com)]

### 2.4.3.2 Referência por GPS

É utilizado principalmente em áreas externas, em veículos de grande porte, como caminhões, carros, guias, etc [11], como mostra a Figura 2-13. O sistema de GPS permite um bom controle apenas em percursos grandes, pois a sua precisão é baixa (da ordem de metros), o que não permite, por exemplo, a carga e descarga automática, sem auxílio a outros métodos.

O sistema tem de ser complementado por outros sistemas, como por exemplo, a detecção de obstáculos.



Figura 2-13 – Funcionamento do sistema GPS.

## 2.5 Tecnologias de Transdutores

Os transdutores têm como objetivo principal a orientação do AGV. Há vários tipos de sensores, alguns dos mais utilizados são:

- ✚ Ópticos;
- ✚ Indutivos;
- ✚ Capacitivos;
- ✚ Sonar;
- ✚ Encoder;

### 2.5.1 Sensores Ópticos

O sensor óptico é um dispositivo que altera parâmetros elétricos entre seus terminais, em função da presença ou não de luz incidindo sobre determinada área do mesmo. Veremos alguns dos dispositivos mais usados, (1) fototransistor, (2) LDR.

#### 2.5.1.1 Fototransistor

Basicamente, o funcionamento do módulo baseia-se na emissão e detecção de ondas infravermelhas. O LED infravermelho emite continuamente um feixe de luz infravermelha que é captada pelo fototransistor, veja detalhado na Figura 2-14.

O módulo sensor de faixa se encarrega da detecção ou não do caminho pré-determinado por uma faixa resultando em "1" caso o sensor estiver fora da faixa ou o "0" caso o sensor estiver sobre a faixa.

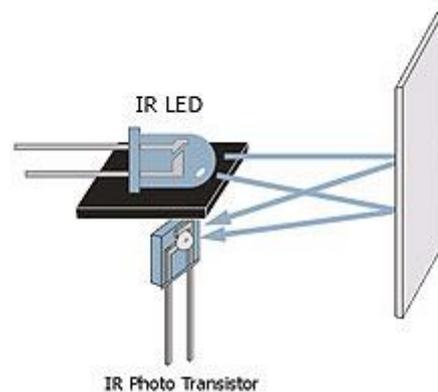


Figura 2-14 - Funcionamento do fotodiodo

#### 2.5.1.2 LDR

O LDR (Light Dependent Resistor) ou "resistor que depende da luz", é um dispositivo semiconductor que aumenta sua condutividade quando exposto à luz visível (Figura 2-15). O comprimento de onda da luz incidente sobre o LDR tem influência sobre sua resistência. Na escuridão, um LDR tem um valor elevado de resistência elétrica e assim reduz o fluxo de corrente em um trecho de circuito. À luz, porém, a resistência é reduzida permitindo uma corrente elétrica de maior intensidade no trecho de circuito em questão.



Figura 2-15 - Sensor LDR

[Fonte: Nexus Research Group - [www.nexusresearchgroup.com](http://www.nexusresearchgroup.com)]

### 2.5.2 Indutivos

São componentes eletrônicos capazes de detectar a aproximação de um objeto sem a necessidade de contato físico entre sensor e o acionador. Ao se aproximar o objeto ao sensor este identifica e envia a saída um sinal elétrico, o sinal elétrico varia conforme o material que está há frente do sensor.

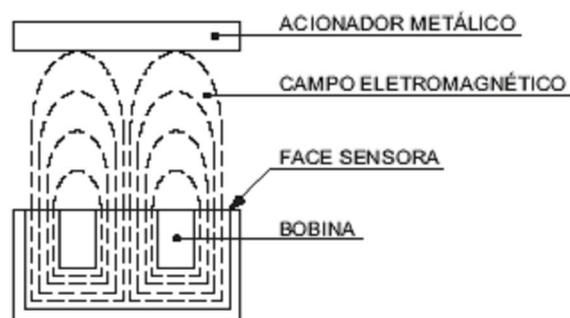


Figura 2-16 - Funcionamento do sensor indutivo.

[Fonte: AGV Eletronics - <sup>[12]</sup>]

A principal aplicação é a detecção de objetos metálicos, pois o campo emitido é eletromagnético <sup>[12]</sup>. Conforme mostra a Figura 2-17.



Figura 2-17 - Sensor indutivo

[Fonte: Saber Eletrônica - [www.sabereletronica.com.br](http://www.sabereletronica.com.br)]

### 2.5.3 Capacitivos

São sensores capazes de detectar a aproximação de objetos sem a necessidade de contato físico tal qual os sensores indutivos, porém com princípio de funcionamento baseado na variação da capacitância. Ao se aproximar o objeto ao sensor este identifica e gera um campo eletrostático e detectam mudanças causadas neste campo quando um alvo se aproxima da face ativa [12]. Conforme mostra a Figura 2-18.



Figura 2-18 - Sensor capacitivo.  
[Fonte: AGV Eletronics – [12]]

### 2.5.4 Sonar

O sonar tem como objetivo detectar obstáculos que estejam em sua direção e calcular sua distância do sensor de ultra-som.

O funcionamento do sonar baseia-se no princípio de eco, como mostra a Figura 2-19. Um sinal ultrasônico de curta duração é enviado pelo transmissor do sonar. Esse sinal é refletido no obstáculo e então captado pelo receptor. O receptor então fornece pulsos no qual a distância é proporcional à largura desse pulso. Eles então são sentidos por um microprocessador que calcula, a partir desses pulsos, a distância do obstáculo [3].

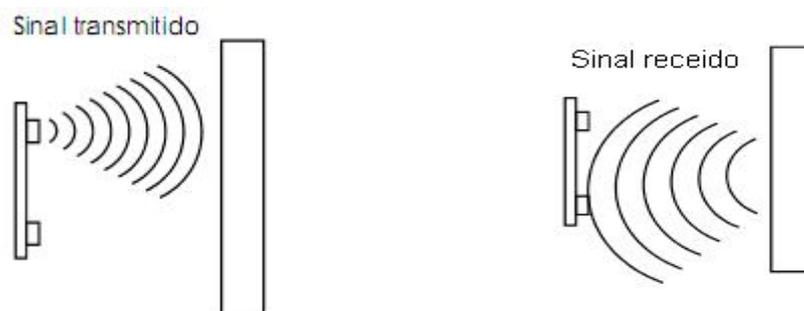


Figura 2-19 - Funcionamento do Sonar  
[Fonte: Datasheet do sonar- Anexo A]

### 2.5.5 Encoder

A velocidade é uma das principais variáveis a ser controlada nos AGV. Torna-se então extremamente necessário a medição desta variável de maneira eficiente e precisa, uma vez que uma variação, mesmo que mínima na velocidade, pode acarretar erros gigantes no processo.

A velocidade pode ser medida de duas formas, a velocidade linear e a velocidade angular, descritas abaixo.

- ✚ Velocidade Linear: Velocidade descrita em um movimento retilíneo. É dada pela razão do deslocamento  $\Delta x$ , ocorrido durante um intervalo de tempo  $\Delta t$ :

$$V = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{\partial x}{\partial t} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

$\Delta x$  = Deslocamento linear

$\Delta t$  = Intervalo de tempo

$V$  = Velocidade

- ✚ Velocidade Angular: Velocidade descrita em um movimento de rotação em torno de um eixo fixo, chamado de eixo de rotação. É descrita como a razão do deslocamento angular  $\Delta \theta$ , ocorrido durante um intervalo de tempo  $\Delta t$ :

$$\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \theta}{\Delta t} = \frac{\partial \theta}{\partial t} \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde:

$\Delta \theta$  = Deslocamento angular

$\Delta t$  = Intervalo de tempo

$\omega$  = Velocidade angular

Uma das formas de se medir a velocidade é utilizar algum dispositivo que transforme diretamente esta grandeza mecânica em uma grandeza elétrica. Um Encoder é um dispositivo que pode ser usado para medir com determinada precisão o deslocamento. Então na prática, utiliza-se o encoder em conjunto com um



dispositivo capaz de medir o tempo e calcular a velocidade e a distância a cada pulso gerado pelo mesmo.

Há vários tipos de encoders: magnético, contato, resistivo, e óptico. Entretanto, o sistema mais preciso é o óptico.

## 2.6 *Sistemas de Alerta e Segurança*

Os sistemas de segurança dos AGV são os responsáveis de alertar os possíveis perigos que podem ocorrer ou causar. Assim os veículos podem ter equipamentos com sistemas de segurança de modo a garantir a integridade do AGV e do meio que o rodeia (pessoas e máquinas), o AGV possui dispositivos de segurança ativos e passivos, tais como:

- ✚ Parada imediata em caso de perda de seguimento.
- ✚ Pára-choques e botões de pressão de emergência (estrategicamente colocados) que quando atuados determinam a frenagem e a paragem brusca e imediata do AGV;
- ✚ Detectores de proximidade frontais, que determinam a frenagem ou a interrupção das rodas, quando este se aproxima de um obstáculo fixo ou móvel.
- ✚ Sinalização luminosa para avisar as pessoas da proximidade do AG.
- ✚ Botoeiras para parada de emergência nos cantos do veículo.

## 2.7 *Atuadores*

Os atuadores são usados em automação para entregar ao sistema a excitação necessária para seu funcionamento, na forma do tipo de energia adequado. Se o funcionamento do sistema estiver baseado em algum movimento de uma de suas partes, serão necessários atuadores para fornecer energia mecânica para o movimento. Se o sistema for térmico, será necessário um atuador que forneça energia térmica para atingir uma dada temperatura desejada.

Os atuadores podem ser classificados de acordo com a sua natureza de atuação em:

- ✚ hidráulicos;
- ✚ pneumáticos;
- ✚ elétricos.

Os atuadores hidráulicos se caracterizam por terem como fonte de energia um líquido que se desloca por um conduto com uma pressão adequada. Este líquido é geralmente óleo ou água. O atuador pneumático tem como fonte de energia um gás pressurizado, geralmente ar comprimido. Já os atuadores elétricos usam geralmente correntes elétricas.

## 2.7.1 Atuadores Hidráulicos

Os atuadores hidráulicos são os mais antigos, pois foram os primeiros a serem usados. Os atuadores hidráulicos convertem energia hidráulica em energia mecânica para efetuar trabalho útil. Num circuito típico, o atuador é mecanicamente ligado à carga de trabalho e é atuado pelo fluido da bomba; assim sendo, força ou torque é transformado em trabalho. Os atuadores podem ser classificados, de modo geral, como dos tipos linear (cilindro atuador) ou rotativo (motor hidráulico).

### 2.7.1.1 Atuador Linear

O atuador linear, como um cilindro acionador, é usado para operações de prender e prensar ou para movimento de avanço rápido e fino, Figura 2-20.



Figura 2-20 - Atuador hidráulico linear.  
[Fonte: Parker - [www.parker.com](http://www.parker.com)]

### 2.7.1.2 Atuador Rotativo

As aplicações de um atuador rotativo ou motor hidráulico incluem operações de mandrilar, torner, posicionar etc., Figura 2-21. As três variáveis básicas para o controle desses movimentos são o sentido do movimento, a velocidade e a força.



Figura 2-21 - Atuador hidráulico rotativo.  
[Fonte: Radar Industrial - [www.radarindustrial.com.br](http://www.radarindustrial.com.br)]

### 2.7.2 Atuadores Pneumáticos

Os atuadores pneumáticos (Figura 2-22) são normalmente empregados em sistemas onde se requer altas velocidades nos movimentos, com pouco controle sobre o posicionamento final, em aplicações onde o momento exigido é relativamente baixo. Os atuadores pneumáticos funcionam com energia pneumática (ar comprimido).



Figura 2-22 - Atuador pneumático  
[Fonte: Cofermar - [www.cofermar.com.br](http://www.cofermar.com.br)]

### 2.7.3 Atuadores Elétricos

Atuadores elétricos rotativos são equipamentos eletromecânicos (Figura 2-23) que substituem com alta confiabilidade a operação manual de válvulas em:

- ✚ locais de difícil acesso ou periculosidade elevada para o operador;
- ✚ casos que demandam conjugado de atuação elevado;
- ✚ condições onde for requerido posicionamento rápido, especialmente em válvulas cujo número total de voltas seja grande;
- ✚ regime de trabalho com alta frequência de manobras;
- ✚ controle automático de processos onde as válvulas operam em duas posições extremas ou com reposicionamentos intermediários (modulação).



Figura 2-23 - Atuador elétrico.  
[Fonte: Nei - [www.nei.com.br](http://www.nei.com.br)]

## 2.8 Motores elétricos

Motor elétrico é uma máquina destinada a transformar energia elétrica em mecânica. É o mais usado de todos os tipos de motores, pois combina as vantagens da energia elétrica - baixo custo, facilidade de transporte, limpeza e simplicidade de

comando – com sua construção simples, custo reduzido, grande versatilidade de adaptação às cargas dos mais diversos tipos e melhores rendimentos [19].



Figura 2-24 - Atuador elétrico.

[Fonte: Feira de Ciências - [www.feiradeciencias.com.br](http://www.feiradeciencias.com.br)]

## 2.9 Aplicações dos AGV

De forma crescente, novas aplicações para Veículos Auto-guiados, como o transporte de comida e de roupas em lavanderias e em hospitais, o transporte de correspondências em agências dos correios e o transporte de correspondências e outras mercadorias em escritórios comerciais.

## 2.10 Perspectivas Futuras

As aplicações de veículos guiados de forma automática estão sendo cada vez mais variadas. À medida em que novas tecnologias de sistemas de orientação vão sendo colocadas à disposição e as existentes aperfeiçoadas aumentam a possibilidade de aplicação de tais sistemas. Exemplo notório deste fato são os veículos de caminho indefinido, que são verdadeiros Robôs Móveis e garantem um futuro promissor para a área.

Dentro deste contexto mais amplo de Robôs Móveis, estudos têm sido feitos em todo o mundo, e os limites para esta área parecem estar bem longe de ser alcançados.

O estudo de Robôs Móveis tem servido como suporte para pesquisas em diversas áreas do conhecimento, como engenharia de controle, instrumentação, acionamento de motores, inteligência artificial e engenharia de *software*.

## 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Os métodos e os materiais necessários para o desenvolvimento do presente projeto serão apresentados neste capítulo, bem como o detalhamento dos sistemas mecânicos, eletrônicos, hardware e software para o desenvolvimento da aplicação.

Os sistemas mecânicos são todo material necessário para fazer a estrutura do veículo. O sistema eletrônico são todos os componentes eletrônicos que foram utilizados. O *hardware* é o responsável por todo o controle e tratamento dos dados de entrada e saída, sendo que o teclado e display fazem a interface com o usuário. O software é o programa desenvolvido para que em conjunto com o *hardware* trate todos os dados recolhidos.

Abaixo estão os principais componentes utilizados para a construção do hardware e o diagrama em blocos para uma melhor visualização como apresentado na Figura 3-1:

### 3.1 Descrição Geral do Sistema

O objetivo deste trabalho é fazer com que o AGV siga uma fita demarcada no piso até uma sala escolhida. Os sensores utilizados foram os infravermelhos devido a ter um ótimo custo/benefício, suas respostas rápidas na passagem da. O sensor sonar escolhido é do fabricante TATO por ser um sensor nacional. Motores elétricos CC fazem movimentar a estrutura do veículo, os motores CC foram escolhidos por terem o torque e a velocidade necessária para movimentar a estrutura com um baixo consumo de corrente. O controle de todo o processo é feito através do microcontrolador PIC18F4620A por ter em um único componente os recursos necessários para todo o controle, recursos tais como entradas e saídas analógicas e digitais, função PWM, Interrupção, clock interno e outras descritas no Cap. 3.4.5.1.

Ao iniciar o sistema o controlador verifica se todos os sensores estão na posição pré-determinada para início do percurso, se todos estiverem em suas posições o software espera que o usuário escolha a sala ou o final do percurso, após

confirmar a opção escolhida, automaticamente o percurso é efetuado. O controlador envia sinais para o módulo de acionamento a fim de acionar os motores. O veículo começa a andar sobre o percurso demarcado e os sensores efetuam as medições da distância até o obstáculo, à distância percorrida pelas rodas e a leitura das salas enviando sinais para o controlador que trata esses sinais. As informações são enviadas para o usuário através de um display, mostrando a localização da sala atual e a distância percorrida. A Figura 3-1 mostra o diagrama de blocos simplificado do sistema.

### 3.2 Diagrama de Blocos

A Figura 3-1 mostra o diagrama de blocos simplificado do projeto, onde será descrito cada uma das partes que o compõem.

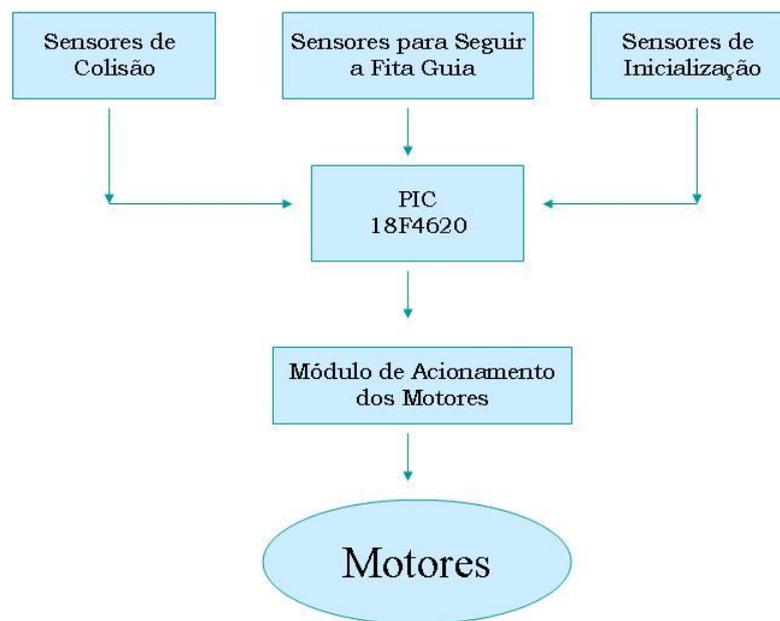


Figura 3-1 - Diagrama de Blocos simplificado do sistema.

O equipamento é constituído pelas seguintes partes: teclas de seleção, display LCD, unidade de controle (PIC 18F4620), sensores de inicialização e obstáculos, *driver* de potência para acionamento dos motores elétricos e motores elétricos.

### 3.3 Descrição dos Sistemas Mecânicos

Nesta seção serão descritas as partes mecânicas que compõem este projeto, sendo elas a base do veículo, as rodas dianteiras, a roda traseira.

A Figura 3-2 mostra a estrutura que foi montada do veículo.

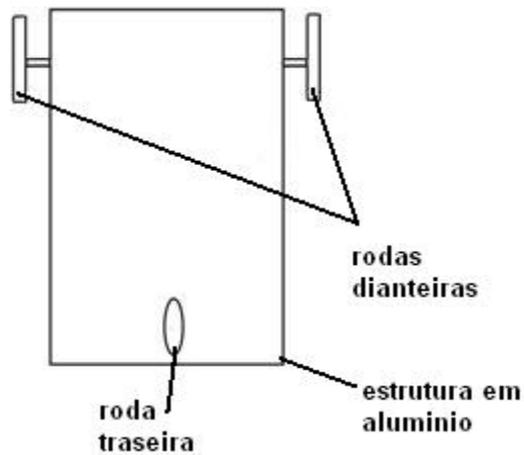


Figura 3-2 - Diagrama da base do veículo.

### 3.3.1 Base do Veículo

Para fazer a estrutura física do carro foi utilizado alumínio por ser um material leve nas dimensões de 200x300 mm, na Figura 3-3 mostra como ficou a montagem do protótipo.



Figura 3-3 - Base do veículo.

### 3.3.2 Rodas Dianteiras

As rodas dianteiras foram fixadas diretamente no eixo do motor, elas têm a finalidade de tracionar o veículo, as rodas estão fixadas diretamente no eixo para evitar engrenagens de acoplamento e elas foram feitas do material polietileno, devido à facilidade de se usar e chegar ao diâmetro e espessura desejada, com o

diâmetro de 70 mm e uma espessura de 20 mm. Para ter mais aderência em qualquer tipo de piso foi colocada uma fita de borracha em toda sua extensão.

A Figura 3-4 mostra a roda dianteira depois de usinada.

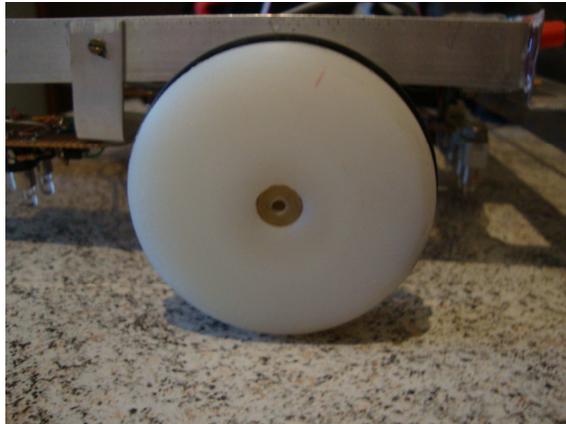


Figura 3-4 - Roda dianteira.

### 3.3.3 Roda Traseira

A roda traseira serve para sustentação na parte traseira do veículo, ela é feita de plástico e tem um giro de 360° em seu eixo, assim pode se movimentar para qualquer lado, a Figura 3-5 mostra como é a roda traseira.



Figura 3-5 - Roda traseira.

## 3.4 Descrição dos Sistemas Eletroeletrônicos

Neste item veremos as peças eletrônicas que compõem este projeto, estas peças são componentes comerciais comprados nas lojas de eletrônica. Estes foram escolhidos devido a sua utilidade dentro do projeto.

São eles, (3.4.1) teclas de seleção, (3.4.2) *display* LCD, (3.4.3) sensores, (3.4.4) sinal luminoso, (3.4.5) micro controlador, (3.4.6) driver de potência para acionamento dos motores, (3.4.7) motores elétricos, (3.4.8) encoder e (3.4.9) placas eletrônicas.

### 3.4.1 Teclas de Seleção

As teclas para seleção são do tipo tecla *tact switch*, NA (normalmente aberta), há possibilidade de escolher a sala, duas teclas selecionam as salas e uma seleciona o final do percurso, a Figura 3-6 mostra o componente tact switch.



Figura 3-6 - Tecla de tact switch.  
[Fonte: Best Group - [www.best-group.cn](http://www.best-group.cn)]

### 3.4.2 Display LCD

O display LCD que esta sendo usando é um de duas linhas nas quais se pode escrever dezesseis caracteres. O barramento de dados deste componente esta conectado à porta RD (RD5 à RD7), o pino de controle RS à porta RD0, o pino ENABLE a porta RD2 e o pino R/W na porta RD1, esta ligação esta melhor representada na Figura 3-7.

A Tabela 3-1 mostrado a seguir ilustra as conexões do display LCD conforme o datasheet MC1602-04 e observamos que o display possui os pinos de dados (DB0 e DB7) e também três pinos de controle (RS, R/W, E).

Número do pino	Nome	Função
1 - 17	VSS	GND
2 - 18	VDD	Tensão de alimentação +5 V
3 - 19	VLC	Cristal liquido de condução de tensão
4 - 20	RS	L: Entrada de introdução de código
		H: Entrada de dados
5 - 21	R/W	L: Escrita de dados
		H: Leitura de dados
6 - 22	E	Habilitar
7 - 23	DB0	Linha de barramento de dados
8 - 24	DB1	Linha de barramento de

		dados
9 – 25	DB2	Linha de barramento de dados
10 – 26	DB3	Linha de barramento de dados
11 – 27	DB4	Linha de barramento de dados
12 – 28	DB5	Linha de barramento de dados
13 – 29	DB6	Linha de barramento de dados
14 – 30	DB7	Linha de barramento de dados
15 – 31	NC	Não conectado
16 – 32	NC	Não conectado

Tabela 3-1 - Conexões do display de LCD.

Segue uma breve descrição dos pinos de controle do display.

- ✚ VSS: (GND). Este pino é usado para a referência de tensão.
- ✚ VDD: (*Power supply voltage*). Este pino é usado para alimentação +5 V.
- ✚ VLC: (*Liquid crystal driving voltage*). Este pino é usado para dar intensidade do display.
- ✚ □□□RS: (*Register Select*). Quando RS esta em nível lógico '0' os dados serão tratados como um comando ou instrução especial (como limpar o display, posicionar o cursor, etc.). Quando RS possui o nível lógico '1', os dados sendo enviados representam mensagem textual que deve ser mostrada no display. Por exemplo, para mostrar o caractere "A" no display, RS deve estar em nível lógico '1'.
- ✚ R/W: (*Read/Write*). Quando o pino R/W for colocado em nível lógico '0', a informação presente no barramento de dados deve ser escrita no LCD. Quando R/W esta em nível lógico '1', o programa está realizando uma leitura no LCD. Apenas uma instrução é um comando de leitura: *Get LCD Status*. Todo o restante das instruções são comandos de escrita, do que podemos supor que R/W irá, na maior parte do tempo, possuir o nível lógico '0'.
- ✚ E: (*Enable*). Este pino é usado para informar ao LCD que o usuário esta enviando dados. Para enviarmos dados para o para o LCD, deve-se setar as outras duas linhas de controle e/ou colocar informação no barramento de dados. Quando RS e R/W estão prontas, pode-se setar E com nível lógico '0'.
- ✚ DB0 a DB7: (*Data bus line*). Estes pinos são do barramento de dados, neles são enviadas as informações a serem escritas no display.

A Figura 3-7 mostra a conexão do display com o controlador.

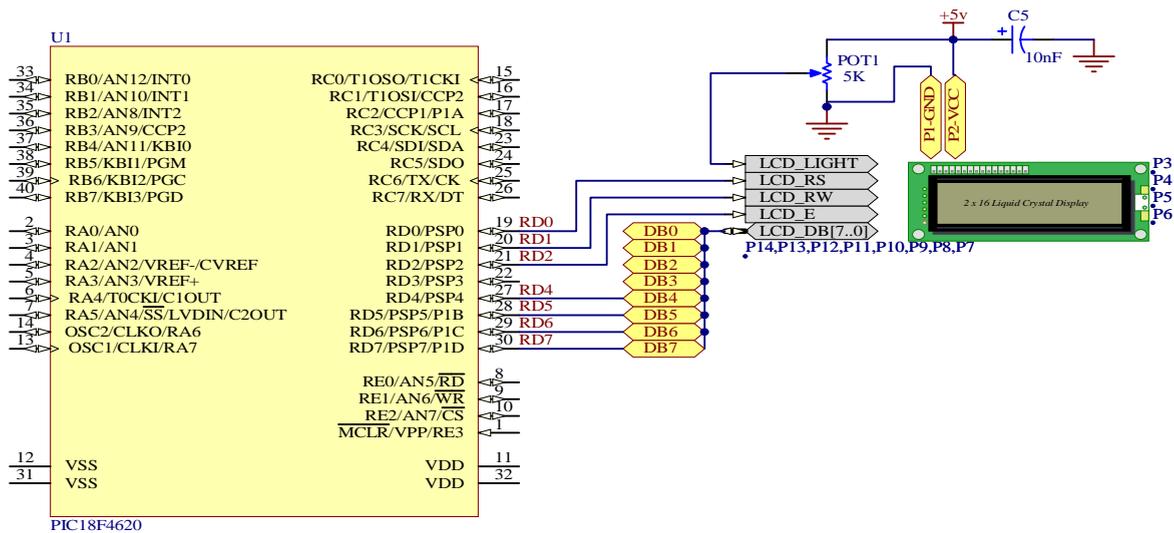


Figura 3-7 - Hardware do Display LCD ligado ao PIC 18F4620.

### 3.4.3 Sensores

Os sensores foram divididos em duas classes:

- ✚ Sensores de inicialização, responsáveis por verificar se o carro está na posição de correta para início do percurso e sensores para detecção de passagem da linha, estes sensores são do tipo fotoelétrico.
- ✚ Sensores de obstáculos, responsáveis pela segurança, para evitar que haja alguma colisão com o veículo.

#### 3.4.3.1 Sensores de Inicialização

Os sensores de inicialização fazem a leitura da posição inicial para que possa iniciar o percurso. Para isso, foi usado um sensor fotoelétrico, podendo ser refletida na fita detectando se a posição dos sensores está em cima da fita ou fora dela.

Os sensores de inicialização certificam que o carro esteja na posição correta para início do percurso evitando que o mesmo ande sem que os sensores tenham o os sinais de comparação.

Este sistema é composto por dois sensores, o programa faz a leitura destes dois sensores evitam a inicialização do percurso caso os mesmos não estejam em suas posições pré-determinadas.

O primeiro sinaliza se o sensor, denominado, IRC está sentindo a fita (sensor responsável pela leitura do percurso). Se este sensor estiver fora da fita o programa não executa o próximo passo até que o mesmo esteja na fita.

O segundo, denominado, IRD2 é responsável pela detecção de passagem pelas salas. Se este sensor estiver na fita o programa não passa para o próximo passo até que o mesmo saia da fita.

### 3.4.3.1.1 Sensores Fototransistores

Este tipo de sensor é composto por dois circuitos conforme Figura 3-8. Um transmissor (fototransistor emissor de luz infravermelha) responsável pela emissão do feixe de luz (ver Anexo D), um receptor (diodo receptor de luz infravermelha) responsável pela recepção do feixe de luz (ver Anexo E). A Figura 3-9 representa o esquema elétrico do circuito.

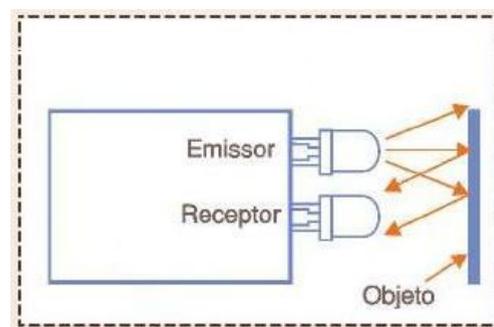


Figura 3-8 - Sensores fotoelétricos.

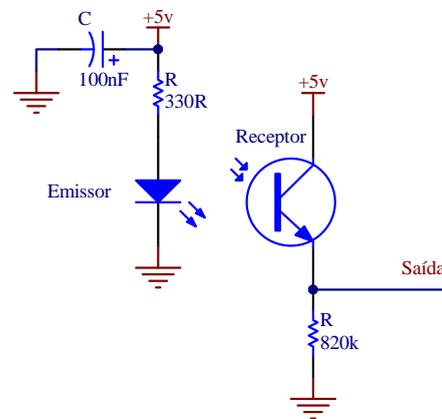


Figura 3-9 - Esquema elétrico da ligação dos sensores fotoelétricos.

Para limitarmos a corrente no diodo emissor foi usado um resistor de  $330\Omega$ .

$$I = \frac{5 - 2}{330} = 9,09mA \quad (\text{Eq. 3})$$

Como sinal de saída do fotodiodo emissor fica em torno de 2 V (tensão que a porta do PIC não reconhece como nível alto foi utilizado um circuito comparador para levar esta tensão a 5 V.

O comparador é um circuito composto por um operacional (LM311, ver Anexo C) onde a saída fica em 0 V ou +5 V dependendo da entrada que é

comparada por uma tensão fixa de +1,24 V, fixada por um divisor de tensão, e a tensão vinda pelo diodo transmissor. A Figura 3-10 mostra o circuito elétrico de todo o conjunto, diodo emissor, receptor e comparador, e a Figura 3-11 mostra a pinagem do componente encapsulado, LM311 correspondente ao usado.

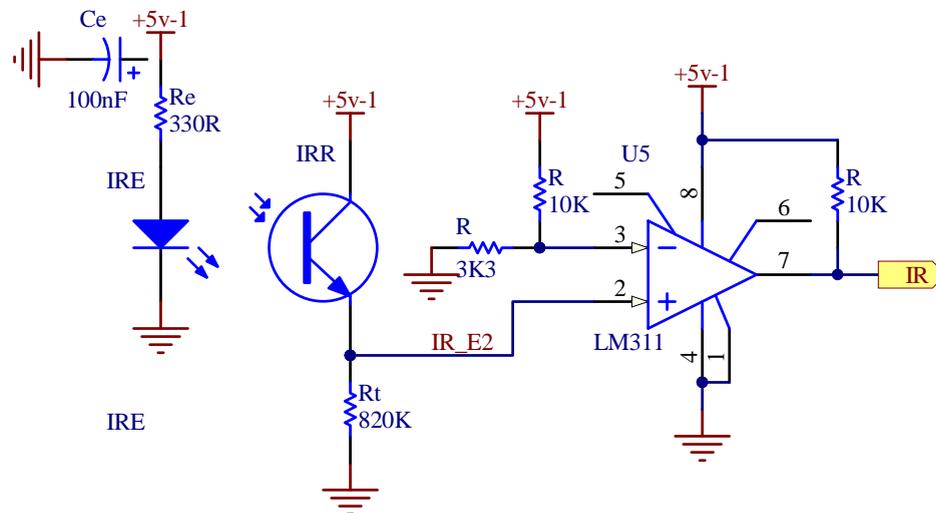


Figura 3-10 - Circuito do comparador.

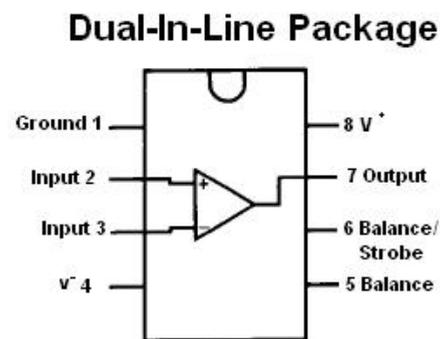


Figura 3-11 - Pinagem do CI LM311, comparador.  
[Fonte: Datasheet do LM311- Anexo C]

### 3.4.3.2 Sensores de Obstáculos

Os sensores de obstáculos são responsáveis por evitar que haja uma colisão do AGV. Estes têm prioridade se acionados e estão divididos em dois grupos:

- 1- Sensor de contato seco, interruptor tipo NA, conforme Figura 3-12.
- 2- Módulo sonar, medidor de distância a partir de um sinal ultrasônico, conforme Figura 3-15.

#### 3.4.3.2.1 Sensor de Contato Seco

Para o sensor de contato seco foi utilizado um micro interruptor tipo NA, mostrado na Figura 3-1, quando acionado envia um sinal de +5 V para o pino RB3

do controlador, indicando que houve uma colisão fazendo-o parar imediatamente em qualquer local do percurso. A Figura 3-12 mostra o componente que foi usado para tal finalidade, à Figura 3-13 mostra o diagrama de funcionamento do interruptor e a Figura 3-14 mostra o esquema elétrico no PIC.



Figura 3-12 - Interruptor NA.  
[Fonte: Saber Eletrônica - [www.sabereletronica.com.br](http://www.sabereletronica.com.br)]

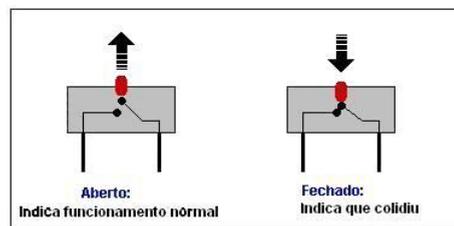


Figura 3-13 - Esquema do funcionamento dos sensores de contato seco.

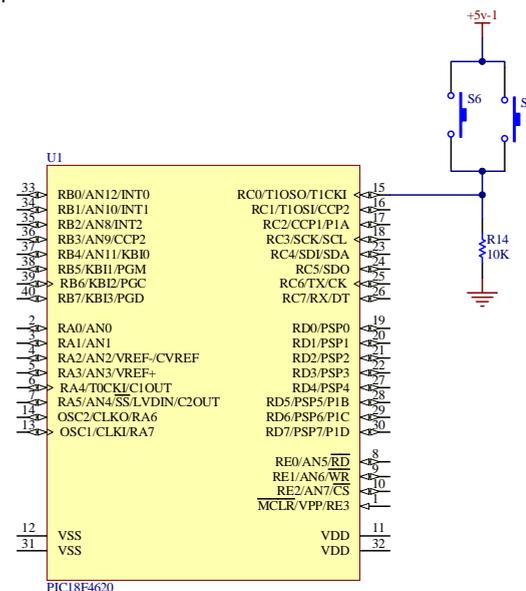


Figura 3-14 - Esquema elétrico do contato seco.

### 3.4.3.2.2 Sensor Sonar

O sensor sonar foi desenvolvido com base no princípio físico da reflexão sonora, fenômeno também conhecido como eco, característica que a onda possui de retornar à fonte ou modificar de algum modo sua trajetória ao encontrar um obstáculo, a representação deste princípio está demonstrada na Figura 3-16.

O sensor sonar, conforme Figura 3-15, foi adquirido da empresa Tato Equipamento Eletrônico, possui quatro pinos, sendo dois da alimentação (+5 V e GND), um pino de saída que fornece um pulso em nível alto cuja duração é o tempo

para som ir até o obstáculo e voltar e um pino de entrada que quando em nível baixo repete a medição (ver Anexo A).

O módulo sonar tem um consumo médio de 2 mA e seu alcance mínimo é de 200 mm e máximo de 1,5 metros.

A Figura 3-17 mostra o esquema elétrico da ligação do sensor sonar com o PIC.



Figura 3-15 - Módulo sonar.  
[Fonte: Manual do Sensor Sonar- Anexo A]

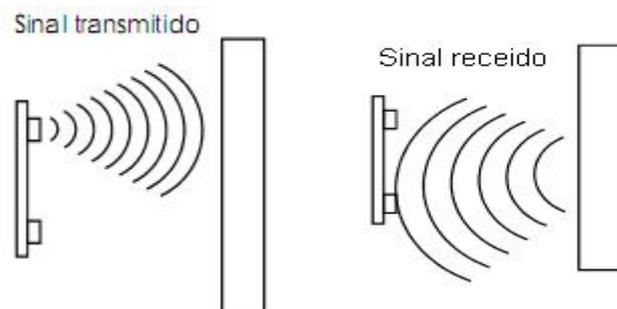


Figura 3-16 - Diagrama do funcionamento do sonar.

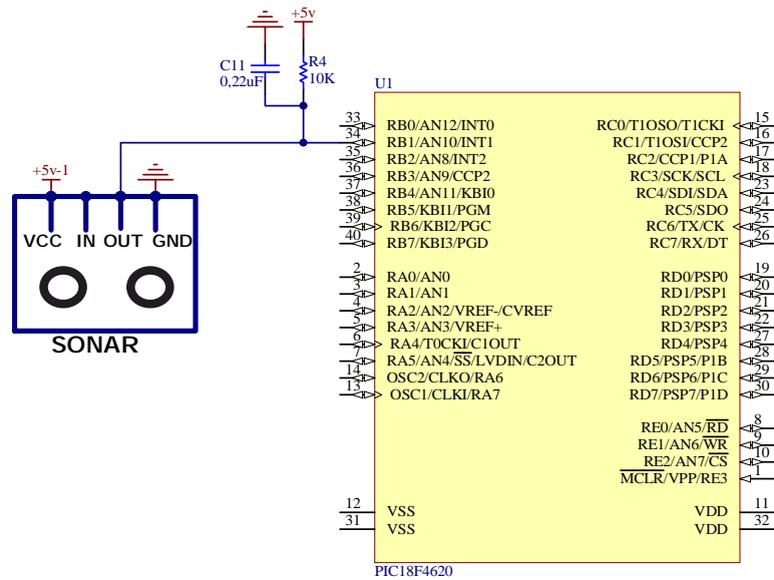


Figura 3-17 - Esquema elétrico do sonar.

### 3.4.4 Alarmes

Forma implementados alarmes para a identificação de colisão, estes alarmes são acionados caso o veículo se aproxime a menos de 250 mm de um obstáculo ou colida. Os alarmes que foram implementados são o luminoso (1) e o sonoro (2).

#### 3.4.4.1 Sinal Luminoso

O veículo está equipado com um sistema de iluminação que irá acender quando o software detectar que está em rota de colisão. Este sistema é composto por um LED.

Para limitarmos a corrente no LED foi usado um resistor de 10KΩ.

$$I = \frac{5 - 2}{1k} = 3mA \quad (\text{Eq. 4})$$

A Figura 3-18 mostra o esquema elétrico da ligação do sinal luminoso com o PIC.

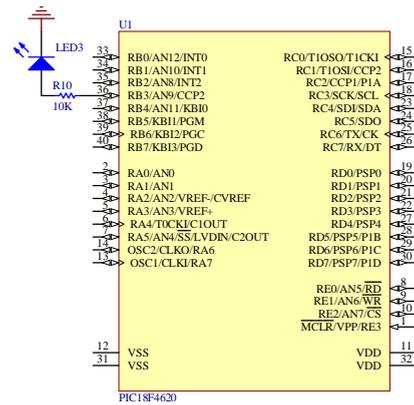


Figura 3-18 - Ligação do sinal luminoso.

### 3.4.4.2 Sinal Sonoro

O veículo possui um sistema que formado por um buzzer que é acionado quando o software detectar que esta em rota de colisão, podemos ver a ligação do buzzer ao PIC18F4620 na Figura 3-19.

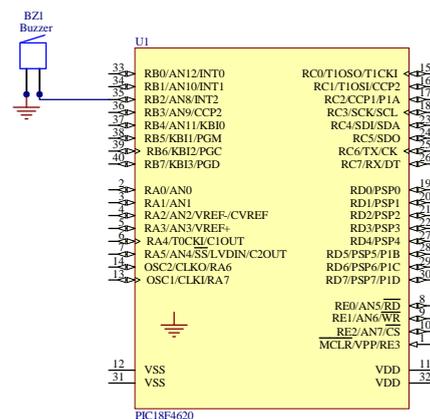


Figura 3-19 - Ligação do sinal sonoro.

### 3.4.5 Microcontrolador

O microcontrolador faz todo o tratamento e aquisição dos dados e é por ele que é feito o envio e recebimento de dados da memória, do teclado e do *display*. Através do *firmware* que foi gravado em sua memória interna.

#### 3.4.5.1 PIC 18F4620.

O microcontrolador utilizado no projeto foi o PIC18F4620, (ver Anexo B), devido a ter memória interna e uma serie de recursos em um único componente, do fabricante *Microchip Technology Inc.* Com o *clock* de 20 MHz, que esta sendo utilizado, este microcontrolador executa uma instrução a cada 0,2  $\mu$ s [4].

As suas principais características são apresentadas na Tabela 3-2.

Características	PIC18F4620
Frequência de Operação	DC - 40 MHz
Memória de programa (Bytes)	65536
Memória de programa (Instruções)	32768
Memória de dados (Bytes)	3968
Memória de dados EEPROM (Bytes)	1024
Fontes de Interrupção	20
Portas entrada/saída	Portas A, B, C, D, E
<i>Timers</i>	4
Módulos de captura PWM	1
<i>Enhanced</i> Módulos de captura PWM	1
Comunicação serial	MSSP, <i>Enhanced</i> USART
Comunicação paralela (PSP)	Yes
Módulo Analógico para digital de 10-bit	13 canais de entrada
Definição de atrasos	POR, BOR, Instrução para reiniciar, <i>Stack Full</i> , <i>Stack Underflow</i> (PWRT, OST), MCLR (opcional), WDt
Programa detecta baixa tensão	Sim
Programa saída de Reset	Sim
Configuração de instrução	75 Instruções; prolongado para 83 Habilita instrução
Encapsulado	40-pin PDIP 44-pin QFN 44-pin TQFP

Tabela 3-2 - Principais Características do PIC18F4620.

[Fonte: Microchip - [www.microchip.com](http://www.microchip.com)]

A Figura 3-20 mostra a pinagem do encapsulado do componente PIC18F4620.

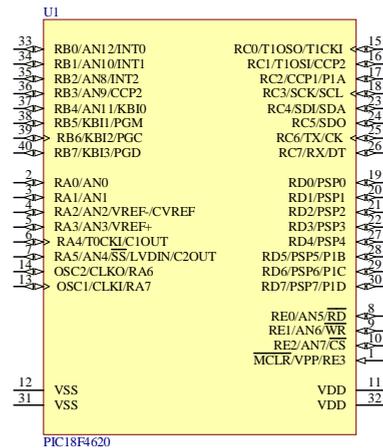


Figura 3-20 - Pinagem do PIC 18F4620  
[Fonte: Biblioteca Proteus]

### 3.4.6 Driver de Potência para Acionamento dos Motores

O acionamento dos motores feito a partir do circuito utilizando o CI L293B do fabricante Texas Instruments. Foi optado a utilização deste componente devido às características de fornecer em suas saídas uma corrente de 60 mA e a tensão de entrada para ligar os motores de até 36 V.

A Figura 3-21 mostra a pinagem do componente (CI293B), que contém quatro saídas (out1 a out4), dois pinos de habilitação (pinos 1 e 9), e os pinos de acionamento (2, 7, 10 e 15) individual para cada saída, a alimentação do CI VCC é de +5 V (pino 8) e a alimentação dos motores VCC1 que será de +12 V (pino 16).

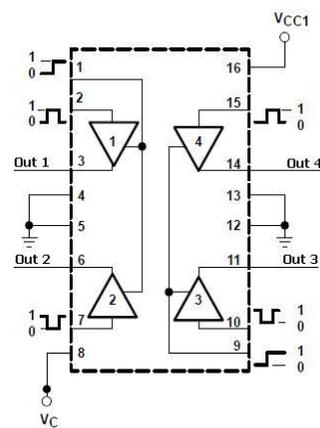


Figura 3-21 - Pinagem do CI 293B.  
[Fonte: Texas Instruments - [www.ti.com](http://www.ti.com)]

A Figura 3-22 mostra o esquema elétrico da ligação do componente CI293B como PIC 18F4620 para ligação dos motores.

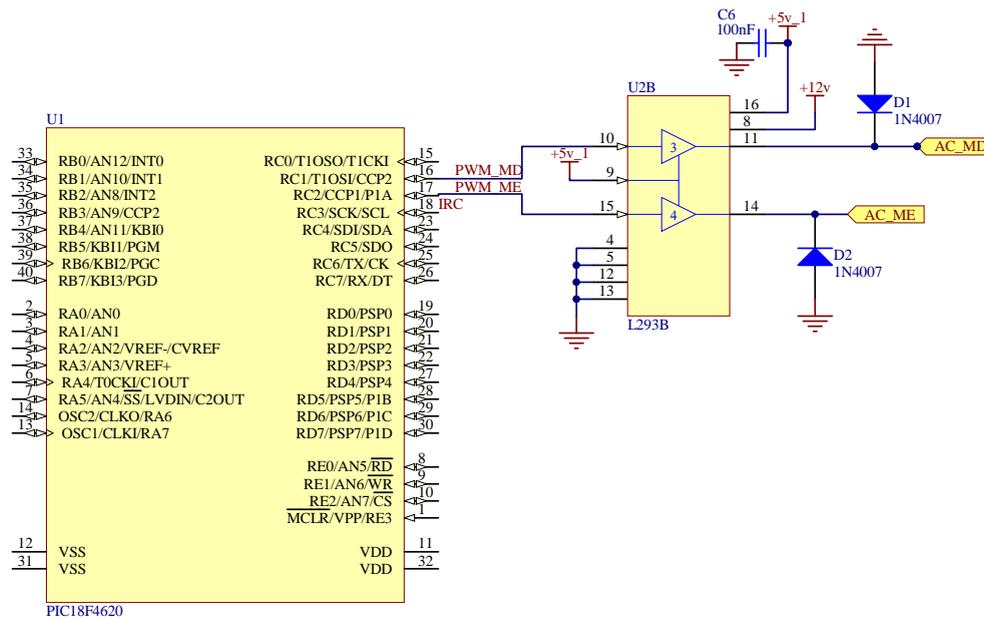


Figura 3-22 - Esquema elétrico da ligação do driver de potencia para ligação dos motores.

### 3.4.7 Motores Elétricos

A escolha do motor C.C. foi depois de uma bateria de testes práticos em modelos e tamanhos diferentes, nestes testes foram identificados as características dos motores testados.

As informações do fabricante do motor utilizado indica que ele possui caixa de redução integrada na proporção de 1:80, tensão de alimentação nominal de 12 V, a rotação sem carga é de 44 rpm, o torque é de 2,24kgf. O motor utilizado esta ilustrado na Figura 3-23.

Em conjunto com as rodas feitas de polietileno e possuem o diâmetro de 70 mm. A velocidade máxima obtida neste conjunto é de 10m/s, estes testes foram sem carga.



Figura 3-23 - Motor elétrico.

### 3.4.8 Encoder

O encoder óptico opera por meio de um disco com aberturas transparentes, que se move entre uma fonte de luz e um detector. Este disco é acoplado mecanicamente no eixo. À medida que o eixo começa a girar o disco passa entre a fonte e o detector, fazendo com que o feixe de luz seja interrompido quando encontra uma parte fechada e seja novamente liberado quando passar por uma abertura transparente, gerando assim uma onda pulsante. Como esta melhor representada na Figura 3-24.

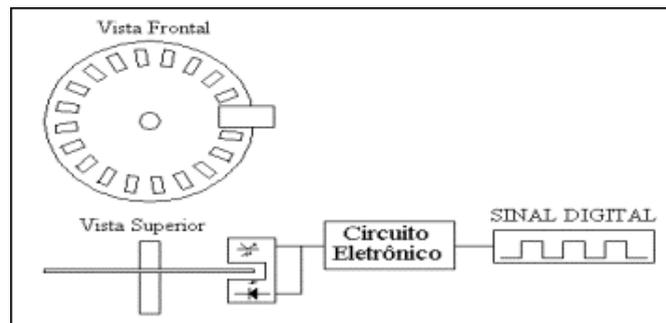


Figura 3-24 - Estrutura básica de um Encoder.  
[Fonte: Técnicas de sensoriamento –<sup>[12]</sup>]

O encoder gera um pulso para uma determinada distância linear percorrida. Uma vez que medindo a distância total percorrida (através da contagem dos pulsos na saída do encoder). A fonte de luz é um LED (Diodo Emissor de Luz), um diodo infravermelho. Já o detector é um fototransistor. Na Figura 3-25 esta ilustrado o componente utilizado.

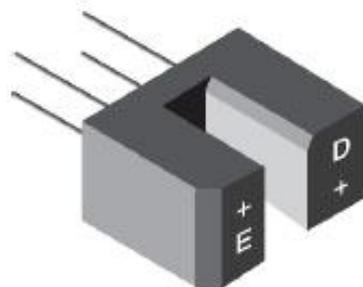


Figura 3-25 - Fototransistor Encapsulado.  
[Fonte: *Datasheet* do componente].

Para atender as especificações do fabricante foi projetado o circuito abaixo.

Temos:

$$i_e = \frac{v - v_e}{R_e} \quad (\text{Eq. 5})$$



$$i_r = \frac{v - v_r}{R_r} \quad (\text{Eq. 6})$$

Onde:

$v$  - tensão de alimentação;

$i_e$  - corrente do emissor;

$i_r$  - corrente do receptor;

$v_e$  - tensão do emissor;

$v_r$  - tensão do receptor;

$R_e$  - resistor do emissor;

$R_r$  - resistor do receptor;

Então a ligação do encoder que esta fixada na roda direita fica com os deste modo:

$$R_{16} = \frac{5v - 4v}{10mA} = 100\Omega \quad (\text{Eq. 7})$$

$$R_{15} = \frac{5v - 0,1v}{4,9mA} = 1K\Omega \quad (\text{Eq. 8})$$

A Figura 3-26 mostra o esquema elétrico da ligação do encoder fixado na roda direita, com o PIC18F4420. A Figura 3-27 mostra o esquema elétrico da ligação do encoder fixado na roda esquerda, com o PIC18F4420.

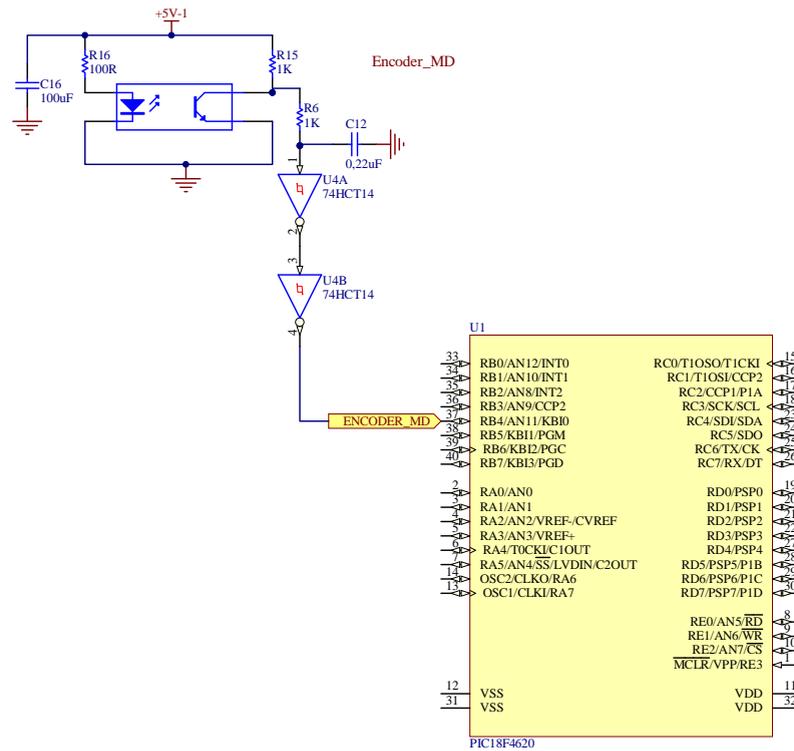


Figura 3-26 - Esquema elétrico do sistema óptico da roda direita.

Então a ligação do encoder que esta fixada na roda esquerda fica com os deste modo:

$$R18 = \frac{5v - 4v}{10mA} = 100\Omega \quad (\text{Eq. 9})$$

$$R17 = \frac{5v - 0,1v}{4,9mA} = 1K\Omega \quad (\text{Eq. 10})$$

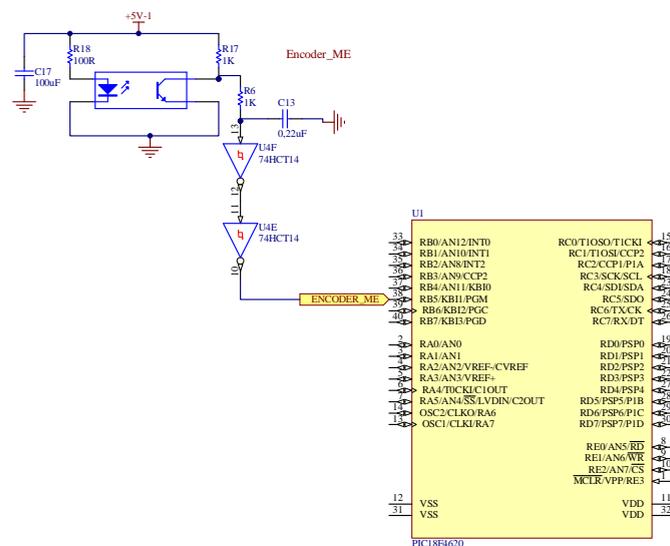


Figura 3-27 - Esquema elétrico do sistema óptico da roda esquerda.

Foi utilizado um circuito com inversoras com *Schmitt trigger* a fim de não haver variação na borda de subida e descida, o CI utilizado foi o 74HCT14 do fabricante PHILIPS. Podemos ver na Figura 3-28 a pinagem do componente, que contém quatro inversores.

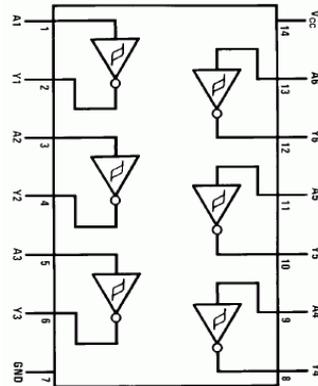


Figura 3-28 - Pinagem do CI 74HCT14.

[Fonte: *Datasheet 74HCT14 Philips semicondutores* – [www.semicondutores.philips.com](http://www.semicondutores.philips.com)]

Para que o sinal não fique invertido ao passar pela porta foi utilizado mais uma porta inversora, assim o sinal de saída fica com o mesmo sinal de entrada, não alterando a forma.

A fim de eliminarmos o ruído que estava interferindo na leitura do sonar foi utilizado um filtro na passa baixa na saída do modulo do encoder conforme mostra a (Eq. 11).

$$f_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot r \cdot c} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 1k \cdot 1\mu} = 159,154 \text{ Hz} \quad (\text{Eq. 11})$$

### 3.4.9 Placas Eletrônicas

Com o auxílio do software *Protel DXP* foi desenvolvido esquemas elétricos, as placas foram montadas em placa padrão conforme mostrada na Figura 3-30 e a Figura 3-31 mostram o esquema elétrico da placa dos sensores fotoelétricos.

#### 3.4.9.1 Placa do Controlador

Esta é a placa principal, pois nela fica o processador e a maioria dos componentes. Com todos os componentes descritos anteriormente, bem como outros necessários para o funcionamento do projeto. A Figura 3-29 apresenta a montagem do circuito da placa do processador.

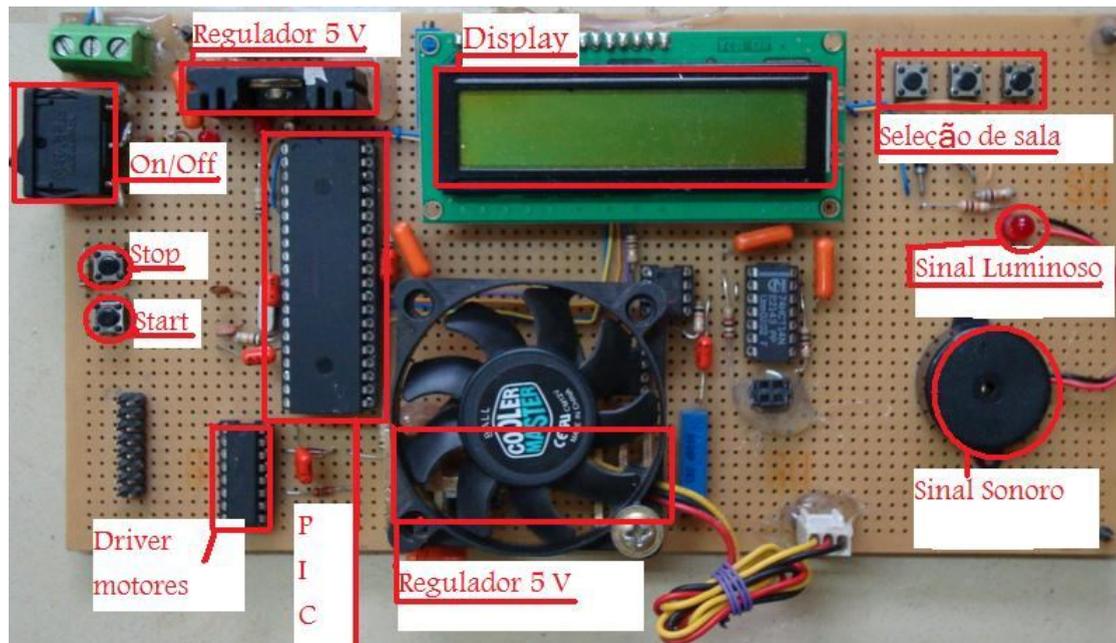


Figura 3-29 - Placa do processador

A Figura 3-30 mostra o esquema elétrico que foi montado à principal placa eletrônica do projeto, nela esta montada os reguladores de tensão, o controlador, as teclas de *Start* e *Reset*, o *Display* o *driver* de acionamento dos motores, o sinal luminoso.

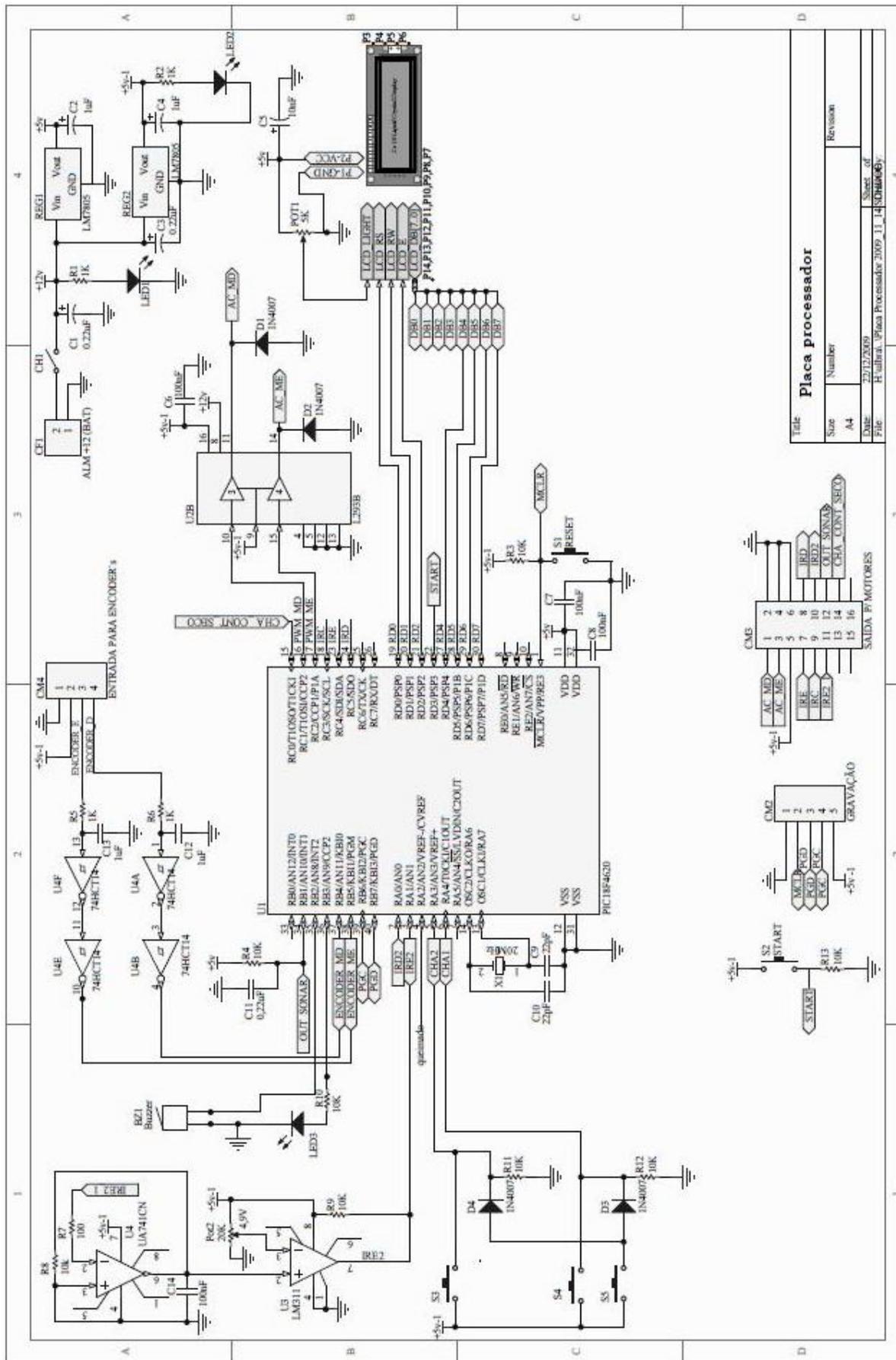


Figura 3-30 - Sistema de Controle dos Motores e Aquisição de Dados.

### 3.4.9.2 Placa do Sensor Fotoelétrico

Na Figura 3-31 está representado o esquema elétrico da ligação do sensor fotoelétrico que foi montada em placa padrão ilustrada na Figura 3-32.

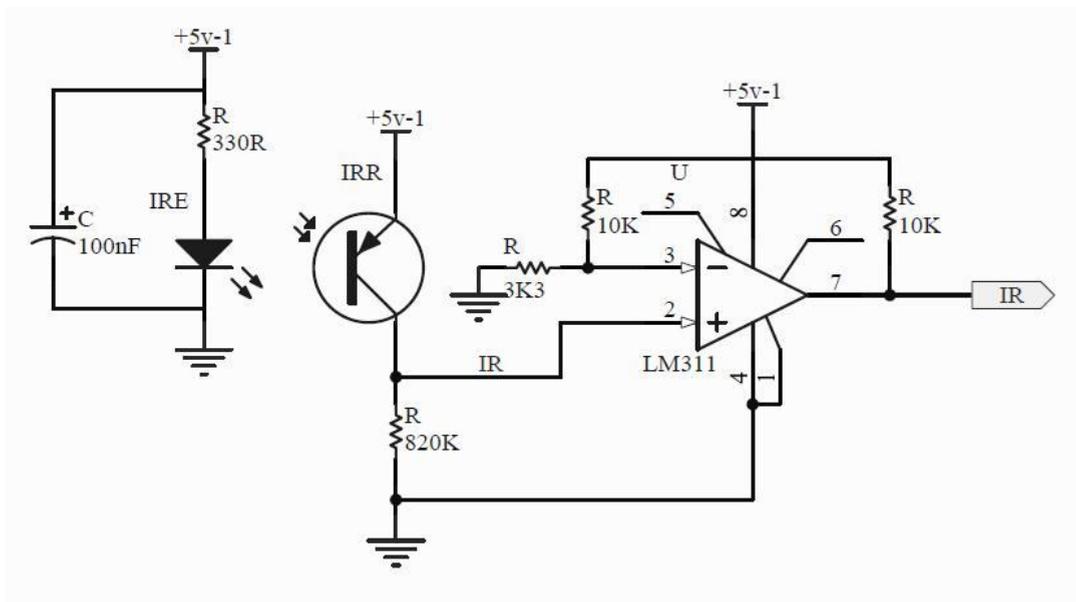


Figura 3-31 - Placa sensor fotoelétrico.



Figura 3-32 - Placa sensor fotoelétrico.

## 3.5 Descrição dos Sistemas Informáticos e Computacionais

O desenvolvimento do programa de controle e aquisição (*firmware*) foi realizado utilizando-se da linguagem C de programação, conjuntamente com o compilador *mikroC* da *mikroElektronika*. O programa é responsável pelo gerenciamento dos principais componentes do circuito. É nele que é feito o controle de todos os motores e o tratamento dos sinais provenientes sensores fotoelétricos, do sonar e contato seco.

### 3.5.1 Hardware de Gravação do Firmware

Nesse sistema é utilizando o kit de gravação do *firmware* da *MicroGênios*, o *MicroICD*, que possui o sistema de *in circuit debug* (*debug* em tempo real) que facilitam o desenvolvimento. A interface que liga o microcontrolador ao PC pode ser vista na Figura 3-33.



Figura 3-33 - Placa de gravação do PIC.  
[Fonte: Manual MicroICD]

### 3.5.2 O Compilador MicroICD

O compilador *mikroC compiler for PIC* é uma ferramenta para desenvolvimento de ambiente para toda a linha de processadores PIC (series PIC12, PIC14, PIC16 e PIC18), nele inclui a função de *debugger*, que é responsável pela compilação e geração do arquivo que será transferido para o micro-controlador.

### 3.5.3 Software de Gravação

O programa de gravação do PIC é o *PICKit2 Programmer*. Este software possui funções que ajudam na hora de programar, uma delas é a identificação automática do modelo do PIC que está sendo gravada, outra é a transmissão automática do programa após ser compilado.

## 3.6 Firmware

Como o objetivo de levar o veículo até o seu destino seguindo o traçado sem que haja colisões. A Figura 3-34 demonstra em um fluxograma o que o firmware irá executar (ver Apêndice A). Foram implementadas duas rotinas de interrupção como mostra a Figura 3-35 e Figura 3-36. Pode-se observar no fluxograma que o firmware somente inicia as suas tarefas se os sensores estiverem em suas posições pré-determinadas para iniciar o percurso. O processador monitorará os sensores do AGV a fim de seguir o traçado e detectar se já chegou ao seu destino. No final do seu destino o display mostra a distância percorrida por cada roda, distância essa lida através dos encoders fixados no eixo de cada roda.

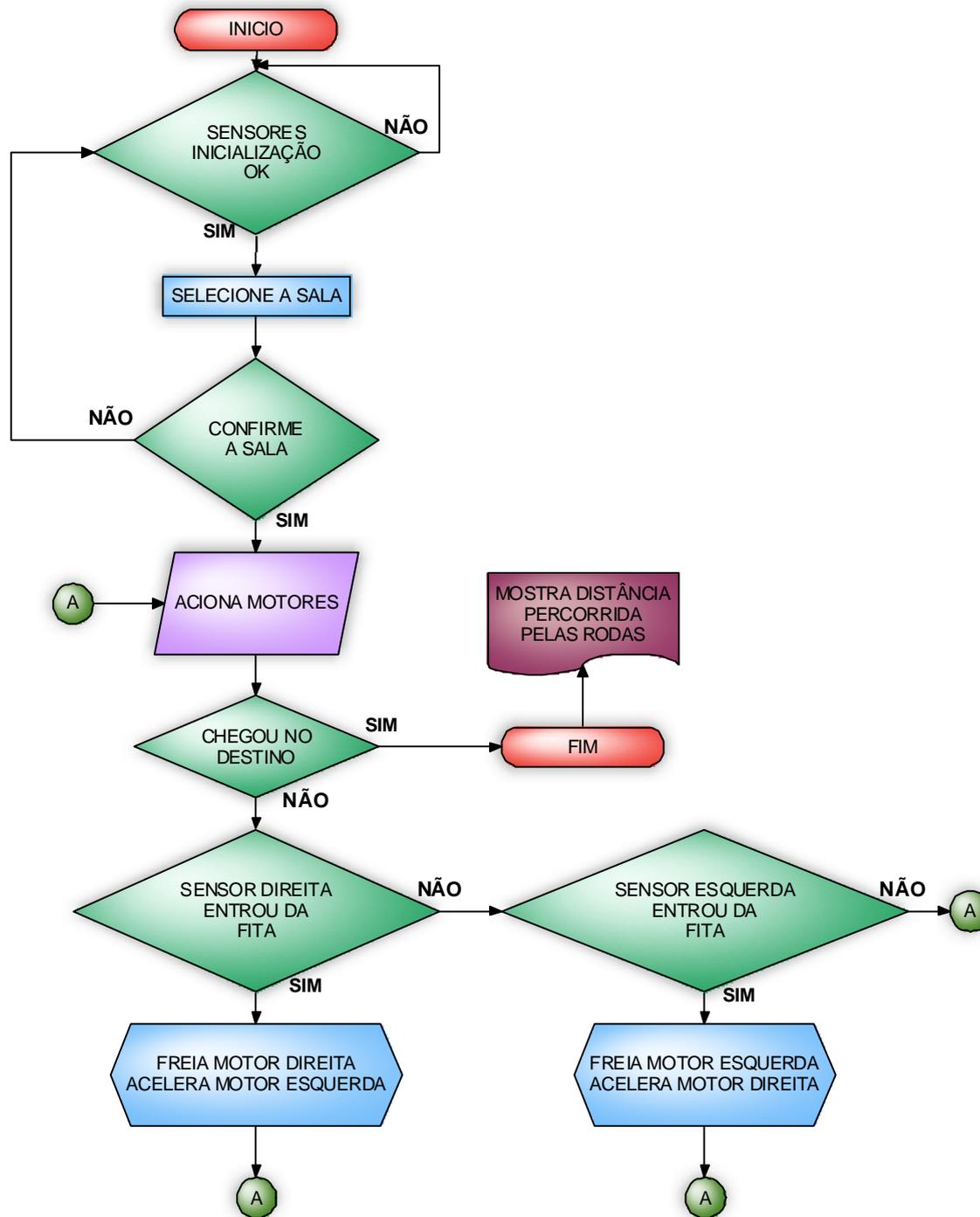


Figura 3-34 - Fluxograma da rotina principal do Software.

A rotina de interrupção (mostrada no Apêndice B) é responsável pela verificação se houve colisão do veículo com obstáculos. Uma interrupção é gerada pelos sensores fixados na parte frontal do veículo.

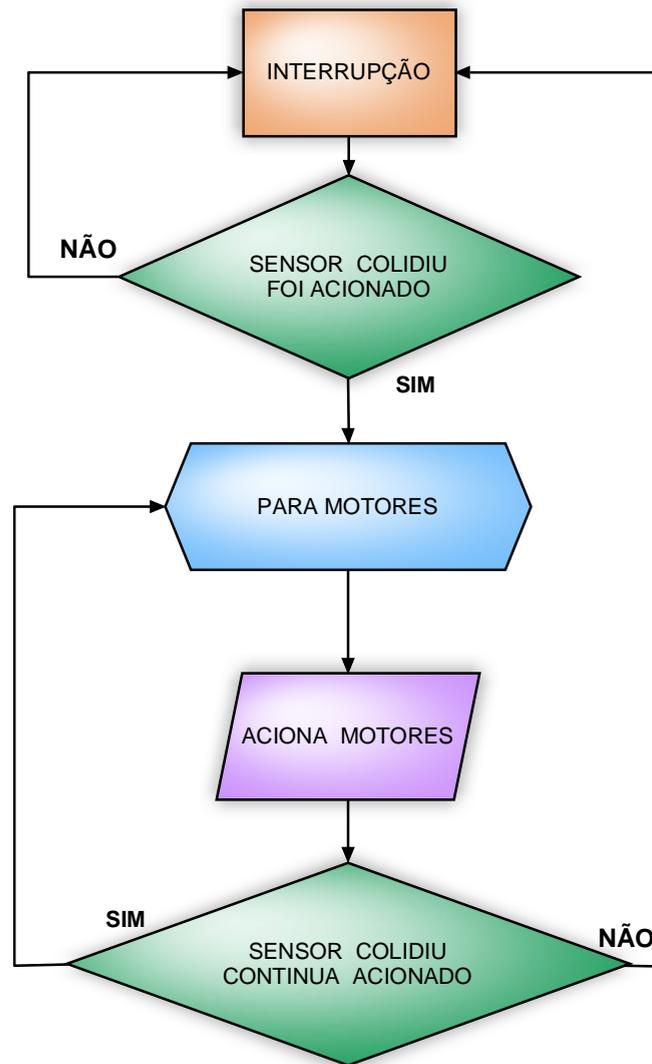


Figura 3-35 - Fluxograma da rotina de interrupção Software.

Esta rotina de interrupção é responsável pela verificação da distância do veículo até um obstáculo próximo. À distância até o obstáculo é medida através do sensor sonar.

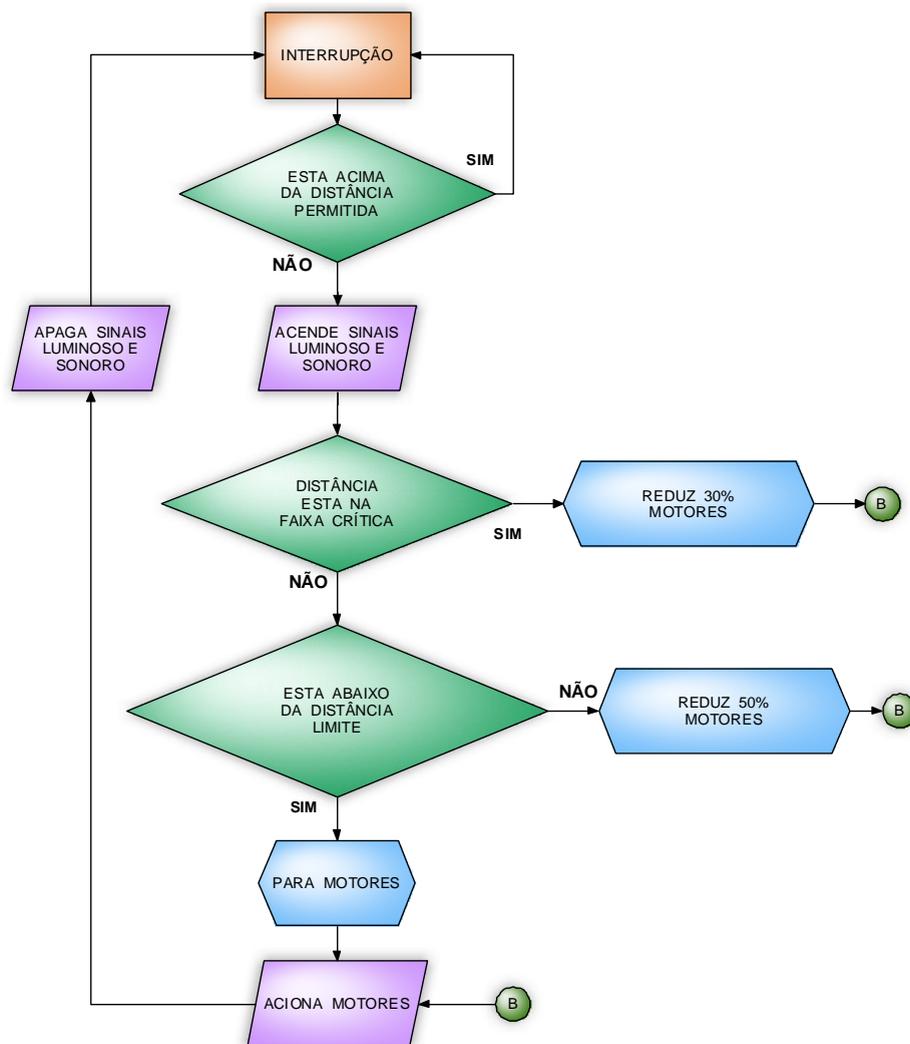


Figura 3-36 - Fluxograma da rotina de interrupção Software.

O único dado a ser informado pelo usuário é o destino que o veículo deverá percorrer. Após a confirmação deste dado o veículo inicia e termina percurso nem a necessidade de nenhuma intervenção.

### 3.6.1 Iniciando o Software

O usuário escolhe o destino do AGV através de chaves de seleção:

-  Chave 1 = sala 1.
-  Chave 2 = sala 2.
-  Chave 3 = ir até o final do percurso.

Com confirmação da sala escolhida o firmware inicia a leitura de dois sensores, denominados de inicialização, e somente ira para o próximo passo se os mesmos estiverem em suas posições de referencia.

Para que o veículo siga a faixa, esta sendo usados três sensores denominados:

- ✚ IRE – posicionado no lado esquerdo do veículo.
- ✚ IRD – posicionado no lado direito do veículo.
- ✚ IDC – posicionado no centro do veículo

A função de seguir a faixa é basicamente feita a partir da leitura dos sensores IRE, IRD e IRC assim o software identifica o trajeto e as curvas, se o sensor IRC estiver na faixa significa que o veículo está no percurso e se ao mesmo tempo os sensores IRE, IRD não estiverem acionados, significa que o veículo está em linha reta, acionando a velocidade máxima.

Se o sensor IRE entrar na faixa o programa orienta para que o motor da esquerda diminua a velocidade e o da direita aumente. Se o sensor IRD entrar na faixa o programa orienta para que o motor da direita diminua a velocidade e o da esquerda aumente. Esta rotina de seguir a faixa está representada pelo fluxograma da Figura 3-37.

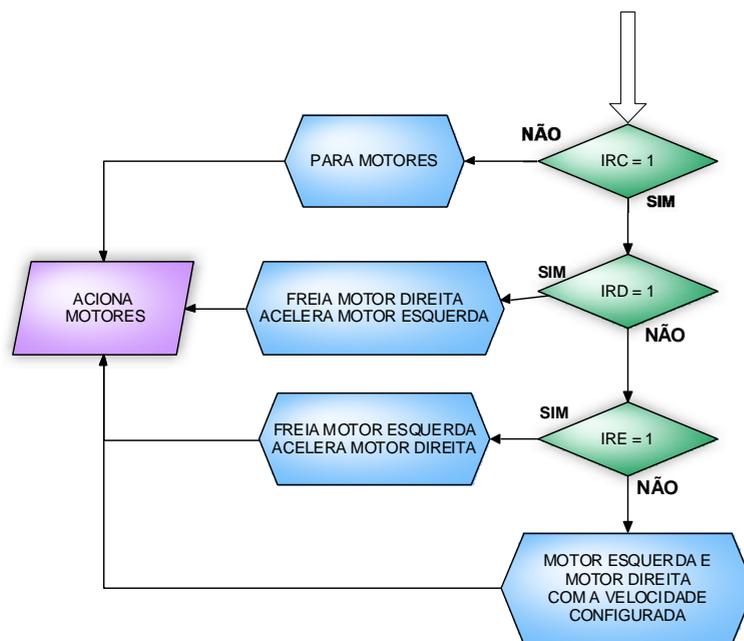


Figura 3-37 – Fluxograma para a leitura da faixa.

Junto ao sensor sonar, que é responsável por identificar se há obstáculos na rota, foram determinados 4 níveis correspondentes à distância até a colisão:

- ✚ Colisão > 500 mm, sem obstáculos.
- ✚  $500 \geq \text{colisão} > 380$  mm, distância crítica.
- ✚  $380 \geq \text{colisão} > 260$  mm, distância limite.
- ✚ Colisão < 260 mm, rota de colisão.

Se a distância do obstáculo for maior que 500 mm, considera-se como não havendo obstáculos. Neste caso os motores giram em velocidade máxima.



Caso a distância do obstáculo for menor ou igual ou maior a 500 mm e maior a 380 mm, considerada distância crítica, os motores terão a sua velocidade reduzida em 30%.

Caso a distância do obstáculo for menor ou igual a 380 mm e maior que 260 mm, considerada no limite, os motores terão a sua velocidade reduzida em 50%.

Entretanto, se a distância do veículo até o obstáculo for menor ou igual a 260 mm o processador considera que o AGV está a colidir parando os motores de forma imediata. O AGV fica nesse estado até que os sensores não estejam mais acionados neste modo.

Quando o sensor sonar identificar que existe um objeto em sua rota, acenderá um sinal luminoso informando do evento. Esse sinal irá desaparecer na remoção do obstáculo.

O sensor de contato seco esta implementado na parte frontal do veículo, caso algo não for detectado pelo sonar e o veículo colidir, os sensores de contato seco serão acionados fazendo com que o veículo pare imediatamente, permanecendo neste estado até que os mesmos voltem ao seu estado normal, desacionados.

A leitura dos códigos que indicam as salas é feita por um sensor fotoelétrico, denominado IRE2 que ao ser acionado compara com o código da sala escolhida pelo usuário. Se a contagem for a mesma que o código da sala escolhida, o processador faz os motores pararem e envia uma mensagem ao *display*.

A cada 600 mm o sistema demarca o percurso, e cada vez que o sensor, denominado IRD2, passa por esta demarcação o programa informa através do *display* à distância percorrida por cada roda até aquele momento.

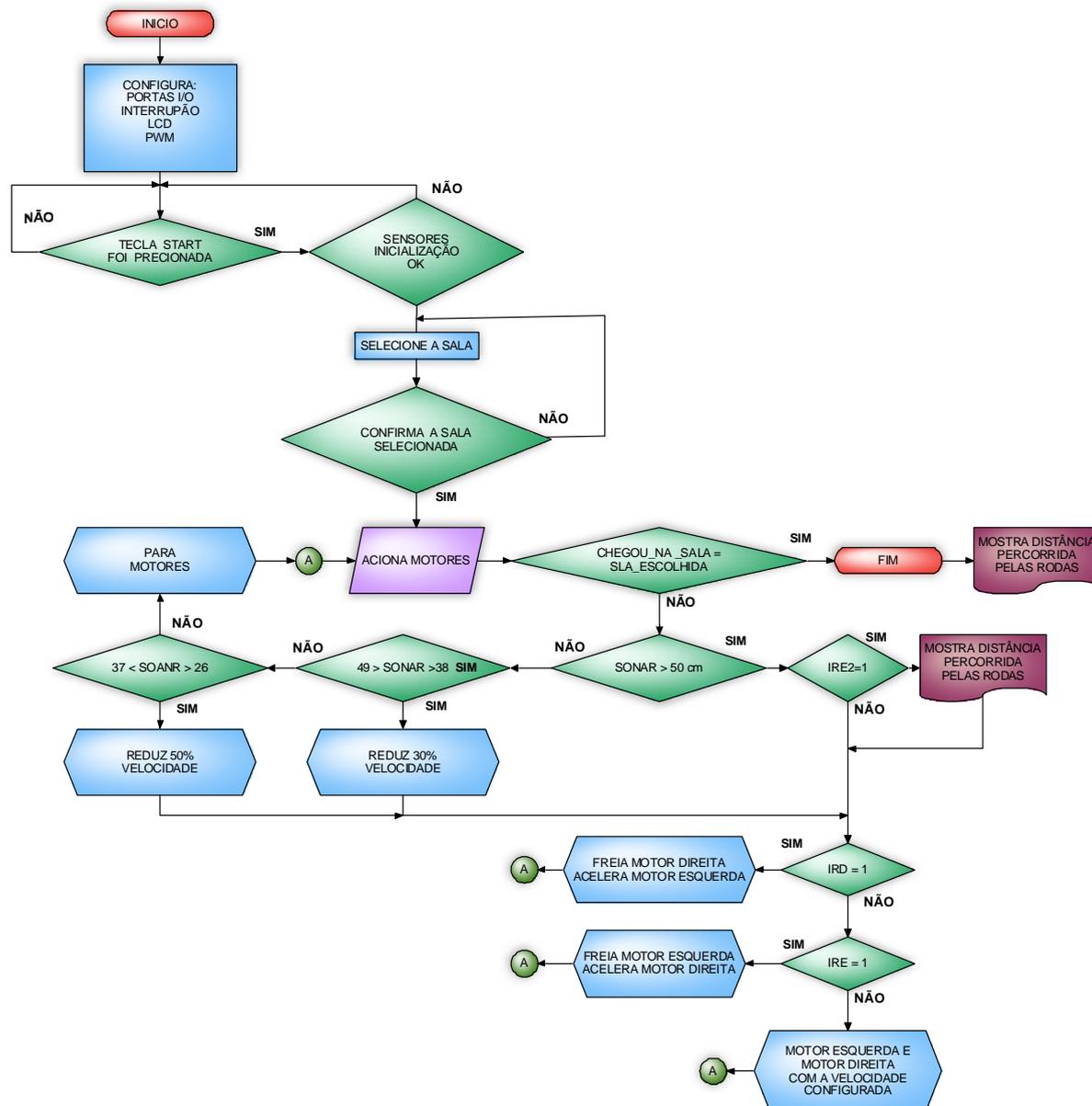


Figura 3-38 - Fluxograma do Programa.

### 3.7 Principais Rotinas

No software responsável por identificar e tratar todas as variáveis que compõem este projeto há inúmeras rotinas, cada rotina quando executada trata uma ou mais destas variáveis, configurando os pinos necessários para que o conjunto todo funcione. A seguir será apresentado um breve descritivo das principais rotinas.

#### 3.7.1 Rotina para Seguimento da Fita Guia

A rotina que faz o AGV seguir a fita, denominada de “le\_sensor\_direcao”, utiliza duas portas do processador. Cada porta dessas é interligada a um dos



sensores fotoelétrico. O software ao identificar que o acionamento de algum sensor irá proceder da forma que o foi configurado.

Se o sensor da direita for acionado o software executa o comando para que a roda esquerda acelere e reduza a roda direita, fazendo a curva para a direita.

Se o sensor da esquerda for acionado o software executa o comando para que a roda direita acelere e reduza a roda esquerda, fazendo a curva para a esquerda.

Se ambos os sensores não estiverem acionados o software executa o comando para que as duas rodas tenham a máxima velocidade configurada, pois esta em linha reta.

### 3.7.2 Leitura do Sonar

O software fica continuamente lendo a distância do veículo até algum obstáculo que esteja em sua área de cobertura.

Esta distância é calculada a partir do tempo que o eco da saída do módulo sonar ficar em nível alto. Este tempo é multiplicado pela velocidade do som (340m/s) e como o sonar tem o seu funcionamento baseado no princípio do eco também é dividido por dois, assim tem exatamente a distância do sensor até o obstáculo.

Com esta informação foi definido 4 níveis que variam conforme distância recebida. Se a distância for maior que 500 mm significa que não há obstáculos com que devemos nos preocupar, então a variável correspondente é carregada com o valor zero. Se a distância for menor que 500 mm e maior que 380 mm então significa que há um obstáculo com que devemos nos preocupar, então a variável correspondente é carregada com o valor 1. Se a distância for menor que 380 mm e maior que 260 mm significa que o veículo se aproximou mais do obstáculo e assim ter o maior cuidado, então a variável correspondente é carregada com o valor 2. Se a distância for menor que 260 mm significa que o obstáculo está na distância limite, e a colisão é iminente caso o AGV continue o percurso.

Com cada um destes resultados uma ação é tomada, caso o resultado for zero os motores funcionam em velocidade máxima. Se o resultado for 1 ambos os motores tem a sua velocidade reduzida em 30%. Se o resultado for 2 ambos os motores tem a sua velocidade reduzida em 50%. Mas se o resultado chegar ao nível crítico 3 imediatamente o processador ordena os motores pararem até que este estado mude.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados de forma objetiva, bem como os dados obtidos durante a realização de testes de funcionamento do protótipo construído.

### 4.1 *Seguimento a Fita Guia*

Após a escolha dos motores, a montagem da base do AGV e os hardwares dos sensores que liam a fita, foi feito um programa para que o AGV pudesse seguir a fita guia, inicialmente em uma linha reta, após vários testes foram implementadas as curvas.

### 4.2 *Sensores Fotoelétricos*

A escolha dos sensores fotoelétricos foi feita devido à resposta do sinal de saída. A escolha do resistor, conforme (Eq. 3), que compõem o circuito (Figura 3-9) é para limitar a corrente de todo o conjunto, porém a sensibilidade do conjunto é afetada conforme a corrente que passa pelo transmissor e pelo receptor, por isso os testes que tiveram os melhores resultados foram com os resistores de  $330\Omega$  e  $820\Omega$  ligados ao emissor e receptor respectivamente.

A Figura 4-1 mostra a tensão encima do resistor de  $820\Omega$  ligado a saída do sensor fotoelétrico receptor quando o mesmo se encontra encima da fita de sinalização, como podemos ver a tensão é de 1,20 V.

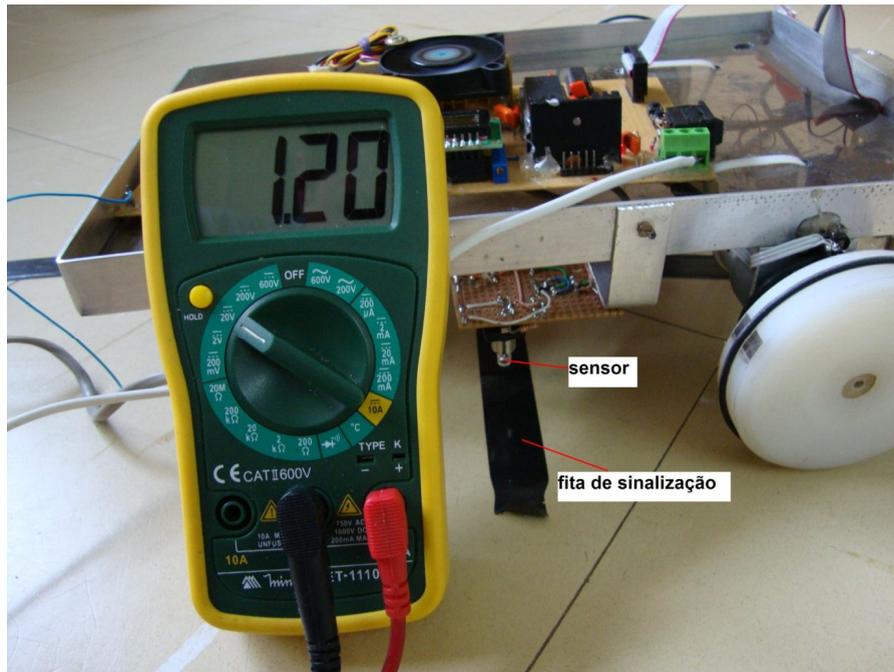


Figura 4-1 - Sinal de saída do sensor fotoelétrico na fita de sinalização.

A Figura 4-2 mostra a tensão acima do resistor de  $820 \Omega$  ligado a saída do sensor fotoelétrico receptor quando o mesmo se encontra fora da fita de sinalização, como podemos ver a tensão é de 2,04 V.

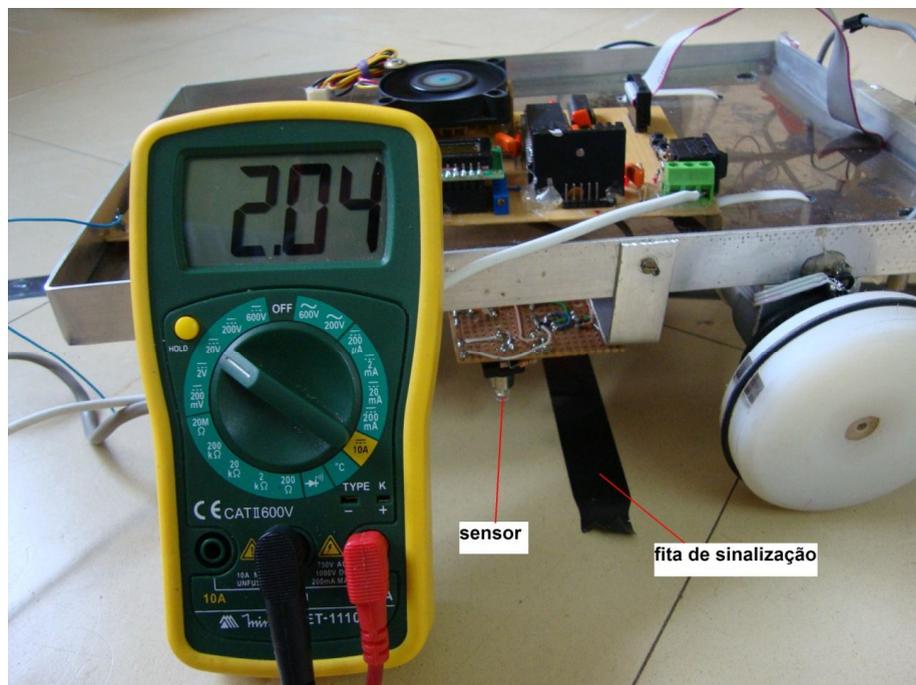


Figura 4-2 - Sinal de saída do sensor fotoelétrico fora da fita de sinalização.

Como o PIC por característica de projeto possui portas com padrão TTL. O processador detecta que o sinal é nível baixo quando a tensão for menor que 2 V e o nível alto quando a tensão for entre 4,5 V e 5 V. Por isso não foi possível ligar

diretamente a saída do transmissor à porta do processador. Para isto, foi utilizado um circuito comparador, conforme mostra a Figura 3-10.

A Figura 4-3 mostra a tensão de saída do sensor fotoelétrico quando esta sentindo a fita de sinalização após passar pelo circuito do comparador (0,05 V).

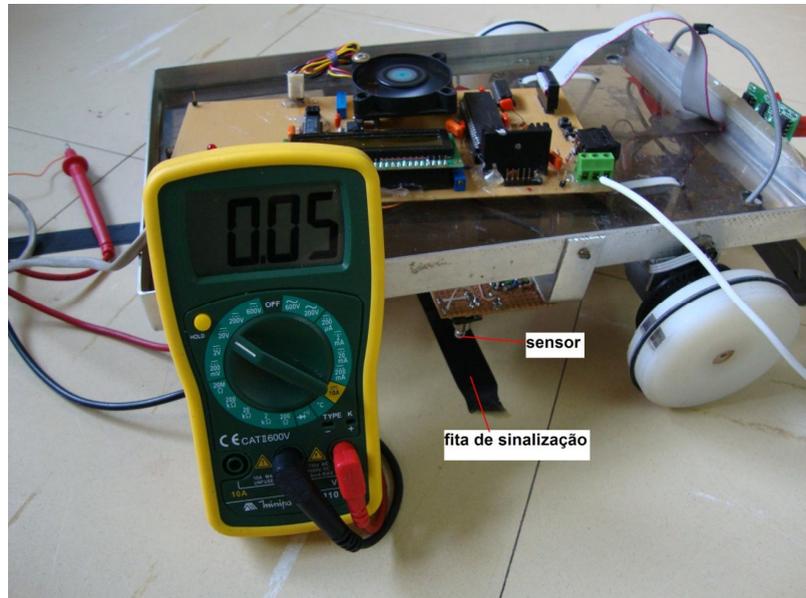


Figura 4-3 - Sinal de saída do comparador na fita de sinalização.

A Figura 4-4 mostra a tensão de saída do sensor fotoelétrico quando estiver fora da fita de sinalização, após passar pelo circuito do comparador (4,91 V).

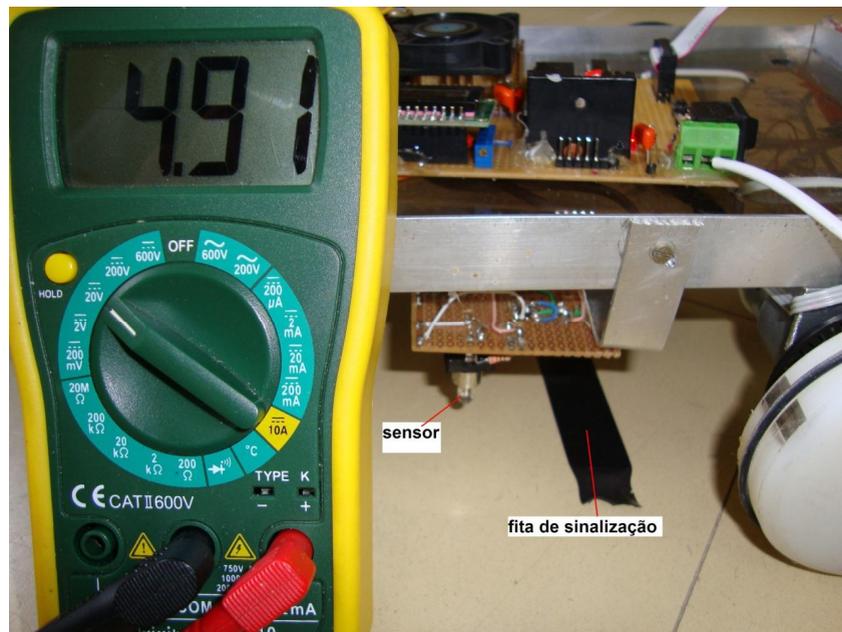


Figura 4-4 - Sensor fotoelétrico fora da área de sensibilidade.

### 4.3 Testes dos Encoders

A aferição dos encoders foi feita por uma batelada de medições para verificar a distância exata percorrida por cada roda. Para isso foi elaborado um programa que fizesse o AGV se deslocar a distâncias pré-definidas (como mostra a Tabela 4-1) a 1000 mm, a 500 mm e 250 mm. Essa distância foi percorrida com três diferentes percentuais da velocidade, 85%, 60% e 40%.

Conforme a Tabela 4-1 após uma seqüência dez ensaios para cada distância e velocidade, levantaram-se os dados para ambos os motores, D (direito) ou E (esquerdo). Foi usada a média aritmética do número de pulsos de cada encoder, a distância total calculada em cada um deles. O percentual de erro da distância calculada com a medida. E a distância máxima do desvio encontrado nos dez ensaios.

Distância medida em mm	PWM	Encoder	Número de pulsos médio	Distância calculada em mm	Erro	Desvio máximo em mm
1000	85%	E	206	1030	2,9%	14,6
		D	205,2	1026	2,5%	13,6
	60%	E	207,4	1037	3,6%	22,2
		D	207,3	1036,5	3,5%	8,2
	40%	E	204,4	1022	2,2%	12,7
		D	203,2	1016	1,6%	13,8
500	85%	E	102,3	511,5	2,2%	11,2
		D	102,6	513	2,5%	7,8
	60%	E	103,7	518,5	3,6%	8,2
		D	103,1	515,5	3,0%	10,2
	40%	E	104,9	524,5	4,7%	24,3
		D	103,1	515,5	3,0%	10,2
250	85%	E	52,8	264	5,3%	10,4
		D	51,7	258,5	3,3%	8,2
	60%	E	51	255	2,0%	4,9
		D	51,6	258	3,1%	7,8
	40%	E	52,2	261	4,2%	20,1
		D	51,7	258,5	3,3%	13,1

Tabela 4-1 - Distância percorrida x PWM x indicada.

#### 4.4 Sonar

O sistema sonar foi implementado seguindo o manual do fabricante a fim de obter a melhor precisão possível nas leituras realizadas, contudo os testes mostram uma melhor precisão em distâncias longas. A

Tabela 4-2 mostra o comparativo entre a distância calculada versus a

Distância (em mm)		
Medido	Indicado	Erro
200	250	25,00%
300	320	6,67%
400	420	5,00%
500	510	2,00%
600	610	1,67%
700	710	1,43%
800	810	1,25%
900	910	1,11%
1000	1000	0,00%
1100	1110	0,91%
1200	1210	0,83%
1300	1310	0,77%
1400	1400	0,00%
1500	1500	0,00%
1600	1610	0,63%

distância indicada em mm.

Tabela 4-2 - Distância medida x distância calculada e o erro.

Conforme pode se ver na

Tabela 4-2 o erro diminui conforme aumenta a distância entre o obstáculo e o sonar. O ponto a 200 mm apresentou o maior erro. As especificações do fabricante estabelecem que a faixa de sensibilidade do sonar seja de 200 mm a 1500 mm. Assim se conseguiu medições fora da especificada pelo fabricante.

A Figura 4-5 mostra a distância medida versus a distância esperada.

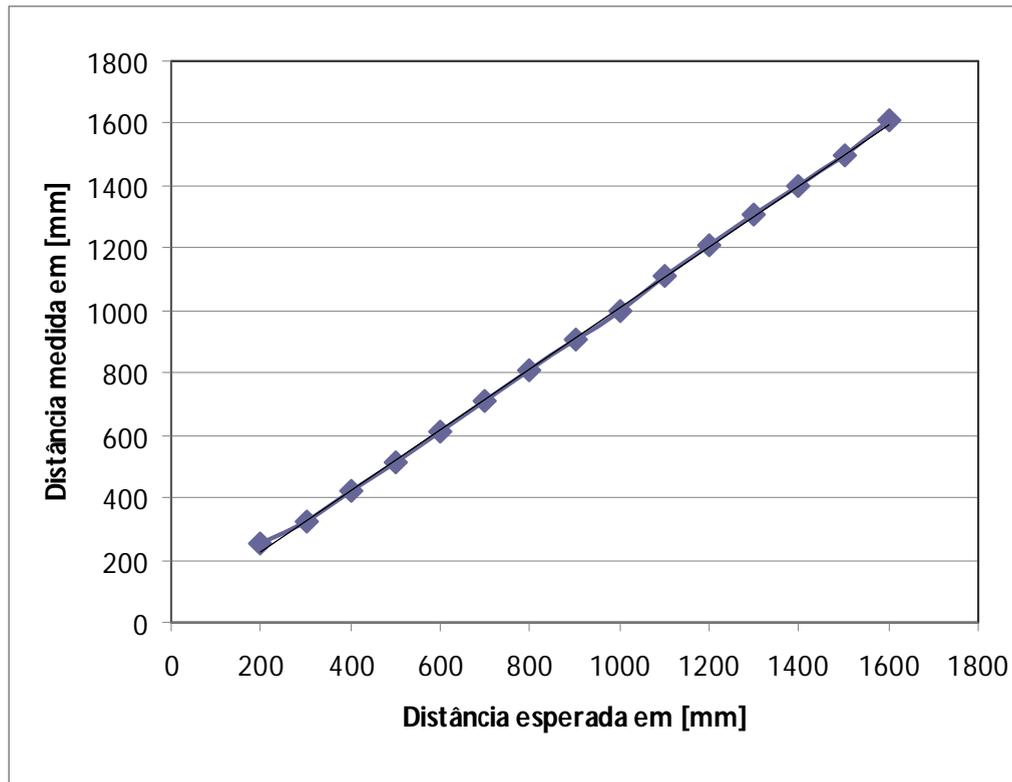


Figura 4-5 - Gráfico da distância medida x distância esperada.

Com os dados da Tabela 4-3 pode-se mapear a zona de sensibilidade do sonar. Esses dados foram medidos a partir do centro do sonar avaliando as distâncias horizontais e verticais, em mm, até o ponto onde o sensor identifica o objeto.

Distância vertical	Distância horizontal
130	50
200	110
400	250
800	550
1500	680
2200	700
2300	680
2450	600
2600	250
2650	110
2660	20

Tabela 4-3 - Distância medida horizontal x vertical.

O gráfico da Tabela 4-3 representado na Figura 4-6, mostra a área de sensibilidade do sensor. O gráfico representa somente um dos lados, considerando que a projeção para o lado oposto seja igual.

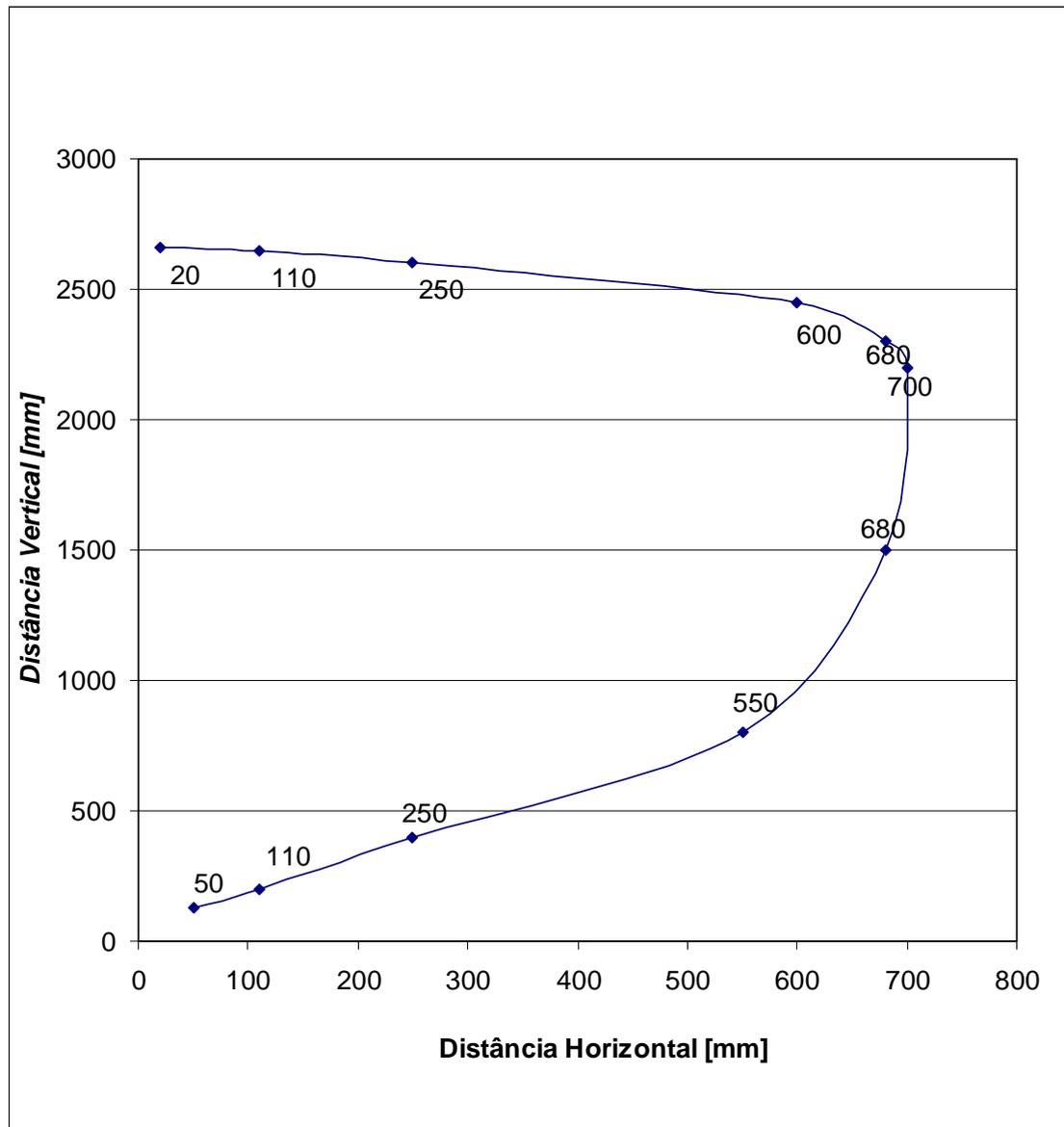


Figura 4-6 - Área de cobertura do sonar.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo serão apresentadas as considerações finais, de forma objetiva, bem como alguns problemas encontrados, uma avaliação dos objetivos propostos, a conclusão após o término deste projeto, a algumas sugestões para melhorias ou macetes para trabalhos futuros.

### 5.1 *Problemas Encontrados*

À medida que os sistemas eram implementados, os vários problemas foram surgindo. Problemas que na teoria não ocorrem, mas quando se fala em prática muitas variáveis influenciam os sinais elétricos

Alguns problemas foram resolvidos por meio de circuitos eletrônicos e outros através de software. Os problemas encontrados de ruído elétrico foram resolvidos colocando capacitores de desacoplamento entre as entradas de sinal e as alimentações de energia. A alimentação foi um dos pontos que teve de ter um cuidado especial, o excessivo aquecimento do regulador 7805 fazia com que os sinais fossem alterados, para isso foram implementados dois circuitos de alimentação, um deles era usado para o sistema digital e o *display*, o outro foi alimentado todos os sensores e o acionamento dos motores. Ambos reguladores agora não estão sendo usados em seus limites, pois tiveram a ajuda de dissipadores de alumínio e ventilador para ajudar ainda mais a questão do aquecimento.

#### 5.1.1 Ruído no Encoder

Com a implementação do encoder apareceram ruídos gerados pelos motores. Para solucionar esse problema foram adicionados três capacitores em paralelo nos terminais de cada motor, com valores de 100 pF, 100uF e 0,22 uF solucionando o problema de ruídos.

### 5.1.2 Sinal dos Sensores Fotoelétricos

Como o sinal recebido pelo fototransistor receptor de luz varia conforme a intensidade da luz ambiente e o tipo de material onde a luz irá refletir este sinal não é o ideal para que o processador detecte como nível baixo 0 V ou alto 5 V foi utilizado um comparador. Com isso a quando a tensão gerada pelo receptor fosse menor que 3 V a saída é levada a 0 V e quando o sinal for maior que 3 V esta partiria para 5 V.

Entretanto a leitura do processador era muito rápida com isso o sinal ainda estava na transição de 0 V para 5 V e o programa já estava lendo o valor novamente. Para resolver isso foi especificado, via software que a variável, correspondente por detectar a passagem da linha, só pudesse ser incrementada após o encoder ler dez pulsos. Isso significa que o AGV andou 50 mm o dobro da largura da fita que foi usada.

## 5.2 Avaliação dos Objetivos Propostos

O objetivo principal deste trabalho, que consistia em desenvolver um sistema para detecção da posição e obstáculos para um AGV, foi alcançado conforme descritos no item 5.3, embora alguns detalhes previstos não tenham sido implementados, como por exemplo, o estudo para determinar a capacidade das baterias e a comicidade dos pisos.

## 5.3 Conclusões

A utilização de AGV vem se expandindo a cada ano que passa pelas vantagens que o seu uso represente e, por isso, cada vez mais esta se buscando controles mais sofisticados para esses veículos autônomos, resultando em menores necessidades de intervenção humana. Com base nisso esse projeto teve o começo dos seus estudos o objetivo de criar um protótipo em escala que apresente requisitos mínimos de desempenho.

Assim se pesquisou e identificou, dentre vários, os sensores para seguir a fita guia, sensor sonar, motores, encoders, chaves ON/OFF.

A fabricação da estrutura do AGV foi refeita em alumino para diminuir o peso, após detectar que o primeiro protótipo (em ferro) apresentava respostas de controle insatisfatórias, devido a ser muito pesado para o conjunto de motores usados.

Os sensores foram cuidadosamente posicionados para a melhor leitura de todas as variáveis consideradas mais importantes. Uma série de testes foi executada, conforme capítulo 4. No decorrer dos testes vários problemas foram surgindo, alguns de software e outros de *hardware*, alguns simples de se solucionar e outros mais complexos.

Os sensores para a leitura do código da sala foram os que mais demoraram para serem colocados em pleno funcionamento, devido ao piso não ser da mesma cor, havendo pequenos sinais de outra cor nele desenhado, com isso os sensores ficavam sensibilizados onde não deveriam.

Com o encoder devidamente ajustado constatou-se que o a média dos erros apresentados na medida da distância percorrida em todas as baterias de testes, ficou em 3,13% sendo que o maior erro é de 5,3% quando submetido a 85% do PWM com a distância de 250 mm e o menor erro é de 1,6% quando submetido a 40% do PWM com a distância de 1000 mm.

Após a implantação do sonar e os devidos testes de aferição foi constatado que se teve um erro mínimo de 0,63% em uma distância de 1600 mm, um erro máximo de 25% na distância de 200 mm e um erro médio de todas as distâncias em 3,2%.

A Figura 5-1 mostra o como ficou o resultado do protótipo do AGV depois de implementado.

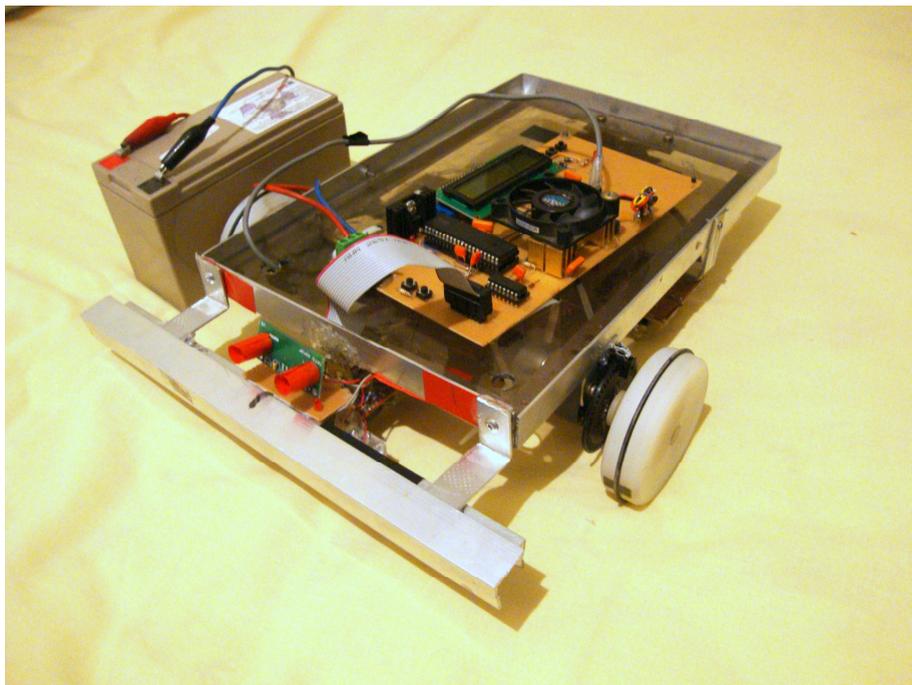


Figura 5-1 – Protótipo do AGV implementado.

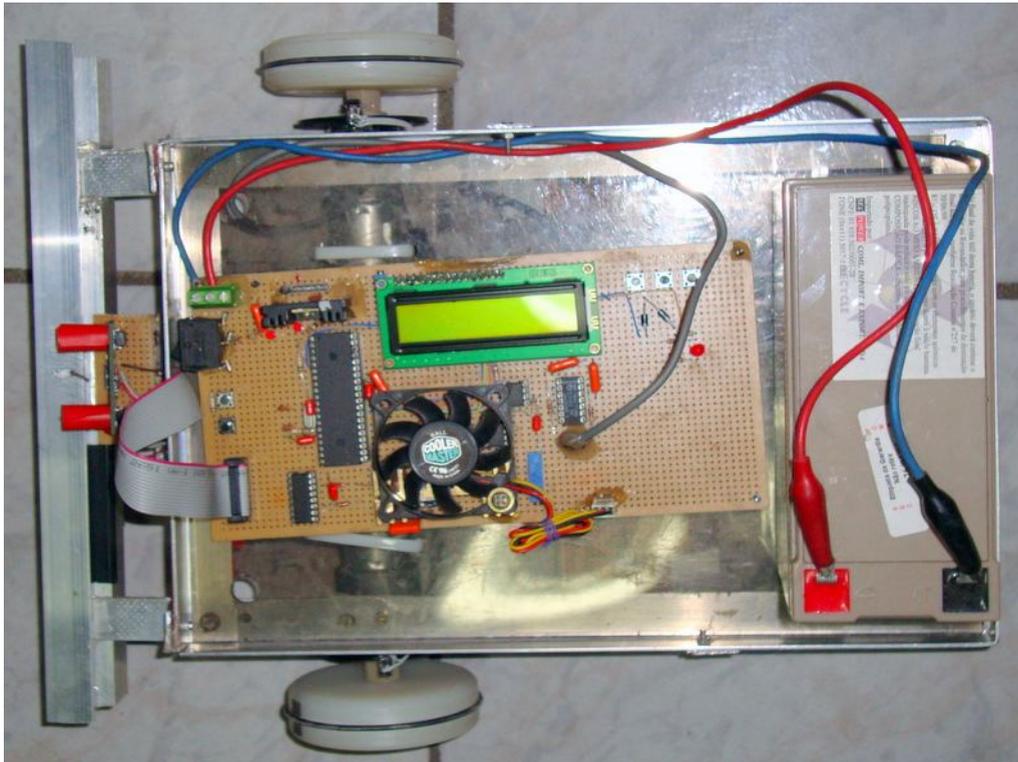


Figura 5-2 – Protótipo do AGV implementado vista superior.

#### 5.4 Sugestões para Trabalhos Futuros

Para trabalhos futuros sugere-se trabalhar com um material mais sensível para reflexão do sinal fotoelétrico. Ou sensores que tenham uma maior faixa para a variação, facilitando a detecção da variação do sinal recebido.

Implementar um sistema de gerenciamento *online* para monitoração a distância, podendo o veículo ser gerenciado a partir de um único ponto, e sabendo o que esta ocorrendo em seu trajeto.

Desenvolver uma estratégia para que o veículo possa desviar dos obstáculos e não esperar que os obstáculos saiam do trajeto, assim evitaria problemas com obstáculos estáticos e dinâmicos em sua trajetória.



## REFERÊNCIAS

[1] BOYLESTAD, Roberto L. – Introdução à Circuitos Elétricos – 8a Ed. - Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1998.

[2] PEREIRA, Fábio – Microcontroladores PIC, Programação em C. -7a. Ed. – São Paulo: Értica, 2007.

[3] Datasheet do sensor Sonar disponível em:  
<http://www.tato.ind.br/detalhesproduto.asp?id=39>. Acesso em: 28/07/2009.

[4] Datasheet PIC16F4620 disponível em:  
<http://www.microchip.com/wwwproducts/Devices.aspx?dDocName=en010304>.  
Acesso em: 10/06/2009.



## OBRAS CONSULTADAS

- [5]NEUKAMP, Guilherme Campos – Monitoramento da Temperatura da Bobina do Alto-Falante em Teste. Monografia de Graduação – ULBRA – Canoá, 2008.
- [6]GIORDANI, Flávio Torres – Desenvolvimento de um scanner Tridimensional para Medição de Densidade de Fluxo Magnético. Monografia de Graduação – ULBRA – Canoá, 2009.
- [7]UMEZAKI, Cleverson Eduardo – AVG – Veículo Auto-Guiado.– UNICENP – Curitiba, 2004.
- [8]SANTOS, Vitor M. F. – Robótica Industrial.– Universidade de Aveiro – Portugal, 2004.
- [9]COSTA, Sergio Eduardo Gouvêa da – Estudo e Implementação de Sistema de Controle para Veículo Auto-Guiado. – UNIVERSIDADE DE CAMPINAS – Campinas, 1993.

### Sites consultados:

- [10] Comunidade Brasileira de Eletrônica – CBE em: <http://www.eletronica.wiki.br>. Acesso 26/06/2009
- [11] Egemin disponível em: <http://www.egeminusa.com>. Acesso em 15/07/2009.
- [12] AGV Eletronics Disponível em - <http://www.agve.se>. Acesso em 10/07/2009
- [13]GlobalMag – Disponível em: <http://www.globalmag.com.br/index.htm>. Acesso em: 01/07/2009.
- [14]Portal Log Web– Disponível em: <http://www.logweb.com.br>. Acesso em: 01/07/2009.
- [15]Globalspec, pesquisa de engenharia – Disponível em: <http://www.globalspec.com>. Acesso em: 01/07/2009.
- [16]Savant Automation – Disponível em: <http://www.agvsystems.com/>. Acesso em: 01/07/2009.
- [17]Hans Moravec, pagina pessoal – Disponível em: <http://www.frc.ri.cmu.edu/~hpm/>. Acesso em: 01/07/2009.
- [18]Corecon – Disponível em: <http://www.coreconagvs.com/index.php>. Acesso em: 01/07/2009.
- [19]Feira de ciências – Disponível em: [www.feiradeciencias.com.br](http://www.feiradeciencias.com.br). Acesso em: 01/07/2009.

## APÊNDICE A – SOFTWARE PRINCIPAL

```

/*****
DECLARAÇÃO DAS FUNÇÕES
*****/
int ini_lcd(); // inicialização do display
int start_button(); // botão de START em RD3
int setup_io(); // seta portas de inicialização
int ini_interrupt(); // configura as interrupções
void interrupt(); // função das interrupções, obs. todas as interrupções devem ser tratadas aqui dentro.
int escreve_distancia(); // rotina para escrever a distancia percorrida até a sala
int le_sensor_esquerda(); //le o sensor IRE2 e conta as salas
int le_sensor_direita(); // le o sensor IRD2 para imprimir a sala
int setup_pwm(); //função para inicializar os pinos do PWM
int le_sensor_direcao(); // le os sensores IR da direita e da esquerda
int aciona_motor(); //aciona os motores
int le_final_curso(); // indica quando chegou ao final do percurso
int le_ir_centro(); // le o sensor IR do centro
int le_sensor_colidiu(); // monitora a porta RCO para verificar se bateu em algo
int teste_sensor_colidiu(); // fica testando se porta RCO voltou a "0"
int le_seleciona_sala(); // rotina para esperar a chave de seleção das salas serem acionadas
int compara_chaves(); // rotina para indicar qual sala foi acionada
int confirma_sala_selecionada(); // rotina para confirmar a sala selecionada
int compara_sala(); // compara a sala escolhida com o contador_direita
int fim_da_sala(); // para após sala selecionada
int le_sensor_centro(); //le o sensor do centro se não estiver na fita não inicia
int imp_distancia_sonar(); // função para imprimir a distancia do obstaculo no sonar
int controle(); // função que controla as curvas com o sonar
int imp_statu(); // imprime o status do percurso
int escreve_distancia_esquerda(); // imprime a distância, acionado pelo sensor da esquerda
// tratadas aqui dentro.

/*****
DECLARAO DAS VARIAVEIS GLOBAIS
*****/
int encoderd=0;
char char_encoderd[3];
char char_cont_dist_d[3];
int encoderd1=1;
int encodere=0;
char char_encodere[3];
char char_cont_dist_e[3];
int encodere1=0;
int faixae=0;
int faixad=0;
int contador_esquerda=0;
char char_contador_esquerda[5];
int sensor = 0; // variavel usada para indicar qual sensor leu a fita da direção
int pwm_md, pwm_me; // variavel usada para setar % dos motores
int sensor_ir_e = 0; // variavel do sensor IRE
int sensor_ir_d = 0; // variavel do sensor IRD
int sensor_ir_c = 0; // variavel do sensor IRC
int sensor_ir_e2 = 0; // variavel do sensor IRE2
int sensor_ir_d2 = 0; // variavel do sensor IRD2
int sala_escolhida=0; // variavel usada para indicar qual sala foi escolhida pelas chaves
int cha1; // variavel das chaves de seleção das salas
int cha2; // variavel das chaves de seleção das salas
char char_sala_escolhida[5]; // transforma variavel em char para imprimir no display
int chegou_na_sala=0; // variavel usada para comparar a sala com o contador da sala
unsigned int timer0H, timer0L; // variavel para o sonar
unsigned long dis_sonar =0; // variavel a ser convertida char para imprimir no display

```



```
char char_dis_sonar[5]; // variavel de 5 posições
int verifica_borda = 0; // variavel para identificar se é borda de subida ou descido do sonar
int distancia_sonar=0; // variavel que contem a distancia do obstaculo no sonar
int colisao=4;
char char_colisao[5];
int cont_ecoder=0; // variavel para indicar após quantas vezes incrmentada o encoder ela pode contar a faixa
char char_cont_ecoder[3];
int cont_ecoder_direita=0; // variavel para indicar após quantas vezes incrmentada ela pode identificar a proxima faixa
int cont_dist=0;
int etapa=0;
int statu=0;
char char_statu[3];
char char_cont_dist_de[3];
char char_cont_dist_ee[3];

/*****
INICIO DO PROGRAMA
*****/

void main()
{
    // apaga o led que sinaliza o obstaculo
    PORTB.RB3 = 0x00;
    // inicialização
    setup_io(); // função para inicializar as portas
    ini_interrupt(); // função para inicializar as interrupções
    ini_lcd(); // função para inicializar o display
    setup_pwm(); // função para inicializar os pinos do PWM
    Lcd_Custom_Cmd(LCD_CLEAR); // Limpa display

    // aguarda start ser pressionado
    Delay_ms(10);
    Lcd_Custom_Out(1, 1, "Aperte Start"); // Escreve no display (linha, coluna).
    Lcd_Custom_Out(2, 1, "para iniciar"); // Escreve no display (linha, coluna).
    while (!start_button()); // aguarda a START ser pressionada
    Lcd_Custom_Cmd(LCD_CLEAR); // Limpa display

    // ler os sensores de inicialização e seleção da sala
    le_sensor_centro(); // le sensor do centro, inicia se estiver ir estiver na linha e ird não estiver na linha
    Lcd_Custom_Cmd(LCD_CLEAR); // Limpa display

    // funções para selecionar a sala ou ir até o final do percurso
    le_seleciona_sala(); //aguarda até que alguma chave de seleção das salas for acionada
    confirma_sala_selecionada(); // confirma a sala selecionada e espera até que a chave start for
    Lcd_Custom_Cmd(LCD_CLEAR); // Limpa display

    // sensores de inicialização e sala escolhida... OK
    //começa a movimentar o carro e sensores de obstaculos

    switch (etapa)
    {
        case 1:{ // carrinho deve ir até a sala 1
            //imprime a sala inicial 0
            statu=1;
            IntToStr(contador_esquerda, char_contador_esquerda); // converte short para string para imprimir no
display
            Lcd_Custom_Out(1, 6, char_contador_esquerda); // imprime no display
            Lcd_Custom_Out(1, 1, "sala"); // Escreve no display (linha, coluna).
            while (1)
            {
                INTCON.RBIE = 1; // habilita o interrupção
                // rotinas para verificar status
                // funções que identificam eventos no percurso
                le_final_curso(); // verifica se chegou no final do percurso
                le_sensor_colidiu(); // verifica se o sensor_colidiu foi acionado
                // rotinas para escrever no display
                // escreve na tela a posição exata da sala pelo sensor IRE2
                le_sensor_esquerda(); // conta o numero de vezes que o sensor passou pela linha
                // escreve a distância percorrida pelo veiculo ao identificar a faixa da direita
                le_sensor_direita();
                //rotinas para identificar a sala
                // funções para comparar a sala que esta sendo lida com a que foi selecionada
                compara_sala(); //compara a sala que esta sendo lida no sensor_direita_d2 com a escolhida
                fim_da_sala(); //para o carro na sala escolhida e escreve no display
                //acionamento dos motores
            }
        }
    }
}
```



```
//essas 2 funções abaixo fazem o carrinho seguir a linha e motor rodar
    le_sensor_direcao(); // faz seguir a linha
    controle(); // faz movimentar os motores pelo sonar e pelos sensores da linha
}
break;
}
case 2:{ // carrinho deve ir até a sala 2
    statu=2;
    IntToStr(contador_esquerda, char_contador_esquerda); // converte short para string para imprimir no
display
    Lcd_Custom_Out(1, 6, char_contador_esquerda); // imprime no display
    Lcd_Custom_Out(1, 1, "sala"); // Escreve no display (linha, coluna).
    while (1)
    {
        INTCON.RBIE = 1; // habilita o interrupção
        // rotinas para verificar status
        // funções que identificam eventos no percurso
        le_final_curso(); // verifica se chegou no final do percurso
        le_sensor_colidiu(); // verifica se o sensor_colidiu foi acionado
        // rotinas para escrever no display
        // escreve na tela a posição exata da sala pelo sensor IRE2
        le_sensor_esquerda(); // conta o numero de vezes que o sensor passou pela linha
        // escreve a distância percorrida pelo veiculo ao identificar a faixa da direita
        le_sensor_direita();
        //rotinas para identificar a sala
        // funções para comparar a sala que esta sendo lida com a que foi selecionada
        compara_sala(); //compara a sala que esta sendo lida no sensor_direita_d2 com a escolhida
        fim_da_sala(); //para o carro na sala escolhida e escreve no display
        //acionamento dos motores
        //essas 2 funções abaixo fazem o carrinho seguir a linha e motor rodar
        le_sensor_direcao(); // faz seguir a linha
        controle(); // faz movimentar os motores pelo sonar e pelos sensores da linha
    }
    break;
}
case 3:{ // carrinho deve ir até o final do percurso
    statu=3;
    Lcd_Custom_Out(1, 1, "Indo ate o final"); // Escreve no display (linha, coluna).
    while (1)
    {
        INTCON.RBIE = 1; // habilita o interrupção
        // rotinas para verificar status
        le_final_curso(); // verifica se chegou no final do percurso
        le_sensor_colidiu(); // verifica se o sensor_colidiu foi acionado
        // rotinas para escrever no display
        // escreve a distância percorrida pelo veiculo ao identificar a faixa da direita
        le_sensor_direita();
        //acionamento dos motores
        //essas 2 funções abaixo fazem o carrinho seguir a linha e motor rodar
        le_sensor_direcao(); // faz seguir a linha
        controle(); // faz movimentar os motores pelo sonar e pelos sensores da linha
//
        conf_pwm_motor();
    }
    break;
}
}
} // FIM DA MAIN
```



## APÊNDICE B – ROTINA DE INTERRUPTÃO

void interrupt(void)// função das interrupções, obs. todas as interrupções devem ser tratadas aqui dentro.

```
{
  if(INTCON3.INT1IF == 1) // função para o sonar
  {
    INTCON3.INT1IF = 0; //limpa a flag de interrupção
    if (verifica_borda == 0) //verifica se é de borda de subida
    {
      TMR0L = 0;
      TMR0H = 0;
      INTCON2.INTEDG1 = 0; //inverte a borda
      verifica_borda = 1;
      TOCON.TMR0ON = 1;
    }
  }
  else
  {
    TOCON.TMR0ON = 0;
    timer0L = TMR0L; // carrega a parede baixa
    timer0H = TMR0H; // carrega a parte alta
    TMR0L = 0;
    TMR0H = 0;
    dis_sonar = (timer0H << 8);
    dis_sonar = (timer0L + dis_sonar);
    verifica_borda = 0;
    INTCON2.INTEDG1 = 1; //inverte a borda
    dis_sonar=dis_sonar*34; // velocidade do som 340 m/s
    dis_sonar=dis_sonar/2; // o tempo medido é de ida e volta
    dis_sonar=dis_sonar/100; // acerta a escala
    if(dis_sonar>50) // se a distancia for maior que 50 cm
    {
      colisao=0;
    }
    if((dis_sonar<=50)&&(dis_sonar>38)) //se a distancia do sonar for de 49 a 39
    {
      colisao=1;
    }
    if((dis_sonar<=38)&&(dis_sonar>26)) //se a distancia do sonar for de 38 a 27
    {
      colisao=2;
    }
    if(dis_sonar<=26) // se a distancia do sonar for menor ou igual a 26
    {
      colisao=3;
    }
  }
}
if(INTCON.RBIF == 1) //trata o interrupção a nos pinos RB4 a 7
{
  INTCON.RBIF = 0;
  if (PORTB.RB5==1) // pino 38 encoder direita
  {
    if (encoderd1==1)
    {
      encoderd1++;
      encoderd++;
      cont_encoder++;
      cont_encoder_direita++;
    }
  }
}
else
```



```
{
  encoderd1=1;
}
if (PORTB.RB4==1) // pino 37
{
  if (encodere1==1)
  {
    encodere1++;
    encodere++;
  }
}
else
{
  encodere1=1;
}
} // FIM interrupt(void)
```



## APÊNDICE C – OUTRAS FUNÇÕES

```
/******  
FUNÇÕES  
*****/  
int imp_statu()  
{  
  INTCON = 0b00000000; // habilita para configurar todas as interrupções  
  switch (statu)  
  {  
    case 1:{  
      display      IntToStr(contador_esquerda, char_contador_esquerda); // converte short para string para imprimir no  
      Lcd_Custom_Out(1, 6, char_contador_esquerda); // imprime no display  
      Lcd_Custom_Out(1, 1, "sala"); // Escreve no display (linha, coluna).  
      break;  
    }  
    case 2:{  
      display      IntToStr(contador_esquerda, char_contador_esquerda); // converte short para string para imprimir no  
      Lcd_Custom_Out(1, 6, char_contador_esquerda); // imprime no display  
      Lcd_Custom_Out(1, 1, "sala"); // Escreve no display (linha, coluna).  
      break;  
    }  
    case 3:{  
      Lcd_Custom_Out(1, 1, "Ir ate o final"); // Escreve no display (linha, coluna).  
      break;  
    }  
  }  
  INTCON = 0b11000000; // habilita para configurar todas as interrupções  
  return statu;  
} //Fim imp_status  
  
int controle()  
{  
  if (sensor==3) // se Sensor E e D estao fora da faixa esta na reta  
  {  
    if(colisao==0) //distancia do sonar é maior que 50  
    {  
      pwm_me =85;  
      pwm_md =85;  
      aciona_motor();  
      PORTB.RB3 = 0x00;  
    }  
    if(colisao==1) // distancia do sonar é entre 50 a 38  
    {  
      pwm_me =60;  
      pwm_md =60;  
      aciona_motor();  
      PORTB.RB3 = 0xFF;  
      Delay_ms(40);  
      PORTB.RB3 = 0x00;  
    }  
    if(colisao==2) // distancia do sonar é entre 38 a 26  
    {  
      pwm_me =40;  
      pwm_md =40;  
      aciona_motor();  
      PORTB.RB3 = 0xFF;  
      Delay_ms(30);  
    }  
  }  
}
```



```
    PORTB.RB3 = 0x00;
  }
  if(colisao==3) // distancia do sonar é menor que 26
  {
    pwm_me =0;
    pwm_md =0;
    aciona_motor();
    PORTB.RB3 = 0xFF;
  }
}
if (sensor==2) // se Sensor da Esquerda esta na faixa aciona mais a roda direita
{
  if(colisao==0) //distancia do sonar é maior que 50
  {
    pwm_me =100;
    pwm_md =0;
    aciona_motor();
    PORTB.RB3 = 0x00;
  }
  if(colisao==1) // distancia do sonar é entre 50 a 38
  {
    pwm_me =40;
    pwm_md =25;
    aciona_motor();
    PORTB.RB3 = 0xFF;
    Delay_ms(40);
    PORTB.RB3 = 0x00;
  }
  if(colisao==2) // distancia do sonar é entre 38 a 26
  {
    pwm_me =35;
    pwm_md =25;
    aciona_motor();
    PORTB.RB3 = 0xFF;
    Delay_ms(30);
    PORTB.RB3 = 0x00;
  }
  if(colisao==3) // distancia do sonar é menor que 26 para
  {
    pwm_me =0;
    pwm_md =0;
    aciona_motor();
    PORTB.RB3 = 0xFF;
  }
}
if (sensor==1) // se Sensor da Direita esta na faixa aciona mais a roda esquerda
{
  if(colisao==0) //distancia do sonar é maior que 50
  {
    pwm_me =0;
    pwm_md =100;
    aciona_motor();
    PORTB.RB3 = 0x00;
  }
  if(colisao==1) // distancia do sonar é entre 50 a 38
  {
    pwm_me =25;
    pwm_md =40;
    aciona_motor();
    PORTB.RB3 = 0xFF;
    Delay_ms(40);
    PORTB.RB3 = 0x00;
  }
  if(colisao==2) // distancia do sonar é entre 38 a 26
  {
    pwm_me =25;
    pwm_md =30;
    aciona_motor();
    PORTB.RB3 = 0xFF;
    Delay_ms(30);
    PORTB.RB3 = 0x00;
  }
  if(colisao==3) // distancia do sonar é menor que 26
  {
    pwm_me =0;
```



```
    pwm_md =0;
    aciona_motor();
    PORTB.RB3 = 0xFF;
}
}
return 0;
} // fim controle

int le_sensor_esquerda() //le o sensor IRE2 e conta as salas
{
    sensor_ir_e2 = PORTA.RA1; //le o sensor IR da esquerda (pino 3)
    if(sensor_ir_e2 == 1) // se o sensor IR do esquerda for 1 roda abaixo
    {
        if(faixa==1)
        {
            if(cont_ecoder>=90) // a cada 10cm a variavel cont_ecoder soma 20x
            {

                faixa++;
                contador_esquerda++;
                cont_ecoder=0;
                INTCON = 0b00000000; // habilita para configurar todas as interrupções
                IntToStr(contador_esquerda, char_contador_esquerda); // converte short para string para imprimir no
display
                Lcd_Custom_Out(1, 6, char_contador_esquerda); // imprime no display
                Lcd_Custom_Out(1, 1, "sala"); // Escreve no display (linha, coluna).
                INTCON = 0b11000000; // habilita para configurar todas as interrupções
            }
        }
    }
    else // se o IR estiver fora da faixa
    {
        faixa=1;
    }
    return contador_esquerda;
} // FIM le_sensor_esquerda

int le_sensor_direita() //le o sensor IRD2 para indicar a distância na tela
{
    sensor_ir_d2 = PORTA.RA0; //le o sensor IR da esquerda (pino 2).
    if(sensor_ir_d2 == 1) // se o sensor IR do esquerda for 1 roda abaixo
    {
        if(faixad==1)
        {
            if(cont_ecoder_direita>=30) // o encoder deve ter contado 60x ou seja nadado 30cm
            {
                faixad++;
                cont_ecoder_direita=0;
                escreve_distancia_esquerda();
            }
        }
    }
    else // se o IR estiver fora da faixa
    {
        faixad=1;
    }
    return 0;
} // FIM le_sensor_direita

int ini_lcd() // inicialização do display
{
    Lcd_Custom_Config(&PORTD,7,6,5,4,&PORTD,0,1,2); // Configuração dos pinos do LCD
    Lcd_Custom_Cmd(LCD_CURSOR_OFF); // Desabilita o cursor piscando
    Lcd_Custom_Cmd(LCD_CLEAR); // Limpa display
    return 0;
} // FIM ini_lcd

start_button() // Le a tecla Start
{
    int start;
    start = PORTD.RD3;
    return start;
} // FIM start_button
```



```
int setup_io() // seta portas de inicialização
{
  ADCON1 = 0b00101111; // configura as alógicas como digital pag 226 datasheet
  TRISA = 0b00000011;
  TRISB = 0b00110010; // Seto os bist RB4 e RB1 como entrada
  TRISC = 0b00111001; // Seto PORTC, bits 0, 3, 4 e 5 como entrada
  TRISD = 0b00001000; // Seto PORTD, bits 3 como entrada
  return 0;
} // FIM setup_io

int ini_interrupt() // configura as interrupções
{
  RCON.IPEN = 0;
  INTCON = 0b11000000; // habilita para configurar todas as interrupções
  TOCON = 0b00000010; // habilita o Prescaler do TIMER0 pra 8
  INTCON3.INT1IE = 1;
  INTCON2.INTEDG1 = 1;

  return 0;
} // FIM ini_interrupt

int escreve_distancia() // rotina para escrever a distancia percorrida até a sala
{
  int cont_dist_d;
  int cont_dist_e;
  INTCON = 0b00000000; // habilita para configurar todas as interrupções
  cont_dist_d = encoderd/2;
  cont_dist_e = encodere/2;
  while (1)
  {
    INTCON = 0b00000000; // habilita para configurar todas as interrupções
    Lcd_Custom_Out(1, 1, "Dis Ro D"); // Escreve no display (linha, coluna).
    IntToStr(cont_dist_d, char_cont_dist_d); // converte Valor decimal para string e imprimir no display
    Lcd_Custom_Out(1, 9, char_cont_dist_d); // imprime no display
    Lcd_Custom_Out(1, 15, "cm"); // Escreve no display (linha, coluna).

    Lcd_Custom_Out(2, 1, "Dis Ro E"); // Escreve no display (linha, coluna).
    IntToStr(cont_dist_e, char_cont_dist_e); // converte Valor decimal para string e imprimir no display
    Lcd_Custom_Out(2, 9, char_cont_dist_e); // imprime no display
    Lcd_Custom_Out(2, 15, "cm"); // Escreve no display (linha, coluna).
  }
  // Delay_ms(200);
  INTCON = 0b11000000; // habilita para configurar todas as interrupções
  return 0;
} // fim escreve_distancia

int escreve_distancia_esquerda() // rotina para escrever a distancia percorrida até a sala
{
  int cont_dist_de;
  int cont_dist_ee;
  INTCON = 0b00000000; // habilita para configurar todas as interrupções
  cont_dist_de = encoderd/2;
  cont_dist_ee = encodere/2;

  Lcd_Custom_Out(1, 1, "Dis Ro D"); // Escreve no display (linha, coluna).
  IntToStr(cont_dist_de, char_cont_dist_de); // converte Valor decimal para string e imprimir no display
  Lcd_Custom_Out(1, 9, char_cont_dist_de); // imprime no display
  Lcd_Custom_Out(1, 15, "cm"); // Escreve no display (linha, coluna).

  Lcd_Custom_Out(2, 1, "Dis Ro E"); // Escreve no display (linha, coluna).
  IntToStr(cont_dist_ee, char_cont_dist_ee); // converte Valor decimal para string e imprimir no display
  Lcd_Custom_Out(2, 9, char_cont_dist_ee); // imprime no display
  Lcd_Custom_Out(2, 15, "cm"); // Escreve no display (linha, coluna).
  Delay_ms(1000);
  Lcd_Custom_Cmd(LCD_CLEAR); // Limpa display
  INTCON = 0b11000000; // habilita para configurar todas as interrupções
  imp_statu();
  return 0;
} // fim escreve_distancia_esquerda

int setup_pwm() // seta pinos de inicialização do pwm
{
  Pwm1_Init(5000); // Inicializa PWM1 pino 17 (RC2/CCP1/P1A) PWM_ME
  Pwm1_Start(); // Start PWM
  Pwm2_Init(5000); // Inicializa PWM1 pino 16 (RC1/T1OSI/CCP2(1)) PWM_MD
```



```
Pwm2_Start(); // Start PWM
return 0;
} //fim setup_pwm

int le_sensor_direcao() // rotina que indentifica a fita de direção
{
int sensor_ir_e;
int sensor_ir_d;
sensor_ir_e = !PORTC.RC4; //entrada pino 23 invertida.
sensor_ir_d = !PORTC.RC5; //entrada pino 24 invertida.
{
if ((sensor_ir_d == 1) || (sensor_ir_e == 1)) // testa se algum dos sensores esta na linha
{
if (sensor_ir_d == 1) // se o sensor IR da direita leu a fita
{
sensor = 1;
sensor_ir_d = 0;
}
if((sensor_ir_e == 1)) // se o sensor IR da esquerda leu a fita
{
sensor = 2;
sensor_ir_e = 0;
}
}
else
{ // se nenhum dos sensores leu a fita
sensor = 3;
}
}
return sensor;
} //FIM le_sensor_direcao

int aciona_motor() // rotina para fazer acionar os moteres
{
int pwm_d, pwm_e;
pwm_d = 255 * pwm_md/100; // tratamento da variavel pwm_ligado para ir de 0 a 100% pwm lado direito.
pwm_e = 255 * pwm_me/100; // tratamento da variavel pwm_ligado para ir de 0 a 100% pwm lado esquerdo.
pwm1_Change_Duty(pwm_e);
Pwm2_Change_Duty(pwm_d);
return 0;
} //FIM aciona_motor

int le_ir_centro() //nome da função
{
int sensor_ir_c;
sensor_ir_c = !PORTC.RC3; //le o sensor IR do Centro (pino 18) invertida.
while (sensor_ir_c == 1) // fica em loop ate que o sensor retorne para faixa
{
sensor_ir_c = PORTC.RC3;
sensor_ir_c = 0;
}
return 0;
} // FIM le_ir_centro

int le_final_curso() //Função para detectar que chegou no fim da fita.
{
int sensor_ir_e;
int sensor_ir_d;
int sensor_ir_c;
sensor_ir_e = !PORTC.RC4; //entrada pino 23 invertida.
sensor_ir_d = !PORTC.RC5; //entrada pino 24 invertida.
sensor_ir_c = !PORTC.RC3; //le o sensor IR do Centro (pino 18) invertida.
if((sensor_ir_e == 1) && (sensor_ir_d == 1) && (sensor_ir_c == 1)) // se os dois sensores IR reconhecerem a
fita = final da linha
{
if(cont_ecoder>=680) // a cada 10cm a variavel cont_ecoder soma 20x
{
Lcd_Custom_Cmd(LCD_CLEAR); // Limpa display
while (1)
{
Lcd_Custom_Out(1,1, "Fim do percurso"); // Escreve no display (linha, coluna).
pwm_md = 0;
pwm_me = 0;
aciona_motor();
Delay_ms(2000);
}
}
}
}
```



```
        escreve_distancia();
    } // Fim while
    }
}
return 0;
} // FIM le_final_curso

int le_sensor_colidiu() // rotina para ler o sensor de contato seco, identifica que bateu em algo
{
int sensor_colidiu;
sensor_colidiu = PORTC.RC0; // pino 36
if(sensor_colidiu==0) // se o sensor_colidiu esta desativado retorna a main
{
}
else // se o sensor_colidiu esta ativado reda abaixo
{
pwm_md = 0;
pwm_me = 0;
aciona_motor();
Lcd_Custom_Cmd(LCD_CLEAR);
Lcd_Custom_Out(1, 1, "CUIDADO!!!!!!"); // Escreve no display (linha, coluna).
Lcd_Custom_Out(2, 1, "Bateu em algo"); // Escreve no display (linha, coluna).
while (teste_sensor_colidiu()); // fica aqui até que o sensor_colidiu seja desativado
Delay_ms(1500);
Lcd_Custom_Cmd(LCD_CLEAR);
imp_statu();
}
return 0;
} //fim le_sensor_colidiu

int teste_sensor_colidiu() // testa quando o sensor_colidiu esta desativado
{
int sensor_colidiu;
sensor_colidiu = PORTC.RC0; // pino 36
return sensor_colidiu;
} //FIM teste_sensor_colidiu

int le_seleciona_sala() // rotina para esperar a chave de seleção das salas serem acionadas
{
if(sala_escolhida==0)
{
Lcd_Custom_Out(1, 1, "Selecione a"); // Escreve no display (linha, coluna).
Lcd_Custom_Out(2, 1, " sala"); // Escreve no display (linha, coluna).
while (!compara_chaves()); // fica aqui até que alguma chave de seleção de chaves for apertada
}
return sala_escolhida;
} //fim le_seleciona_sala

int compara_chaves() // rotina par aindicar qual sala foi acionada
{
cha1 = PORTA.RA4; //le a chave (pino 6)
cha2 = PORTA.RA3; //le a chave (pino 5)
Delay_ms(10);
if((cha1==1) && (cha2==1))
{
sala_escolhida = 1;
}
if((cha1==1) && (cha2==0))
{
sala_escolhida=2;
}
if((cha1==0) && (cha2==1))
{
sala_escolhida=3;
}
return sala_escolhida;
} //fim compara_chaves

int confirma_sala_selecionada() // rotina para confirmar a sala selecionada
{
switch (sala_escolhida)
{
case 1:{ // se Sensor da Direita esta na faixa

Lcd_Custom_Cmd(LCD_CLEAR); // Limpa display
```



```
Lcd_Custom_Out(1, 1, "Sala selecionada"); // Escreve no display (linha, coluna).
IntToStr(sala_escolhida, char_sala_escolhida); // converte Valor decimal para string e imprimir no
display
Lcd_Custom_Out(2, 1, char_sala_escolhida); // imprime no display
Delay_ms(800);
Lcd_Custom_Cmd(LCD_CLEAR); // Limpa display
Lcd_Custom_Out(1, 1, "Para confirmar"); // Escreve no display (linha, coluna).
Lcd_Custom_Out(2, 1, "Aperte star"); // Escreve no display (linha, coluna).
while (!start_button()); // aguarda a START ser pressionada
etapa=1;
break;
}
case 2:{ // se Sensor da Esquerda esta na faixa
Lcd_Custom_Cmd(LCD_CLEAR); // Limpa display
Lcd_Custom_Out(1, 1, "Sala selecionada"); // Escreve no display (linha, coluna).
IntToStr(sala_escolhida, char_sala_escolhida); // converte Valor decimal para string e imprimir no
display
Lcd_Custom_Out(2, 1, char_sala_escolhida); // imprime no display
Delay_ms(800);
Lcd_Custom_Cmd(LCD_CLEAR); // Limpa display
Lcd_Custom_Out(1, 1, "Para confirmar"); // Escreve no display (linha, coluna).
Lcd_Custom_Out(2, 1, "Aperte star"); // Escreve no display (linha, coluna).
while (!start_button()); // aguarda a START ser pressionada
etapa=2;
break;
}
case 3:{ // se Sensor E e D estao fora da faixa esta na reta
Lcd_Custom_Cmd(LCD_CLEAR); // Limpa display
Lcd_Custom_Out(1, 1, "Sala nao selecionada"); // Escreve no display (linha, coluna).
Lcd_Custom_Out(2, 1, "Ir ate o final"); // Escreve no display (linha, coluna).
Delay_ms(1500);
Lcd_Custom_Cmd(LCD_CLEAR); // Limpa display
Lcd_Custom_Out(1, 1, "Para confirmar"); // Escreve no display (linha, coluna).
Lcd_Custom_Out(2, 1, "Aperte star"); // Escreve no display (linha, coluna).
while (!start_button()); // aguarda a START ser pressionada
etapa=3;
break;
}
}
return etapa;
} //fim confirma_sala_selecionada

int le_sensor_centro() //nome da função
{
int sensor_ir_c;
int sensor_ir_e2;
sensor_ir_e2 = PORTA.RA1; //le o sensor IR da direita (pino 3) invertida.
sensor_ir_c = !PORTC.RC3; //le o sensor IR do Centro (pino 18) invertida.
if (sensor_ir_c == 1) //se o sensor IR do centro estiver na linha = 1 roda abaixo
{
if(sensor_ir_e2 == 0) // se o sensor direita =0(forá da linha) roda abaixo
{
}
else //se o sensor centro = 1(na linha) roda abaixo
{
Lcd_Custom_Cmd(LCD_CLEAR); // Limpa display
Lcd_Custom_Out(1, 1, "Sensor posicao"); // Escreve no display (linha, coluna).
Lcd_Custom_Out(2, 1, "esta na linha"); // Escreve no display (linha, coluna).
while (1)
{ // fica aqui até reinicar o programa
}
}
}
else // sensor centro = 0 (não esta na linha)
{
Lcd_Custom_Cmd(LCD_CLEAR); // Limpa display
Lcd_Custom_Out(1, 1, "Sensor centro"); // Escreve no display (linha, coluna).
Lcd_Custom_Out(2, 1, "fora da linha"); // Escreve no display (linha, coluna).
while (1)
{ // fica aqui até reinicar o programa
}
}
return 0;
} // FIM le_sensor_centro
```



```
int compara_sala() //compara a sala escolhida com o contador_direita
{
    if(contador_esquerda==sala_escolhida)
    {
        chegou_na_sala=sala_escolhida;
    }
    return chegou_na_sala;
} //FIM

int fim_da_sala() //indica o fim do percurso na sala escolhida
{
    switch (chegou_na_sala)
    {
        case 1:{ // sala 1.
            Lcd_Custom_Cmd(LCD_CLEAR); // Limpa display
            while (1)
            {
                pwm_md = 0;
                pwm_me = 0;
                aciona_motor();
                Lcd_Custom_Out(1, 1, "FIM.");
                Lcd_Custom_Out(2, 1, "chegou sala 1"); // Escreve no display (linha, coluna).
                Delay_ms(2000);
                escreve_distancia();
            }
            break;
        }
        case 2:{// sala 2.
            Lcd_Custom_Cmd(LCD_CLEAR); // Limpa display
            while (1)
            {
                pwm_md = 0;
                pwm_me = 0;
                aciona_motor();
                Lcd_Custom_Out(1, 1, "FIM.");
                Lcd_Custom_Out(2, 1, "chegou sala 2"); // Escreve no display (linha, coluna).
                Delay_ms(2000);
                escreve_distancia();
            }
            break;
        }
        case 3:{ // sala 3.
            Lcd_Custom_Cmd(LCD_CLEAR); // Limpa display
            while (1)
            {
                pwm_md = 0;
                pwm_me = 0;
                aciona_motor();
                Lcd_Custom_Out(1, 1, "FIM.");
                Lcd_Custom_Out(2, 1, "chegou sala 3"); // Escreve no display (linha, coluna).
                Delay_ms(2000);
                escreve_distancia();
            }
            break;
        }
    }
    return 0;
} //FIM fim_da_sala

int imp_distancia_sonar() // função para imprimir a distancia do obstaculo no sonar
{
    Lcd_Custom_Out(1, 1, "Cuidado Sonar a"); // Escreve no display (linha, coluna).
    IntToStr(dis_sonar, char_dis_sonar); // converte Valor decimal para string e imprimir no display
    Lcd_Custom_Out(2, 6, char_dis_sonar); // imprime no display
    Lcd_Custom_Out(2, 12, "cm"); // Escreve no display (linha, coluna).
    return 0;
} // fim imp_distancia
```

## ANEXO A – MANUAL DO SENSOR SONAR

### Sonar

Medindo distâncias com O Basic Step

#### Especificações

Alimentação	5V
Consumo	2 mA
Alcance	Mínimo: 20cm Máximo: 1,5m

#### Funcionamento

O funcionamento do sonar baseia-se no princípio do eco. Um sinal ultrasônico de curta duração é enviado e o tempo até o eco ser recebido é medido, sabendo-se a velocidade do som no ar, calcula-se a distância.

#### Exemplo

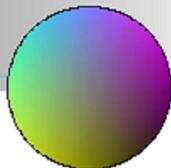
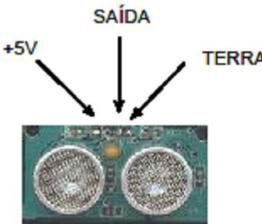
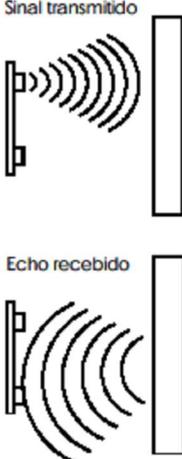
Para este exemplo o pino de saída do módulo Sonar deve ser ligado ao pino pin7 do Basic Step:

```
Dir=01111111 'pin7 como entrada
loop:
pulsin 7,1,w0 'mede o pulso do sonar
w0=w0*34 'velocidade do som 340m/s
w0=w0/2 'o tempo medido é de ida e
'volta
w0=w0/100 'acerta a escala
debug b0 'manda resultado p/ PC
goto loop
```

O programa mede continuamente o tempo do pulso do sonar, calcula a distância e envia o resultado para o PC. O resultado está em centímetros.

O módulo sonar gera um pulso em nível alto cuja duração é o tempo para som ir até o obstáculo e voltar, então é necessário dividir este tempo por dois.

A medição repete-se enquanto o pino de entrada estiver em nível baixo ou em aberto.

**TATO**  
Equipamentos Eletrônicos  
Transformando idéias em realidade  
Rua Ipurinás, 164 São Paulo - SP 04561-050  
Tel: (11) 5506-5335 Fax: (11) 5506-2328  
e-mail: [info@tato.ind.br](mailto:info@tato.ind.br)  
<http://www.tato.ind.br>



## ANEXO B – CARACTERÍSTICAS PIC16F4620

As principais características do microcontrolador PIC. [ *DataSheet* PIC 16F4620]:

- Microcontrolador RISC de 40 pinos, o que possibilita a montagem de um hardware externo capaz de interagir com diversos recursos e funções ao mesmo tempo;
- Conjunto de Instruções (75 instruções de 14 bits);
- 20 interrupções disponíveis;
- Endereçamentos do modo Direto, Indireto e Relativo;
- Pilha (stack) com oito níveis;
- 33 terminais de Entrada e Saída, com controle individual por terminal. Capacidade de manipulação de corrente de 25mA atuando como dreno e 20mA atuando como fonte;
- Memória de programação *EEPROM FLASH*, que permite a multi gravação rápida do programa no mesmo chip;
- Memória de programa com 64KBytes, com capacidade de escrita pelo próprio código interno;
- Memória *EEPROM* interna com 1024 bytes;
- Memória *RAM* com 3968 bytes;
- 4 temporizadores de oito bits programável, com pré-divisor também programável de oito bits;
- 1 temporizador de 16 bits;
- Frequência de operação ate 40MHz;
- Comunicação serial: MSSP;
- 13 conversores analógicos de 10 bits e 2 comparadores analógicos;
- 1 módulo CCP: Capture, Compare e PWM;



- Sistema de proteção de código na *EEPROM* (Impossibilita que outras pessoas leiam o seu código);
- Operação em tensões desde 2 a 5,5 Volts, com consumo de corrente típico em torno de 2mA;
- Power-on Reset (interno).

## ANEXO C – DATASHEET DO COMPARADOR LM311


December 1994

### LM111/LM211/LM311 Voltage Comparator

#### General Description

The LM111, LM211 and LM311 are voltage comparators that have input currents nearly a thousand times lower than devices like the LM106 or LM710. They are also designed to operate over a wider range of supply voltages: from standard  $\pm 15V$  op amp supplies down to the single 5V supply used for IC logic. Their output is compatible with RTL, DTL and TTL as well as MOS circuits. Further, they can drive lamps or relays, switching voltages up to 50V at currents as high as 50 mA.

Both the inputs and the outputs of the LM111, LM211 or the LM311 can be isolated from system ground, and the output can drive loads referred to ground, the positive supply or the negative supply. Offset balancing and strobe capability are provided and outputs can be wire OR'ed. Although slower than the LM106 and LM710 (200 ns response time vs 40 ns) the devices are also much less prone to spurious oscillations. The LM111 has the same pin configuration as the LM106 and LM710.

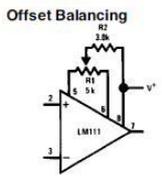
The LM211 is identical to the LM111, except that its performance is specified over a  $-25^{\circ}C$  to  $+85^{\circ}C$  temperature range instead of  $-55^{\circ}C$  to  $+125^{\circ}C$ . The LM311 has a temperature range of  $0^{\circ}C$  to  $+70^{\circ}C$ .

#### Features

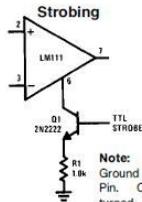
- Operates from single 5V supply
- Input current: 150 nA max. over temperature
- Offset current: 20 nA max. over temperature
- Differential input voltage range:  $\pm 30V$
- Power consumption: 135 mW at  $\pm 15V$

#### Typical Applications\*\*

##### Offset Balancing

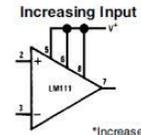


##### Strobing



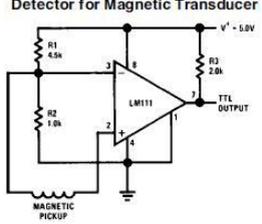
**Note:** Do Not Ground Strobe Pin. Output is turned off when current is pulled from Strobe Pin.

##### Increasing Input Stage Current\*

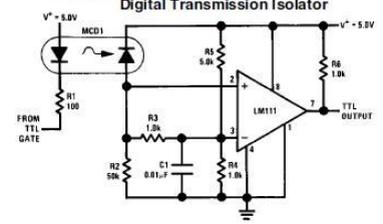


\*Increases typical common mode slew from 7.0V/ $\mu s$  to 18V/ $\mu s$ .

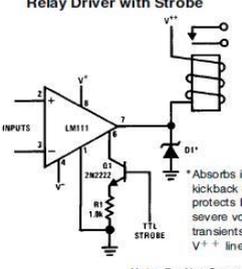
##### Detector for Magnetic Transducer



##### Digital Transmission Isolator



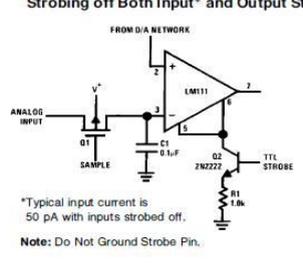
##### Relay Driver with Strobe



\*Absorbs inductive kickback of relay and protects IC from severe voltage transients on  $V^{+}$  line.

**Note:** Do Not Ground Strobe Pin.

##### Strobing off Both Input\* and Output Stages



\*Typical input current is 50 pA with inputs strobed off.

**Note:** Do Not Ground Strobe Pin.

TL/H/5704-1

**Absolute Maximum Ratings** for the LM111/LM211

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications. (Note 7)

Total Supply Voltage ( $V_{B4}$ )	36V
Output to Negative Supply Voltage ( $V_{74}$ )	50V
Ground to Negative Supply Voltage ( $V_{14}$ )	30V
Differential Input Voltage	$\pm 30V$
Input Voltage (Note 1)	$\pm 15V$
Output Short Circuit Duration	10 sec
Operating Temperature Range LM111	$-55^{\circ}C$ to $125^{\circ}C$
LM211	$-25^{\circ}C$ to $85^{\circ}C$

Lead Temperature (Soldering, 10 sec)	$260^{\circ}C$
Voltage at Strobe Pin	$V^{+} - 5V$
Soldering Information	
Dual-In-Line Package	
Soldering (10 seconds)	$260^{\circ}C$
Small Outline Package	
Vapor Phase (60 seconds)	$215^{\circ}C$
Infrared (15 seconds)	$220^{\circ}C$
See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.	
ESD Rating (Note 8)	300V

**Electrical Characteristics** for the LM111 and LM211 (Note 3)

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
Input Offset Voltage (Note 4)	$T_A = 25^{\circ}C$ , $R_S \leq 50k$		0.7	3.0	mV
Input Offset Current	$T_A = 25^{\circ}C$		4.0	10	nA
Input Bias Current	$T_A = 25^{\circ}C$		60	100	nA
Voltage Gain	$T_A = 25^{\circ}C$	40	200		V/mV
Response Time (Note 5)	$T_A = 25^{\circ}C$		200		ns
Saturation Voltage	$V_{IN} \leq -5$ mV, $I_{OUT} = 50$ mA $T_A = 25^{\circ}C$		0.75	1.5	V
Strobe ON Current (Note 6)	$T_A = 25^{\circ}C$		2.0	5.0	mA
Output Leakage Current	$V_{IN} \geq 5$ mV, $V_{OUT} = 35V$ $T_A = 25^{\circ}C$ , $I_{STROBE} = 3$ mA		0.2	10	nA
Input Offset Voltage (Note 4)	$R_S \leq 50$ k			4.0	mV
Input Offset Current (Note 4)				20	nA
Input Bias Current				150	nA
Input Bias Current				150	nA
Input Voltage Range	$V^{+} = 15V$ , $V^{-} = -15V$ , Pin 7 Pull-Up May Go To 5V	-14.5	13.8,-14.7	13.0	V
Saturation Voltage	$V^{+} \geq 4.5V$ , $V^{-} = 0$ $V_{IN} \leq -6$ mV, $I_{OUT} \leq 8$ mA		0.23	0.4	V
Output Leakage Current	$V_{IN} \geq 5$ mV, $V_{OUT} = 35V$		0.1	0.5	$\mu A$
Positive Supply Current	$T_A = 25^{\circ}C$		5.1	6.0	mA
Negative Supply Current	$T_A = 25^{\circ}C$		4.1	5.0	mA

**Note 1:** This rating applies for  $\pm 15$  supplies. The positive input voltage limit is 30V above the negative supply. The negative input voltage limit is equal to the negative supply voltage or 30V below the positive supply, whichever is less.

**Note 2:** The maximum junction temperature of the LM111 is  $150^{\circ}C$ , while that of the LM211 is  $110^{\circ}C$ . For operating at elevated temperatures, devices in the H08 package must be derated based on a thermal resistance of  $165^{\circ}C/W$ , junction to ambient, or  $20^{\circ}C/W$ , junction to case. The thermal resistance of the dual-in-line package is  $110^{\circ}C/W$ , junction to ambient.

**Note 3:** These specifications apply for  $V_S = \pm 15V$  and Ground pin at ground, and  $-55^{\circ}C \leq T_A \leq +125^{\circ}C$ , unless otherwise stated. With the LM211, however, all temperature specifications are limited to  $-25^{\circ}C \leq T_A \leq +85^{\circ}C$ . The offset voltage, offset current and bias current specifications apply for any supply voltage from a single 5V supply up to  $\pm 15V$  supplies.

**Note 4:** The offset voltages and offset currents given are the maximum values required to drive the output within a volt of either supply with a 1 mA load. Thus, these parameters define an error band and take into account the worst-case effects of voltage gain and  $R_S$ .

**Note 5:** The response time specified (see definitions) is for a 100 mV input step with 5 mV overdrive.

**Note 6:** This specification gives the range of current which must be drawn from the strobe pin to ensure the output is properly disabled. Do not short the strobe pin to ground; it should be current driven at 3 to 5 mA.

**Note 7:** Refer to RETS111X for the LM111H, LM111J and LM111J-B military specifications.

**Note 8:** Human body model, 1.5 k $\Omega$  in series with 100 pF.

**Absolute Maximum Ratings** for the LM311

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Total Supply Voltage ( $V_{S4}$ )	36V
Output to Negative Supply Voltage ( $V_{74}$ )	40V
Ground to Negative Supply Voltage ( $V_{14}$ )	30V
Differential Input Voltage	$\pm 30V$
Input Voltage (Note 1)	$\pm 15V$
Power Dissipation (Note 2)	500 mW
ESD Rating (Note 7)	300V

Output Short Circuit Duration	10 sec
Operating Temperature Range	0° to 70°C
Storage Temperature Range	-65°C to 150°C
Lead Temperature (soldering, 10 sec)	260°C
Voltage at Strobe Pin	$V^+ - 5V$
<b>Soldering Information</b>	
Dual-In-Line Package	
Soldering (10 seconds)	260°C
Small Outline Package	
Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C

See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.

**Electrical Characteristics** for the LM311 (Note 3)

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
Input Offset Voltage (Note 4)	$T_A = 25^\circ\text{C}$ , $R_S \leq 50k$		2.0	7.5	mV
Input Offset Current (Note 4)	$T_A = 25^\circ\text{C}$		6.0	50	nA
Input Bias Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		100	250	nA
Voltage Gain	$T_A = 25^\circ\text{C}$	40	200		V/mV
Response Time (Note 5)	$T_A = 25^\circ\text{C}$		200		ns
Saturation Voltage	$V_{IN} \leq -10$ mV, $I_{OUT} = 50$ mA $T_A = 25^\circ\text{C}$		0.75	1.5	V
Strobe ON Current (Note 6)	$T_A = 25^\circ\text{C}$		2.0	5.0	mA
Output Leakage Current	$V_{IN} \geq 10$ mV, $V_{OUT} = 35V$ $T_A = 25^\circ\text{C}$ , $I_{STROBE} = 3$ mA $V^- = \text{Pin 1} = -5V$		0.2	50	nA
Output Leakage Current	$V_{IN} \geq 10$ mV, $V_{OUT} = 35V$ $T_A = 25^\circ\text{C}$ , $I_{STROBE} = 3$ mA $V^- = \text{Pin 1} = -5V$		0.2	50	nA
Input Offset Voltage (Note 4)	$R_S \leq 50k$			10	mV
Input Offset Current (Note 4)				70	nA
Input Bias Current				300	nA
Input Voltage Range		-14.5	13.8, -14.7	13.0	V
Saturation Voltage	$V^+ \geq 4.5V$ , $V^- = 0$ $V_{IN} \leq -10$ mV, $I_{OUT} \leq 8$ mA		0.23	0.4	V
Positive Supply Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		5.1	7.5	mA
Negative Supply Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		4.1	5.0	mA

**Note 1:** This rating applies for  $\pm 15V$  supplies. The positive input voltage limit is 30V above the negative supply. The negative input voltage limit is equal to the negative supply voltage or 30V below the positive supply, whichever is less.

**Note 2:** The maximum junction temperature of the LM311 is 110°C. For operating at elevated temperature, devices in the H08 package must be derated based on a thermal resistance of 165°C/W, junction to ambient, or 20°C/W, junction to case. The thermal resistance of the dual-in-line package is 100°C/W, junction to ambient.

**Note 3:** These specifications apply for  $V_S = \pm 15V$  and Pin 1 at ground, and  $0^\circ\text{C} < T_A < +70^\circ\text{C}$ , unless otherwise specified. The offset voltage, offset current and bias current specifications apply for any supply voltage from a single 5V supply up to  $\pm 15V$  supplies.

**Note 4:** The offset voltages and offset currents given are the maximum values required to drive the output within a volt of either supply with 1 mA load. Thus, these parameters define an error band and take into account the worst-case effects of voltage gain and  $R_S$ .

**Note 5:** The response time specified (see definitions) is for a 100 mV input step with 5 mV overdrive.

**Note 6:** This specification gives the range of current which must be drawn from the strobe pin to ensure the output is properly disabled. Do not short the strobe pin to ground; it should be current driven at 3 to 5 mA.

**Note 7:** Human body model, 1.5 k $\Omega$  in series with 100 pF.

# ANEXO D – DATASHEET DO FOTOTRANSISTOR PT331

**EVERLIGHT****Technical Data Sheet****5mm Phototransistor T-1 3/4****Features**

- Fast response time
- High photo sensitivity
- Pb free

**Descriptions**

- PT331C is a high speed and high sensitive silicon NPN epitaxial planar phototransistor in a standard 5 $\Phi$  package. Due to its water clear epoxy the device is sensitive to visible and near infrared radiation.

**PT331C****Applications**

- Infrared applied system
- Floppy disk drive
- Optoelectronic switch

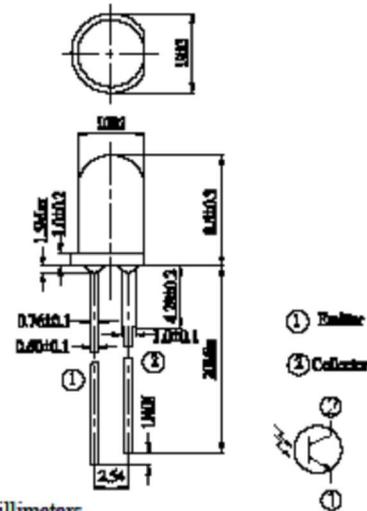
**Device Selection Guide**

LED Part No.	Chip	Lens Color
	Material	
PT	Silicon	Water Clear

Everlight Electronics Co., Ltd.  
Device No : DPT-033-001

<http://www.everlight.com>  
Prepared date : 07-19-2004

Rev 1.3      Page: 1 of 7  
Prepared by : Jaine Tsai


**PT331C**
**Package Dimensions**


- Notes: 1. All dimensions are in millimeters  
 2. Tolerances unless dimensions  $\pm 0.25\text{mm}$

**Absolute Maximum Ratings ( $T_a=25^\circ\text{C}$ )**

Parameter	Symbol	Rating	Units
Collector-Emitter Voltage	$V_{CE0}$	30	V
Emitter-Collector-Voltage	$V_{ECO}$	5	V
Collector Current	$I_C$	20	mA
Operating Temperature	$T_{opr}$	$-25 \sim +85^\circ\text{C}$	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature	$T_{stg}$	$-40 \sim +85^\circ\text{C}$	$^\circ\text{C}$
Lead Soldering Temperature	$T_{sol}$	260	$^\circ\text{C}$
Power Dissipation at (or below) $25^\circ\text{C}$ Free Air Temperature	$P_c$	75	mW

Notes: \*1: Soldering time  $\leq 5$  seconds.

**EVERLIGHT****PT331C****Electro-Optical Characteristics (Ta=25°C)**

Parameter	Symbol	Condition	Min.	Typ.	Max.	Units
Collector - Emitter Breakdown Voltage	BV <sub>CEO</sub>	I <sub>C</sub> =100 μA E <sub>e</sub> =0mW/cm <sup>2</sup>	30	---	---	V
Emitter-Collector Breakdown Voltage	BV <sub>ECO</sub>	I <sub>E</sub> =100 μA E <sub>e</sub> =0mW/cm <sup>2</sup>	5	---	---	V
Collector-Emitter Saturation Voltage	V <sub>CE(sat)</sub>	I <sub>C</sub> =2mA E <sub>e</sub> =1mW/cm <sup>2</sup>	---	---	0.4	V
Rise Time	t <sub>r</sub>	V <sub>CE</sub> =5V I <sub>C</sub> =mA	---	15	---	μS
Fall Time	t <sub>f</sub>	RL=1000Ω	---	15	---	
Collector Dark Current	I <sub>CEO</sub>	E <sub>e</sub> =0mW/cm <sup>2</sup> V <sub>CE</sub> =20V	---	---	100	nA
On State Collector Current	I <sub>C(on)</sub>	E <sub>e</sub> =1mW/cm <sup>2</sup> V <sub>CE</sub> =5V	0.7	2.5	---	mA
Wavelength of Peak Sensitivity	λ <sub>P</sub>	---	---	940	---	nm
Rang of Spectral Bandwidth	λ <sub>0.5</sub>	---	---	400-1100	---	nm

**Rankings**

Parameter	Symbol	Min	Max	Unit	Test Condition
G	I <sub>C(on)</sub>	0.70	1.90	mA	V <sub>CE</sub> =5V E <sub>e</sub> =1mW/cm <sup>2</sup>
H		1.14	2.60		
J		1.77	3.61		
K		2.67	5.07		
L		4.18	7.07		

## ANEXO E – DATASHEET DO FOTODIODO PD333



### Technical Data Sheet

### 5mm Silicon PIN Photodiode , T-1 3/4

#### PD333-3C/H0/L2

#### Features

- Fast response time
- High photo sensitivity
- Small junction capacitance
- Pb free
- The product itself will remain within RoHS compliant version.

#### Descriptions

PD333-3C/H0/L2 is a high speed and high sensitive PIN photodiode in a standard 5  $\phi$  plastic package. Due to its water clear epoxy the device is sensitive to visible and infrared radiation.

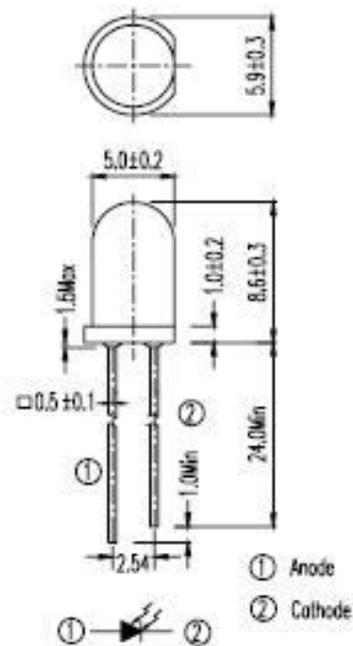


#### Applications

- High speed photo detector
- Security system
- Camera

#### Device Selection Guide

LED Part No.	Chip	Lens Color
	Material	
PD	Silicon	Water clear


**PD333-3C/H0/L2**
**Package Dimensions**


- Notes: 1. All dimensions are in millimeters  
 2. Tolerances unless dimensions  $\pm 0.25$  mm

**Absolute Maximum Ratings ( $T_a = 25^\circ\text{C}$ )**

Parameter	Symbol	Rating	Units
Reverse Voltage	$V_R$	32	V
Power Dissipation	$P_d$	150	mW
Lead Soldering Temperature	$T_{sol}$	260	$^\circ\text{C}$
Operating Temperature	$T_{opr}$	-25 ~ +85	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature	$T_{stg}$	-40 ~ +85	$^\circ\text{C}$

Notes: \*1: Soldering time  $\leq 5$  seconds.

**EVERLIGHT****PD333-3C/H0/L2****Electro-Optical Characteristics (Ta=25°C)**

Parameter	Symbol	Condition	Min.	Typ.	Max.	Units
Rang of Spectral Bandwidth	$\lambda_{0.5}$	-----	400	---	1100	nm
Wavelength of Peak Sensitivity	$\lambda_p$	-----	---	940	---	nm
Open-Circuit Voltage	$V_{OC}$	$E_e=5m\ W/cm^2$ $\lambda_p=940nm$	---	0.39	---	V
Short- Circuit Current	$I_{SC}$	$E_e=1m\ W/cm^2$ $\lambda_p=940nm$	---	40	---	$\mu A$
Reverse Light Current	$I_L$	$E_e=1m\ W/cm^2$ $\lambda_p=940nm$ $V_R=5V$	36	40	---	
Dark Current	$I_d$	$E_e=0m\ W/cm^2$ $V_R=10V$	---	5	30	nA
Reverse Breakdown	$BV_R$	$E_e=0m\ W/cm^2$ $I_R=100\ \mu A$	32	170	---	V
Total Capacitance	$C_t$	$E_e=0m\ W/cm^2$ $V_R=5V$ $f=1MHz$	---	18	---	pF
Rise/Fall Time	$t_r/t_f$	$V_R=10V$ $R_L=1K\ \Omega$	---	45/45	---	nS
View Angle	$2\theta_{1/2}$	$I_f=20mA$	--	80	--	deg