



UNIVERSIDADE BRAZ CUBAS

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS

TRABALHO DE GRADUAÇÃO INTERDISCIPLINAR

Curso	Engenharia de Computação	Data	1º Semestre 2005
Aluno	Carlos Alberto Gonçalves Abreu	RGM	126.749
Orientador	Prof. Dr. RICARDO TEIXEIRA DE CARVALHO		

Título: MEDIÇÕES DE DISTÂNCIAS POR MEIO DE TRANSDUTORES ULTRA-SÔNICOS

Resumo:

Banca 1	Prof.				
Banca 2	Prof.				
Data	16-Jun-2005	Horário		Laboratório	
Avaliação	Nota Final =	Rubrica (Banca):			
Coordenador	Prof. Pio Torre Flores		Coordenadoria dos Curso de Computação (11) 4791-8292 Campus I - Av. Francisco Rodrigues Filho, 1233 Mogilar – CEP 08773-380 – Mogi das Cruzes, SP Tel. (11) 4791-8000 – Fax (11) 4790-3844 acet@brazcubas.br – www.brazcubas.br		
Diretor de Ensino e Extensão	Prof. Pécio Chamma Junior				

MEDIÇÕES DE DISTÂNCIAS POR MEIO DE TRANSDUTORES ULTRA-SÔNICOS

**TRABALHO DE GRADUAÇÃO INTERDISCIPLINAR
CURSO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO**

CARLOS ALBERTO GONÇALVES ABREU

**UNIVERSIDADE BRAZ CUBAS
MOGI DAS CRUZES**

MEDIÇÕES DE DISTÂNCIAS POR MEIO DE TRANSDUTORES ULTRA-SÔNICOS

TRABALHO DE GRADUAÇÃO INTERDISCIPLINAR

CARLOS ALBERTO GONÇALVES ABREU

ORIENTADOR Prof. Dr. RICARDO TEIXEIRA DE CARVALHO

**UNIVERSIDADE BRAZ CUBAS
CURSO ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO**

MOGI DAS CRUZES -SP

2005

Esta publicação foi aceita como Relatório Final de Trabalho de Graduação Interdisciplinar.

Mogi das Cruzes, 16 de maio de 2005.

Aluno

CARLOS ALBERTO GONÇALVES ABREU
RGM: 126749

Orientador Prof. Dr. RICARDO TEIXEIRA DE CARVALHO

Prof. Pio Torre Flores
Coordenador de Curso

Prof. Pércio Chamma Júnior
Diretor de Ensino e Extensão

AGRADECIMENTOS

Aos meus familiares, em especial meus pais Luciano e Maria Cildina (*in memoriam*) e minha noiva, pela força e carinho dispensados durante este período da vida acadêmica.

Ao Paulo Resende Ferreira, Pedro Yukio Tsuge e ao Cláudio Remo Truffa, pelo apoio dispensado nos laboratórios em que foi elaborado este trabalho e também aos mestres que apoiaram e dispensaram seu tempo precioso, no intuito de esclarecer dúvidas e também na revisão de todo o trabalho.

Aos amigos conquistados por este período e que, de certa forma, colaboraram para a realização deste trabalho.

E a todos as pessoas que infelizmente não puderam figurar nesta página, mas que não esquecerei da ajuda dispensada.

RESUMO

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	ii
SUMÁRIO.....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
ÍNDICE DE TABELAS	v
INTRODUÇÃO.....	1
CAPÍTULO II.....	2
2.1 MOVIMENTO ONDULATÓRIO	2
2.2 CARACTERÍSTICAS DO SOM	3
2.3 ULTRA-SONS	3
2.4 CRISTAIS PIEZOELÉTRICOS	5
2.5 TRANSDUTORES ULTRA-SÔNICOS	6
CAPÍTULO III	7
3.1 MICROCONTROLADORES	7
3.2 PIC.....	8
3.3 ARQUITETURA HAVARD E VON NEUMANN	8
3.4 PIC 16F870.....	9
CAPÍTULO	11
CAPÍTULO IV	12
4.1 PROJETO DO SISTEMA	12
4.2 EQUIPAMENTOS	12
CAPÍTULO V	14
5.1 TESTES.....	14
5.2 RESULTADOS	26
CAPÍTULO VI.....	28
6.1 CONCLUSÃO.....	28
BIBLIOGRAFIA.....	29
GLOSSÁRIO.....	30

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Senóide	2
Figura 2.2: Sensores Ultra-Sônicos	6
Figura 3.1: Arquitetura von-Neumann	8
Figura 3.2: Arquitetura Havard	9
Figura 3.3: Pinagem do PIC 16F870.	10
Figura 5.1: Transdutor excitado com 40kHz.....	15
Figura 5.2: Transdutor excitado com 42kHz.....	15
Figura 5.3: Transdutores separados em 10mm.....	16
Figura 5.4: Transdutores separados em 20mm.....	16
Figura 5.5: Transdutores separados em 30mm.....	16
Figura 5.6: Esquema eletrônico do amplificador / detector de sinais.....	17
Figura 5.7: Esquema elétrico do gerador/emissor de sinais.	18
Figura 5.8: Esquema elétrico do pisca-pisca.	19
Figura 5.9: Esquema elétrico do “pisca-pisca” e <i>LCD</i> com o LED aceso e a respectiva indicação (<i>Software</i> PROTEUS®).	21
Figura 5.10: Esquema elétrico do “pisca-pisca” e <i>LCD</i> com o LED apagado e a respectiva indicação (<i>Software</i> PROTEUS®).	21

INDICE DE TABELAS

Tabela 2.1: Fabricantes de sensores ultra-sônicos.....	6
Tabela 3.1: PIC16F870 - Pinagem e suas funções	11
Tabela 5.1: Código-fonte do “pisca-pisca”.....	20
Tabela 5.2: Código-fonte do “pisca-pisca” e <i>LCD</i>	22
Na tabela 5.3, temos o código-fonte do software.	23
Tabela 5.3: Dados obtidos preliminarmente.....	26
Tabela 5.4: Dados obtidos após ajustes.....	27

INTRODUÇÃO

A utilização da tecnologia dos ultra-sons para medir distâncias no meio automotivo tem como objetivo a segurança e a redução de custos de manutenção, problema observado quando se estaciona qualquer veículo numa vaga, estando sujeito a danos ao veículo ou mesmo a carga por ele transportado.

Existe também a minimização dos custos por parte de seguradoras, onde um dispositivo capaz de medir distâncias, instalado na parte traseira e/ou dianteira dos veículos, proporcionaria, por meio de um *display*, informações relativas à distância do veículo ao obstáculo, evitando assim danos e conseqüentemente prejuízos.

No mercado atual, somente alguns veículos possuem um dispositivo semelhante, mas a sinalização é feita por meio de sons, onde, quanto mais próximo do obstáculo, maior a frequência do som emitido.

A escolha dos transdutores ultra-sônicos, para medir distâncias, além de ser relativamente simples, é também imune a variações de luminosidade e também de ruídos, que no projeto atende perfeitamente os requisitos do mercado.

O software implementado gerenciará toda a informação vinda do sensor, calculando a distância e apresentando os dados em um *display* de cristal líquido, *software* este que estará gravado em um microcontrolador, tornando o projeto compacto, robusto e de baixo custo.

O capítulo II abordará os sons e suas características, assim como uma explanação sobre ultra-sons e cristais piezo-elétricos.

A seguir temos o microcontrolador, sua pinagem e características detalhadas neste capítulo.

CAPÍTULO II

2.1 MOVIMENTO ONDULATÓRIO

O movimento ondulatório que define um som pode ser compreendido com uma onda sinusoidal simples, como na figura 2.1.

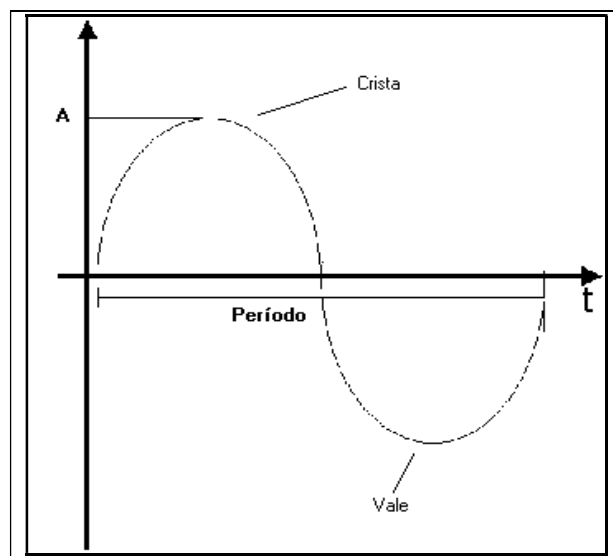


Figura 2.1 – Senóide

Assim, a amplitude de uma onda é a altura máxima de uma crista ou a profundidade de um vale. O comprimento de onda é dado entre a distância de duas cristas ou vales. Como a onda é expressa em relação ao tempo, temos a frequência, que é o número de vezes que uma onda completa faz em 1 segundo, ou seja, se uma onda para completar um ciclo demorar 1 segundo, temos a frequência de 1Hz. Este tempo é denominado de período e é dado pela inversa da frequência.

$$T = \frac{1}{f} \quad (2-1)$$

A velocidade de uma onda é dada pela expressão:

$$v = \sqrt{\frac{K}{\rho}} \quad (2-2)$$

Onde v é a velocidade em m/s, K é o módulo de elasticidade do meio em newtons/m² e p é a densidade deste meio em kg/m³.

2.2 CARACTERÍSTICAS DO SOM

O som caracteriza-se pelas vibrações longitudinais causadas a algum meio material, seja ele líquido, sólido ou gasoso. Estas vibrações nada mais são do que os movimentos das moléculas, portanto, no vácuo as ondas sonoras não se propagam.

As ondas sonoras audíveis são compreendidas entre os intervalos de 20Hz e 20kHz, frequências estas que são capazes de estimular o ouvido humano. Frequências abaixo deste intervalo são denominadas de infra-sônica e acima dela de ultra-sônica.

“Os infra-sons de interesse são geralmente produzidos por fontes de grande tamanho, sendo exemplo os terremotos. As altas frequências associadas aos ultra-sons podem ser produzidas por vibrações elásticas de um cristal de quartzo induzidos por ressonância com um campo elétrico alternado (efeito piezo-elétrico).

No ar a velocidade do som é relativamente fraca e, à 0°C o som atinge 331 metros por segundo, aumentando cerca de 55cm/s a cada grau centígrado acima de zero. Na água o som percorre cerca de 1,5 km por segundo. A velocidade de propagação do som é ainda maior nos sólidos. Num cabo de aço, atinge 5 km por segundo.

A altura de um som depende da frequência das vibrações, mas a velocidade de propagação é a mesma, seja ela qual for à altura. Um som agudo é mais alto que um som grave, mesmo que eles tenham a mesma amplitude.

2.3 ULTRA-SONS

Observando a vida à sua volta, o homem notou que os cães reagiam a alguns sons que ele não conseguia ouvir. Desta observação nasceu a primeira aplicação dos ultra-sons. Entre os estudiosos, o físico P. Lébédeu (1866 – 1912) foi o primeiro a utilizar os ultra-sons nos trabalhos de investigações.

Consoante à idade e as características de cada um, o homem deixa de perceber os sons cuja frequência ultrapasse de 16 kHz a 20 kHz. Estes sons de altas frequências, inaudíveis para o ouvido humano, têm o nome de ultra-sons.

Há muito tempo, os caçadores utilizam um apito para chamar seus cães, sem que os guardas florestais os percebessem, devido aos ultra-sons emitidos por este apito, que foi idealizado por Galtin.

O físico francês Paul Langevin (1872 – 1947), propôs a utilização dos sons inaudíveis para detectar os submarinos inimigos. O seu raciocínio era muito simples: um emissor especial lançara numa determinada direção, e sob a água, um breve sinal ultra-sônico. Se a via estivesse livre, o sinal se propagava até sua extinção. Se, ao contrário, encontrava um obstáculo qualquer de uma densidade diferente da água, o som refletia sobre si próprio e regressava ao emissor, sob a forma de eco. A volta do eco indicava a presença no mar de um corpo estranho.

Simultaneamente, podia-se determinar a distância a que se encontrava o obstáculo descoberto. Com efeito: suponhamos que o sinal refletido regressava três segundos depois de ter sido emitido. Sabe-se que em um segundo o som percorre na água cerca de 1,5 km; em três segundos ele terá, portanto, percorrido cerca de 4,5 km. Considerando que o som vai primeiro em um sentido e depois retorna, dividamos o resultado obtido por 2, vê-se que, no exemplo considerando o objeto descoberto se encontra a pouco mais de 2 km.”//1

Desde as primeiras experiências com os ultra-sons, observou-se que eles se propagam seguindo um feixe estreito. Na água um ultra-som que tenha uma frequência de 20 kHz tem apenas um comprimento de onda de 7,5 cm.

Então temos como equação da distância percorrida pelo ultra-som o seguinte

$$d = \frac{V \times t}{2} \quad (2-3)$$

Onde d é a distância em metros, V é a velocidade do som, que a 25 °C é de 341 m/s e t o tempo dado em segundos.

Hoje, os ultra-sons são largamente utilizados em diversos segmentos, desde simples alarmes veiculares a ensaios não destrutivos.

2.4 CRISTAIS PIEZOELÉTRICOS

Uma lâmina delgada de um cristal de quartzo, cortada de uma certa maneira, goza de certas propriedades. Quando é comprimida, aparecem nas duas faces opostas perpendiculares ao eixo de pressão, cargas elétricas de sinais contrários. É o que se chama o efeito piezo-elétrico, o que significa produção de eletricidade sob o efeito da pressão.

Se carregarmos as suas faces opostas de eletricidade de sinais contrários, cada mudança no sinal das cargas implica uma mudança de forma da lâmina, que tão depressa se dilata como se contrai.

As contrações e dilatações alternadas, propagando-se no espaço, dão origem a uma onda, e neste caso, a lâmina torna-se uma fonte de ondas, um emissor.

Se as cargas elétricas aplicadas às faces da lâmina forem invertidas à frequência de ressonância, a amplitude das vibrações crescerá, mesmo que a tensão elétrica se mantenha constante e a potência do ultra-som aumentará.

Quanto mais delgada for a lâmina, mais elevada é a sua frequência de ressonância. Para uma lâmina de 1mm de espessura, a frequência de ressonância é de 2,88 MHz.

Só os cristais de quartzo têm propriedades piezoelétricas, mas os cristais grandes são raros na natureza. Portanto, assim como os imãs, pode-se criar cristais de quartzo artificialmente. Um dos métodos consiste em submeter um bastão de vidro de quartzo em um recipiente com água e um pequeno cristal de quartzo no fundo, aquece-se à temperatura de 350 °C por aproximadamente 18 horas em cada processo, podendo-se repetir por 4 ou 5 vezes até obter um cristal de vários centímetros.

Atualmente, utiliza-se os titanatos, que tem propriedades piezoelétricas acentuadas. O titanato de Bário é particularmente precioso neste aspecto.

Pode-se trabalhar no formato do cristal, de forma que atenda certas exigências e também em determinadas aplicações, que podem exigir uma certa frequência de ressonância ou um formato incomum.

2.5 TRANSDUTORES ULTRA-SÔNICOS

São dispositivos capazes de emitir e receber sinais ultra-sônicos, fabricados com materiais com propriedades piezoelétricas, tais como as cerâmicas e cristais de quartzo, que tem como principal característica a frequência de ressonância.

Existem também as diferenças de construções, onde o meio onde serão submetidos é levado em conta. Como exemplo temos os sensores para serem usados ao ar livre e os sensores para serem usados dentro de líquidos. Na figura 2.2 temos o exemplo de um sensor utilizado ao ar livre.



Figura 2.2: Sensores Ultra-Sônicos

Estes sensores operam da seguinte maneira: ao serem atingidos por uma onda ultra-sônica, o cristal dentro deles vibra, produzindo uma tensão elétrica em seus terminais, proporcional à distância e a intensidade do sinal aplicado ao transmissor. Portanto, a sua máxima eficiência se dá quando a frequência captada pelo sensor esteja na mesma frequência de ressonância para a qual ele foi especificado.

No mercado, existem sensores de diversas frequências de operação, mas comumente encontram-se sensores de 40kHz, utilizados na maioria das aplicações.

Abaixo alguns fabricantes destes tipos de dispositivos:

Tabela 2.1: Fabricantes de sensores ultra-sônicos.

Murata	http://www.murata.com
Hexamite	http://www.hexamite.com
Channel Industries	http://www.chanelindustries.com

Estes fabricantes têm disponíveis em seus *sites* catálogos com informações técnicas acerca dos sensores por elas produzidas.

CAPÍTULO III

3.1 MICROCONTROLADORES

Os microcontroladores são dispositivos capazes de realizar diversas operações, que envolvem processamento matemático e também a respostas do meio externo, por meio de sensores. São compostos por uma Unidade Central de Processamento (*Central Processor Unit* – CPU), Unidade Lógica e Aritmética (*Aritmétic Logic Unit* – ALU) e uma Unidade de Controle (*Control Unit* – UC). A diferença entre o microcontrolador e microprocessador, está no fato de que o primeiro possui agregado a ele diversos subsistemas, tais como Memória de Acesso Aleatório (*Randon Access Memory* - RAM) e Memória Apenas de Leitura (*Read Only Memory* - ROM), conversores analógicos para digitais (A/D), conversores digitais para analógicos (D/A), *timers* e contadores, pulso modulado por frequência (*Pulse Width Modulation* - PWM), etc. Tudo em um único circuito integrado.

Sendo assim, os sistemas microcontrolados ficam otimizados e de tamanho reduzido, conseqüentemente, com um custo/benefício competitivo frente a sistemas com PLC ou de lógica fixa.

A concepção segue a mesma regra dos processadores, com a diferença de ser limitado em operações matemáticas complexas e também no número de pinos de entrada e saída de dados, devido ao propósito em que o microcontrolador é empregado. Dependendo do tipo do microcontrolador, pode-se gravar o programa em sua EEPROM ou memória Flash, de forma que pode-se atualizar o software, sem a necessidade de refazer o circuito eletrônico.

No mercado existem diversas famílias de microcontroladores, tais como MCS-51 da Intel, MSP da Texas Instruments, HC da Philips e Motorola, COP da National, PIC da Microchip, AVR da Atmel entre outros. Cada um tem suas vantagens e desvantagens em relação aos outros, mas basicamente são escolhidos pelo usuário pelas ferramentas oferecidas e também pelos recursos disponíveis em cada família.

Neste projeto, será utilizado o microcontrolador PIC da Microchip, devido a sua facilidade de programação e gravação do mesmo, além de ser facilmente encontrado em lojas do ramo eletrônico.

3.2 PIC

Esta família de microcontroladores, fabricados pela Microchip, tem como característica o baixo custo e um conjunto de instruções reduzido (RISC), devido a sua arquitetura interna. Possui também gravadores de baixo custo, podendo mesmo ser confeccionado pelo próprio usuário, tornando assim a escolha ideal em pequenos e médios projetos.

Outra facilidade desta família está no fato de que pode-se atualizar o microcontrolador, sem que tenha que refazer todo o *software* novamente, já que as instruções são semelhantes entre si, diferindo apenas em algumas particularidades do *hardware*.

3.3 ARQUITETURA HAVARD E VON NEUMANN

“Os microcontroladores PIC possui arquitetura HAVARD enquanto a maioria dos microcontroladores utiliza a arquitetura von-Neumann. A diferença entre as duas está na forma como os dados e o programa são processados pelo microcontrolador. Na arquitetura von-Neumann, existe apenas um barramento interno, por onde circulam as instruções e dados e outro barramento de controle.” Na figura 3.1 mostra a representação gráfica da arquitetura von-Neumann.

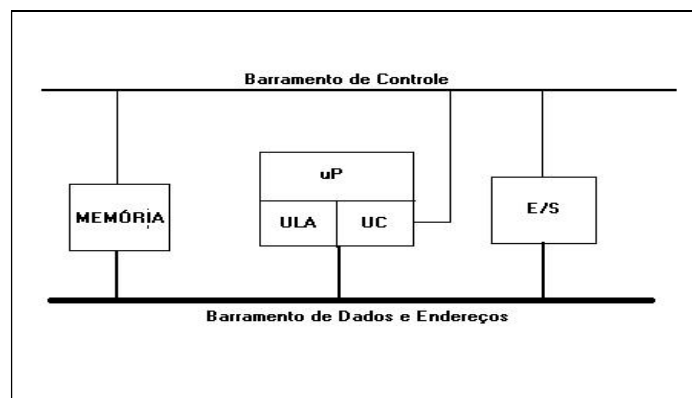


Figura 3.1: Arquitetura von-Neumann

“Na arquitetura Havard, existem dois barramentos separados, um de dados e outro de instruções. Desta forma, enquanto uma instrução é executada outra seja ‘buscada’ na memória, que possibilita um ganho de velocidade na execução do programa.

Essa arquitetura permite que o microcontrolador tenha um conjunto de instruções reduzido chamado de *RISC*, que no PIC, possui 35 instruções, enquanto que muitos processadores possuem um conjunto complexo de instruções, chamado de *CISC*. Em contrapartida, muitas funções devem ser criadas na arquitetura *RISC*, principalmente instruções matemáticas de multiplicação e divisão.”//2

Na figura 3.2 está representada a arquitetura Havard.

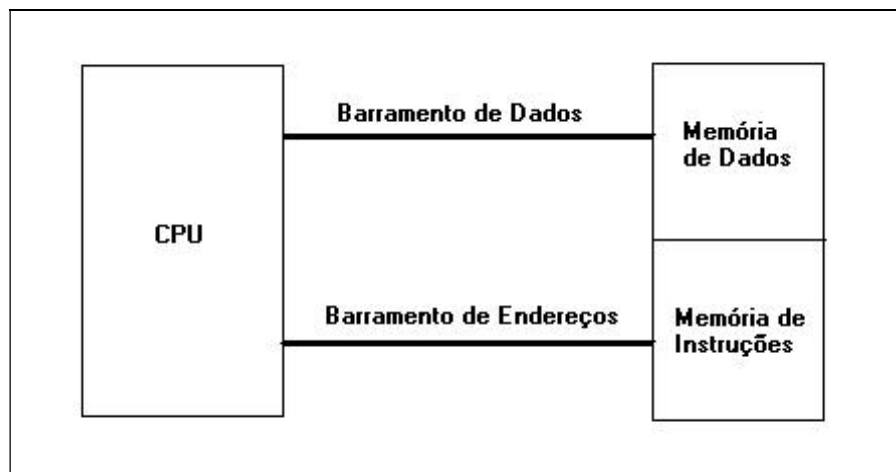


Figura 3.2: Arquitetura Havard

3.4 PIC 16F870

É um microcontrolador que possui como principais características:

- 2K x 14 *word* de memória *flash*;
- 128 x 8 *bytes* de memória de dados;
- 64 x 8 *bytes* de *EEPROM*;
- 2 *Timers* de 8 *bits*;
- 1 *Timer* de 16 *bits*;
- 10 interrupções;
- 1 *PWM*;

- 5 entradas A/D de 10 bits de resolução;
- 1 *USART*;
- Encapsulamento 28 ou 40 pinos DIP;
- Compatível com toda a linha 16Cxxx e 16Fxxx;
- Instruções de 200ns@20MHz;

Além destas características, é um microcontrolador de baixo custo, escalável e imune a ruídos. Não necessita de alimentação simétrica e tem saída TTL. Na figura 3.3, temos um diagrama de pinos do PIC 16F870 e na tabela 3.1, temos os pinos e suas funções.

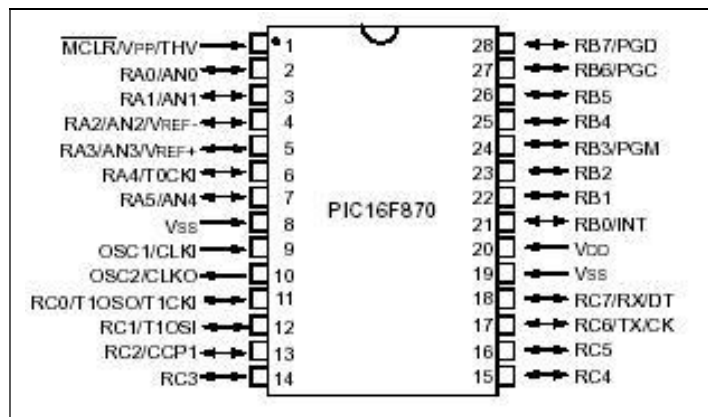


Figura 3.3: Pinagem do PIC 16F870.

Tabela 3.1: PIC16F870 - Pinagem e suas funções

PINO	NÚMERO DO PINO	DESCRIÇÃO
OSC1 / CLK1	9	Entrada do Cristal Oscilador / <i>Clock</i> externo.
OSC2 / CLK0	10	Saída do Cristal Oscilador / Saída <i>Clock</i> (1/4).
MCLR / Vpp / THV	1	<i>Reset</i> ativo em nível baixo/ Entrada da voltagem para programação (13Volts).
PORTA A Bi-Direcional ou Entradas Analógicas		
RA0 / AN0	2	PORTA A0 ou entrada analógica 0
RA1 / AN1	3	PORTA A1 ou entrada analógica 1
RA2 / AN2 / VREF -	4	PORTA A2 ou entrada analógica 2 ou referência negativa de voltagem do A/D
RA3 / AN3 / VREF +	5	PORTA A3 ou entrada analógica 3 ou referência positiva de voltagem do A/D
RA4 / T0CKI	6	PORTA A4 ou <i>Timer</i> 0 entrada de <i>Clock</i>
RA5 / AN4	7	PORTA A5 ou entrada analógica 4
PORTA B Bi-Direcional com resistores de <i>pull-up</i> configurado por <i>software</i>		
RB0 / INT	21	PORTA B0 / Entrada de interrupção externa
RB1	22	PORTA B1
RB2	23	PORTA B2
RB3 / PGM	24	PORTA B3 / Programação com baixa voltagem
RB4	25	PORTA B4 / Interrupção por mudança de estado
RB5	26	PORTA B5 / Interrupção por mudança de estado
RB6 / PGC	27	PORTA B6 / Interrupção por mudança de estado / <i>Clock</i> para programação / ICD
RB7 / PGD	28	PORTA B7 / Interrupção por mudança de estado / Dados para programação / ICD
RC0 / T1OSO / T1CKI	11	PORTA C0 / Saída do oscilador <i>Timer</i> 1 / <i>Timer</i> 1 entrada de <i>clock</i>
RC1 / T1OSI	12	PORTA C1 / Entrada do oscilador do <i>Timer</i> 1
RC2 / CCP1	13	PORTA C2 / Entrada captura, saída do comparador , saída <i>PWM</i> 1
RC3	14	PORTA C3
RC4	15	PORTA C4
RC5	16	PORTA C5
RC6 / TX / CK	17	PORTA C6 / Saída Serial
RC7 / RX / DT	18	PORTA C7 / Entrada Serial
Vdd / Vss	8 / 19 / 20	Alimentação Terra, 5V

CAPÍTULO IV

4.1 PROJETO DO SISTEMA

Consiste, além do planejamento, na montagem, programação, testes de bancada e validação do dispositivo.

Por seguir um sistema modular, primeiramente foi feita uma pesquisa sobre os ultra-sons, suas características e também sua viabilidade comercial, onde descobriu que é amplamente utilizado na indústria, em processos industriais e também para equipar automóveis, no que tange a segurança do mesmo.

Foram feitas também, pesquisa sobre os circuitos utilizados no projeto e também sobre *kits* que implementam o sistema de ultra-som. Um desses *kits* são comercializados por lojas do ramo de eletrônica para robótica, utilizados para a detecção de obstáculos.

Além dos *kits*, temos também alarmes automotivos, mas com um funcionamento ligeiramente diferente, onde a distância não é importante, mas sim se o sinal emitido foi alterado em algum momento. Ainda no setor automobilístico, temos em alguns modelos de veículos um alarme contra obstáculos que se utiliza de sons para sinalizar o motorista sobre a proximidade dos mesmos.

4.2 EQUIPAMENTOS

Neste projeto, foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Gerador de Funções LG, modelo FG7002C;
- Osciloscópio LG, modelo OS5100;
- Multímetro CIE, modelo 5175x1;
- Fonte de Alimentação DC regulada;
- *Protoboard*;
- Computador IBM-PC

CAPÍTULO V

5.1 TESTES

A princípio, e de posse dos sensores, o procedimento inicial foi obter resposta dos transdutores quando submetidos à frequência e amplitudes conhecidas. Para este experimento, foram utilizados um gerador de funções e também o osciloscópio.

O gerador de funções fora ajustado primeiramente com uma frequência de 40kHz e foi aumentando-se a frequência gradativamente até obter a máxima eficiência, mas sempre mantendo a amplitude de 10Vp-p. O osciloscópio fora ajustado para o canal 1 com 1V/divisão e onde fora interligado o gerador de funções e também o emissor ultra-sônico. O canal 2 fora ajustado com 20mV/divisão, onde fora interligado o receptor ultra-sônico e ambos com uma base de tempo de 5 μ s/divisão. Na figura 5.1, temos a forma de onda obtida do receptor ultra-sônico, onde o emissor foi excitado com 40kHz. Na forma de onda com maior amplitudes, têm o sinal do gerador de funções aplicado ao transmissor e, na de menor amplitude temos o sinal proveniente do receptor. Uma característica interessante dos transdutores ultra-sônicos, é que cada par tem uma resposta diferente às frequências, apesar de que, nominalmente eles trabalhem em 40kHz, porem existe uma pequena diferença em torno de 10%, entre um par e outro, isto numa amostra com 3 pares distintos de transdutores.

Na figura 5.2, foi obtida a máxima eficiência do receptor, na qual o transmissor foi excitado com 42kHz. Nota-se que a onda recebida tem praticamente a mesma amplitude da onda transmitida, mostrando que a frequência de ressonância é importante para a melhor eficiência dos sensores.

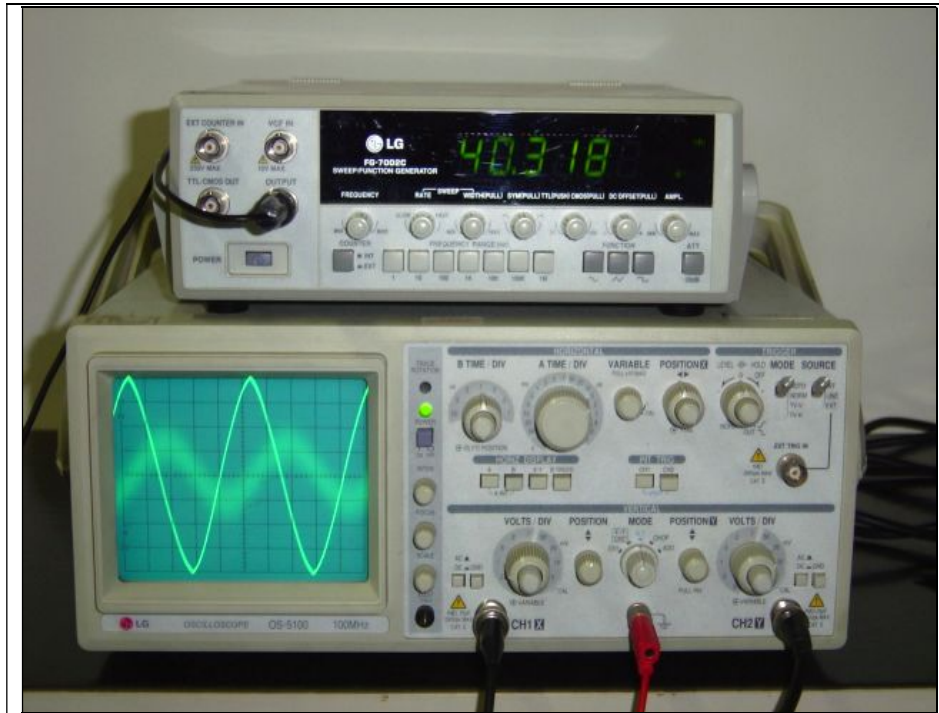


Figura 5.1: Transdutor excitado com 40kHz.

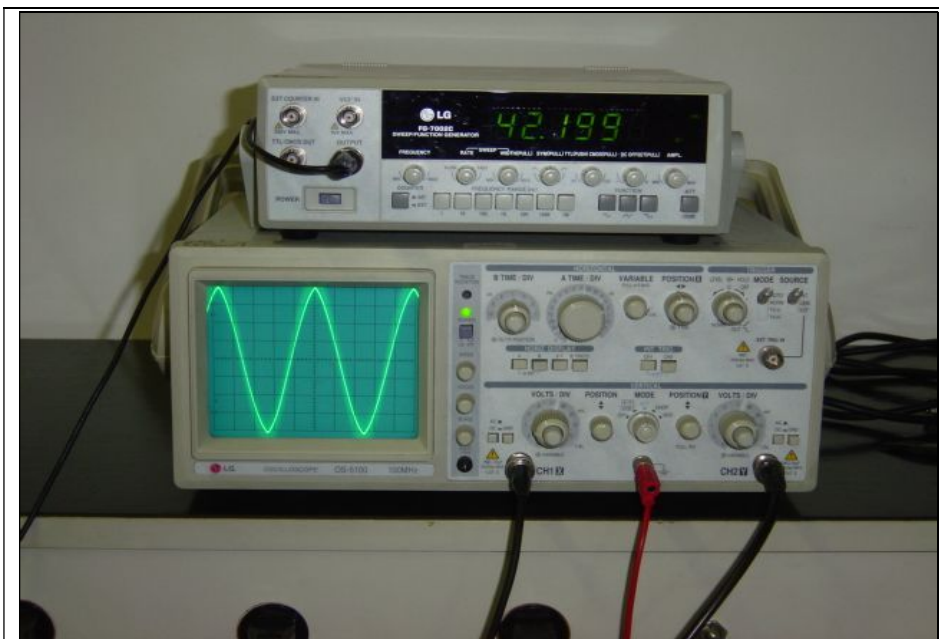


Figura 5.2: Transdutor excitado com 42kHz.

A princípio, os transdutores foram colocados a 10mm um à frente do outro, variando-se à distância, variava-se à diferença de fase dos sinais, como mostram as figuras

5.3, 5.4, e 5.5. No canto inferior esquerdo das figuras, temos os transdutores posicionados para o experimento. A diferença de fase nos dá a distância percorrida pela onda.

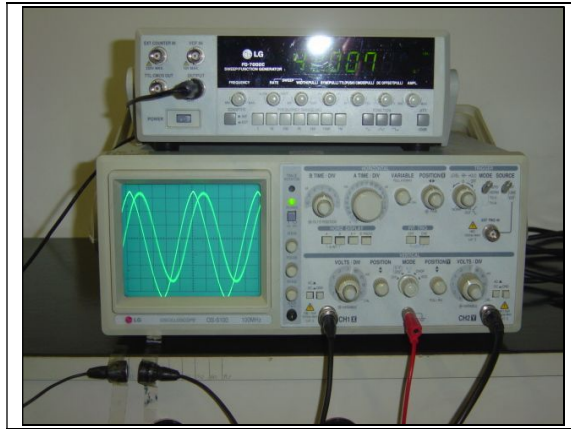


Figura 5.3: Transdutores separados em 10mm.

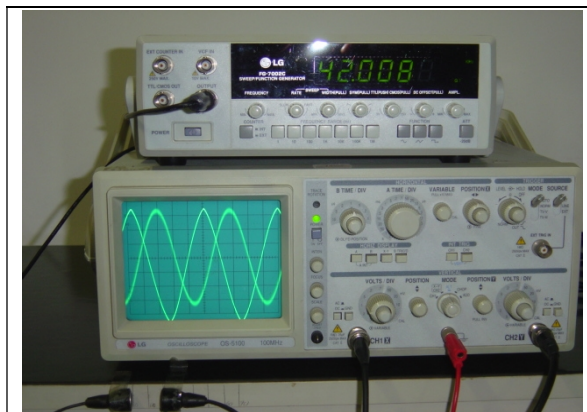


Figura 5.4: Transdutores separados em 20mm

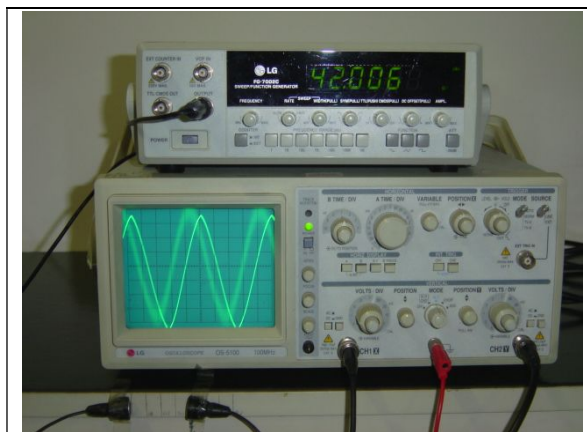


Figura 5.5: Transdutores separados em 30mm

O passo seguinte foi a elaboração de um amplificador e detector de sinais, utilizando para isso, 1 amplificador operacional de precisão LM358, que consiste em dois amplificadores num mesmo invólucro, e um circuito integrado PLL LM 567, para a detecção da frequência de operação, agindo assim como um filtro contra ruídos. A escolha deste tipo de circuito deu-se pela facilidade e também pelo número reduzido de componentes e de ajustes, tornando-o confiável e com bons resultados.

A primeira seção do LM 358 foi configurada como um amplificador inversor com ganho de tensão de 1000, ou seja, com uma tensão de 1mV, temos na saída do amplificador uma tensão de 1V. Já a segunda seção, está configurada como comparador de tensão. O ganho de tensão é dado pela fórmula:

$$v_s = -\left(\frac{r_f}{r_i}\right) * v_i \quad (5-1)$$

Onde v_s é a tensão de saída em Volts, r_f é o resistor de realimentação dado em Ohms, r_i é o resistor de entrada dado em Ohms e v_i é a tensão de entrada, dado em Volts. No circuito apresentado na figura 5.6, o resistor r_f é o R4 e o r_i é o R3.

O circuito detector, formado pelo LM 567, tem como frequência central 42kHz, que pode ser calculada com a seguinte equação:

$$f_o = \frac{1}{1.1 * r_a * c_a} \quad (5-2)$$

Onde f_o é a frequência de livre oscilação, dado em Hertz, r_a é o resistor de oscilação dado em Ohms e c_a e o capacitor de oscilação, dado em Farads. No circuito apresentado na figura 5.6, r_a é formado por R6 e pelo potenciômetro em série e c_a é dado por C4.

O CI1.2 juntamente com o potenciômetro formam um comparador de tensão, que nos permite ajustar o limiar da tensão aplicada ao microcontrolador.

Abaixo, na figura 5.6 temos o esquema elétrico do amplificador e detector de sinais.

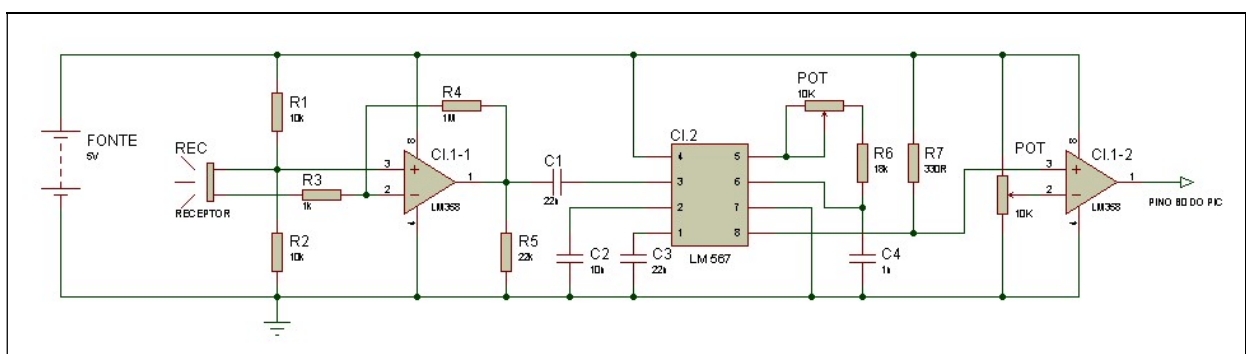


Figura 5.6: Esquema eletrônico do amplificador / detector de sinais

Na seqüência, foi criado um gerador de ondas quadradas a partir de um circuito integrado LM 555, na configuração multivibrador astável, com frequência de 42kHz e amplitude de 12Vp-p. Este gerador substitui o gerador de funções, haja visto que o gerador de funções serviu apenas como instrumento de teste e aferição.

Abaixo, temos as equações relativas ao multivibrador astável:

Frequência de operação:

$$f \cong \frac{1.44}{(RA + 2RB)C} \quad (5-3)$$

Tempo da saída em nível alto:

$$tH = 0.693(RA + RB)C \quad (5-4)$$

Tempo da saída em nível baixo:

$$tL = 0.693 * RB * C \quad (5-5)$$

Abaixo, na figura 5.7, temos o esquema elétrico do gerador/emissor de sinais.

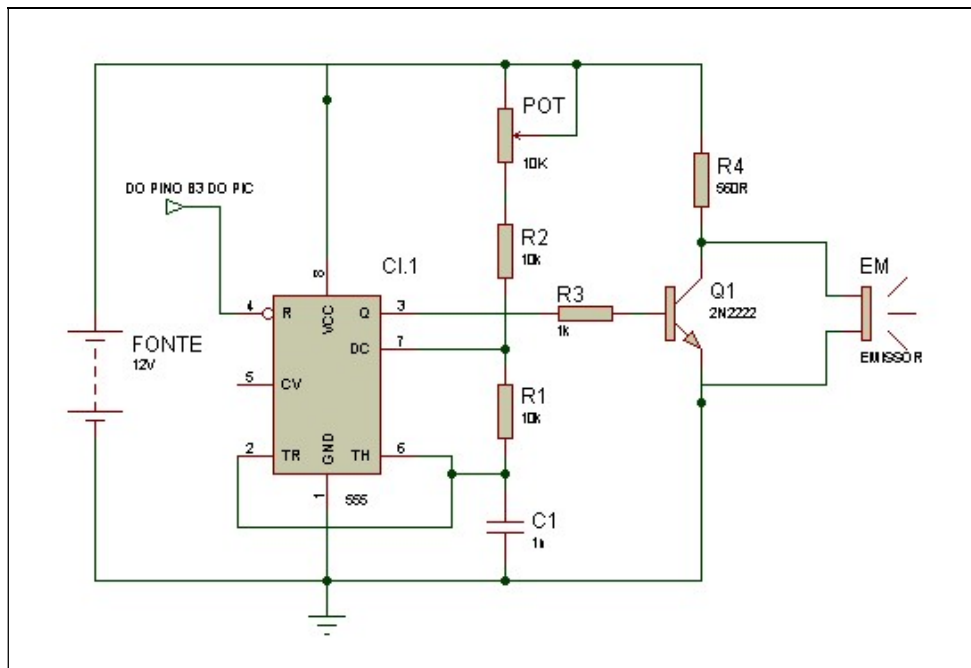


Figura 5.7: Esquema elétrico do gerador/emissor de sinais.

Nos passos seguintes, foram feitos testes no microcontrolador, utilizando-se o *software* PROTEUS®, que nos permite testes com o programa a ser gravado no microcontrolador. A princípio, foi elaborado um simples “pisca-pisca” com o microcontrolador, para familiarizar-se com o programa de simulação. O software utilizado para criar o programa a ser gravado no PIC é o PICC®, que utiliza linguagem ANSI C e disponibiliza uma área de desenvolvimento integrada e também o compilador otimizado para dispositivos eletrônicos, tudo reunido em um único ambiente.

Abaixo, na figura 5.8, temos o esquema elétrico do “pisca-pisca” e na tabela 5.1 temos o código-fonte em C.

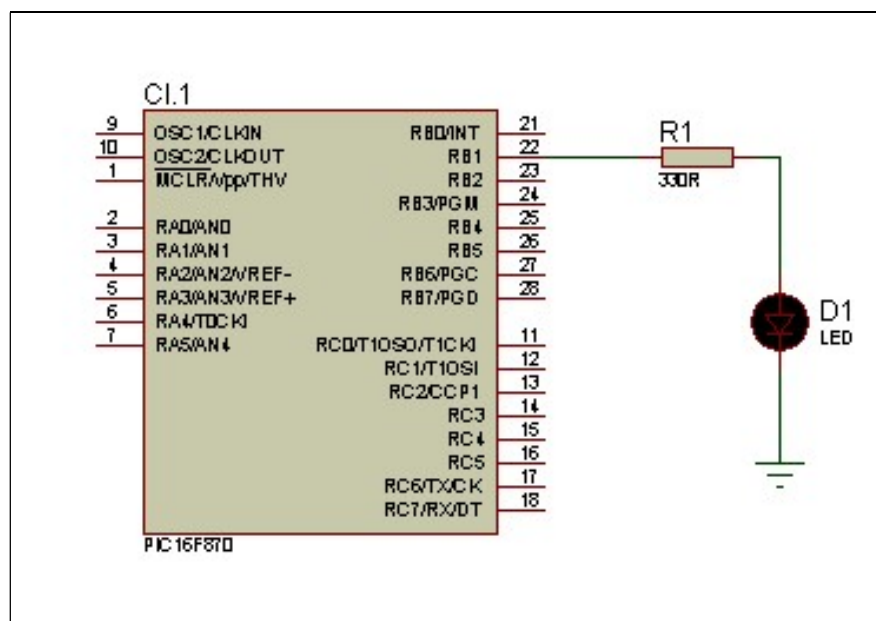


Figura 5.8: Esquema elétrico do pisca-pisca.

Tabela 5.1: Código-fonte do “pisca-pisca”.

```
////////////////////////////////////
// PROGRAMA QUE PISCA UM LED CONECTADO AO PINO B1, COM UMA
// FREQUÊNCIA DE 1Hz
// CRIADO POR CARLOS ALBERTO GONÇALVES ABREU
// RGM 126749
// ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO
// 15/05/2005
////////////////////////////////////

// Inclui a biblioteca do dispositivo a ser utilizado
#include <16f870.h>

// HABILITA OS FUSIVEIS DE PROGRAMAÇÃO
#fuses XT,NOWDT,NOPROTECT
// DEFINE A FREQUENCIA DO CRISTAL UTILIZADO
// PARA PODER GERAR OS TEMPOS UTILIZADOS NO PROGRAMA
#use delay(clock=4000000)

// FUNÇÃO PRINCIPAL
void main()
{

    // LOOP INFINITO
    while(TRUE)
    {

        // COLOCA O PINO B1 EM NIVEL BAIXO (0)
        output_low(PIN_B1);

        // ESPERA 1000 MILESEGUNDOS (1 SEGUNDO)
        delay_ms(1000);

        // COLOCA O PINO B1 EM NIVEL ALTO (1)
        output_high(PIN_B1);
        // ESPERA 1000 MILESEGUNDOS (1 SEGUNDO)
        delay_ms(1000);

    }

}

// FIM DA FUNÇÃO PRINCIPAL
```

O passo seguinte consiste em obter a saída no *LCD*, para isso, foi criada a rotina dentro do programa anterior, que mostra no *LCD* o estado do *LED*, permitindo assim, o teste do mesmo. A figura 5.9 e 5.10 mostram o circuito realizado e na tabela 5.2 está o código-fonte respectivo.

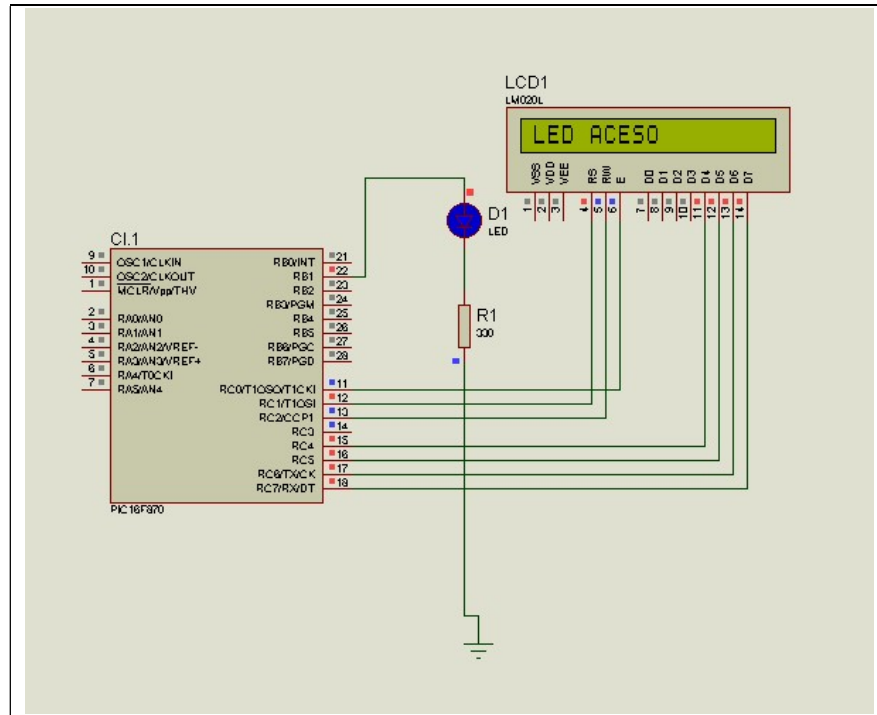


Tabela 5.2: Código-fonte do “pisca-pisca” e LCD.

```
////////////////////////////////////
// PROGRAMA QUE PISCA UM LED CONECTADO AO PINO B1, COM UMA
// FREQUÊNCIA DE 1Hz
// CRIADO POR CARLOS ALBERTO GONÇALVES ABREU
// RGM 126749
// ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO
// 15/05/2005
////////////////////////////////////

// Inclui a biblioteca do dispositivo a ser utilizado
#include <16f870.h>

// HABILITA OS FUSIVEIS DE PROGRAMAÇÃO
#fuses XT,NOWDT,NOPROTECT
// DEFINE A FREQUENCIA DO CRISTAL UTILIZADO
// PARA PODER GERAR OS TEMPOS UTILIZADOS NO PROGRAMA
#use delay(clock=4000000)

// UTILIZA AS ROTINAS DE LCD
#include <lcd.c>

// FUNÇÃO PRINCIPAL
void main()
{

    // LOOP INFINITO
    while(TRUE)
    {

        // COLOCA O PINO B1 EM NIVEL BAIXO (0)
        output_low(PIN_B1);

        // MOSTRA NO LCD
        printf(lcd_putc, "\FLED APAGADO");

        // ESPERA 1000 MILESEGUNDOS (1 SEGUNDO)
        delay_ms(1000);

        // COLOCA O PINO B1 EM NIVEL ALTO (1)
        output_high(PIN_B1);
```

```
        // MOSTRA NO LCD
        printf(lcd_putc, "\FLED ACESO");

        // ESPERA 1000 MILESEGUNDOS (1 SEGUNDO)
        delay_ms(1000);
    }

}

// FIM DA FUNÇÃO PRINCIPAL
```

Na tabela 5.3, temos o código-fonte do software.

```
////////////////////////////////////
// PROGRAMA QUE PISCA UM LED CONECTADO AO PINO B1, COM UMA
// FREQUÊNCIA DE 1Hz
// CRIADO POR CARLOS ALBERTO GONÇALVES ABREU
// RGM 126749
// ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO
// 15/05/2005
////////////////////////////////////

// Inclui a biblioteca do dispositivo a ser utilizado
#include <16F870.h>
#include <math.h>

#define delay(clock=4000000)
#include <lcd.c>

int d;
int16 tempo;
float dist;

#define _TIMER1
void isr_timer()
{
```



```
//d = 1;
d++;
}

void main()
{
    output_low(PIN_b3);
    lcd_init();
    lcd_gotoxy(1,1);
    printf(lcd_putc, "\nIniciando...");
    delay_ms(1000);
    setup_timer_1 (T1_INTERNAL/T1_DIV_BY_1);
    tempo = 0;
    d = 0;
    ext_int_edge( H_TO_L );
    //enable_interrupts(int_RB);
    enable_interrupts(int_timer1);
    enable_interrupts(GLOBAL);
    set_timer1(0);
    while (TRUE)
    {
        output_high(PIN_B3);
        delay_us(10);
        output_low(PIN_b3);
        //enable_interrupts(int_timer1);
        //enable_interrupts(GLOBAL);
        //set_timer1(0);
        if(!input(PIN_B0))
        {
            disable_interrupts(int_timer1);
            tempo = get_timer1();
            //tempo = tempo - 5;
            dist = (tempo * 334000) / 20;
```

```
dist = dist * 0.000001;
tempo = ceil(dist);
tempo = tempo - 5;
lcd_gotoxy(1,2);
printf(lcd_putc, "\f%lu cm",tempo);
delay_ms(1000);
enable_interrupts(int_timer1);
enable_interrupts(GLOBAL);
set_timer1(0);
}
else
{
    if(d)
    {
        lcd_gotoxy(1,2);
        printf(lcd_putc, "\fFora de Alcance");
        d = 0;
        set_timer1(0);
    }
}
}
}
```

5.2 RESULTADOS

Após a junção dos circuitos, devidamente avaliados, no que tange a testes, temos o circuito pronto para os resultados finais. A princípio, foram feitos ajustes no *software* para a adequação dos *timers* do microcontrolador. Logo, ajustou-se a frequência de oscilação do emissor, utilizando-se do multímetro, que possibilita a medida de frequências.

Nos testes iniciais, detectou-se uma instabilidade nos dados visualizados no *LCD*, apesar de que o mesmo respondia aos estímulos no sensor. A partir daí, foram feitos novos ajustes no *software*, com o intuito de sanar a instabilidade do sistema. Estes ajustes incluíam o circuito detector, pois o mesmo estava interrompendo o microcontrolador com sinais espúrios, advindos do meio externo.

Durante os testes iniciais, foi detectado que os sensores têm limitações quanto ao intervalo de distâncias cobertas, tendo como limite mínimo de 50 mm e isto é ocasionado pelo fato dos sensores terem uma visada de 60°, tendo com isso um fenômeno chamado “zona cega”.

Já o alcance máximo é influenciado pela potência do transmissor e também pelas limitações físicas dos mesmos. Nos testes, foi obtido um alcance máximo de 800mm, porém haviam instabilidades nas medidas obtidas. Devido a este fato, fixamos como medida máxima 600 mm para com isso garantirmos a estabilidade do sistema.

Para os testes, utilizamos uma medida graduada (régua escolar) e um anteparo feito com uma caixa de papelão com 150 mm de comprimento, 140 mm de altura e 110 mm de profundidade.

Na tabela 5.3, são mostrados os dados obtidos antes dos ajustes.

Tabela 5.3: Dados obtidos preliminarmente

MEDIDA REAL	MEDIDA APRESENTADA PELO SISTEMA
10 mm	Fora de alcance, 40 mm, 110 mm, 65535 mm
20 mm	150 mm, 70 mm, 200 mm, Fora de alcance
30 mm	130 mm, 100 mm, 50 mm, Fora do alcance
40 mm	40 mm, 60 mm, 100 mm, 80 mm, 40mm

50 mm	50 mm, 70 mm, 110 mm, 80 mm
60 mm	65 mm, 80 mm, 90 mm, 60 mm
70 mm	100 mm, 90 mm, 130 mm, 130 mm
100 mm	100 mm, 110 mm, 90 mm, 110 mm
150 mm	170 mm, 150 mm, 170 mm, 170 mm
200 mm	190 mm, 190 mm, 180 mm, 210 mm
300 mm	290 mm, 310 mm, 300 mm, 290 mm
400 mm	390 mm, 410 mm, 380 mm, 390 mm
500 mm	490 mm, 480 mm, 510 mm, 500 mm
600 mm	610 mm, 580 mm, 580 mm, 610 mm

Tabela 5.4: Dados obtidos após ajustes.

MEDIDA REAL	MEDIDA APRESENTADA PELO SISTEMA
100 mm	100 mm, 90 mm, 100 mm, 110 mm
150 mm	160 mm, 160 mm, 150 mm, 150 mm
200 mm	200 mm, 190 mm, 190 mm, 190 mm
300 mm	300 mm, 290 mm, 300 mm, 300 mm
400 mm	410 mm, 380 mm, 400 mm, 400 mm
500 mm	500 mm, 480 mm, 500 mm, 510 mm
600 mm	610 mm, 580 mm, 600 mm, 590 mm

CAPÍTULO VI

6.1 CONCLUSÃO

Após os testes realizados, concluímos que há a possibilidade de utilização de um sistema de medidas por ultra-som com precisão suficiente para o setor automobilístico.

Os erros nas medidas aqui apresentados tem diversos fatores, entre eles, a medida direta, onde o valor apresentado é o que originou-se tão logo foi detectado. Para solucionar este problema a abordagem por média aritmética seria um dos métodos indicados, onde os valores apresentados seriam a média de x amostras em um determinado tempo, obtendo com esse processo, uma melhora significativa da precisão.

BIBLIOGRAFIA

JUNIOR, FERENGE; ET all – **Curso de Física-Ondas, Som e Luz** – São Paulo, 1975, Ed. Edgard Blücher.

RESNICK, ROBERT; HALLIDAY, DAVID – **Física** – Rio de Janeiro, 1984, Livros Técnicos e Científicos Volume 2 4ª Edição.

FORMER, JOHNSON – **Acústica** – São Paulo, 1968, Livraria Nobel

NEPOMUCENO, LAURO XAVIER **Tecnologia Ultra-sônica** – São Paulo, 1980, Editora Edgard Blücher.//1

KOUDRIAVTSEV, V. – **O Mundo dos Ultra-sons** – Publicações Europa-América. //2

ANTUNES, SÉRGIO R. – **Amplificadores Operacionais** – São Paulo, 1995, Editora Fitipaldi.

PEREIRA, FÁBIO – **Microcontroladores PIC - Programação em C** – São Paulo, 2003, Editora Érica, 3ª Edição.

MICROCHIP TECHNOLOGY– **DS30569B – PIC 16F870/871 Data Sheet** – U.S.A, 2003, Microchip Technology.

NATIONAL SEMICONDUCTOR – **DS006975 – LM 567 Tone Decoder Data Sheet** - U.S.A, 1999, National Semiconductor.

NATIONAL SEMICONDUCTOR – **DS007787 – LM 358 Low Power Dual Operational Amplifier** – U.S.A., 2004, National Semiconductor.

NATIONAL SEMICONDUCTOR – **DS007851 – LM 555 Timer** – U.S.A., 2000, National Semiconductor.

DICIONÁRIO ON-LINE MICHAELIS – **Moderno Dicionário da Língua Portuguesa** – <http://www2.uol.com.br/michaelis/>, São Paulo, Universo On-Line.

GLOSSÁRIO

Transdutores – Dispositivos que emitem e recebem sinais;

Minimização - Processo pelo qual se determina o menor valor que uma grandeza possa ter;

Dispositivo - Qualquer peça ou mecanismo de uma máquina destinados a uma função especial;

Display – Mostrador;

Sensor - Designação genérica para dispositivos como radares, sonares, ecobatímetros etc.;

Software - Qualquer programa ou grupo de programas que instrui o *hardware* sobre a maneira como ele deve executar uma tarefa;

Explicação - Explicação, ilustração;

Consoante - Conforme, segundo;

MHz - Abreviatura de *megahertz*.;

Ressonância - Intensificação e enriquecimento de um som por vibrações suplementares;