



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



Fábio Dell'Aglio Fonseca

Sistema de Medição de Diâmetro a Laser

Canoas, Julho de 2009



Fábio Dell'Aglio Fonseca

Sistema de medição de diâmetro a laser

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

Eletrônica

Professor Orientador:

MSc. Eng. Eletr. Dalton Vidor – CREA-RS: 079005-D

Canoas

2009



FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome do Autor: Fábio Dell'Aglio Fonseca

Matrícula: 0210034777

Título: Sistema de medição de diâmetro a laser

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:

MSc. Eng. Eletr. Dalton Vidor

CREA-RS: 079005-D

Banca Avaliadora:

MSc. Eng. Eletr. Miriam Noemi Cáceres Villamayor

CREA-RS: 067231-D

Conceito Atribuído (A-B-C-D):

MSc. Eng. Eletr. Paulo César Cardoso Godoy

CREA-RS: 0116822-D

Conceito Atribuído (A-B-C-D):

Assinaturas:

Autor
Fábio Dell'Aglio Fonseca

Orientador
Dalton Vidor

Avaliador
Miriam Noemi Cáceres
Villamayor

Avaliador
Paulo César Cardoso Godoy

Relatório Aprovado em:



DEDICATÓRIA

Dedico aos meus pais e a Claudine.



AGRADECIMENTOS

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

Ao Professor Dalton pelo estímulo, dedicação e esforço pessoal proporcionado.

Aos colegas Diego, Daniel, Rogério e todos os outros colegas que participaram dessa etapa.

Ao antigo colega e amigo João Silva por todas as contribuições e ajuda quando os projetos não funcionavam durante todo o curso.

A Claudine, por estar junto quase todo esse tempo ajudando, compreendendo os dias de estudo, suportando a pressão dos finais de semestre e por tudo que passamos juntos nesses últimos cinco anos.

Aos meus pais, por toda ajuda, empenho, pelas madrugadas e por todos os ensinamentos dados durante toda vida.



EPIGRAFE

“Não se deve ir atrás de objetivos fáceis, é preciso buscar o que só pode ser alcançado por meio dos maiores esforços” ...

Albert Einstein



RESUMO

Fonseca, Fábio Dell'Aglio. Sistema de Medição de Diâmetro a Laser. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Elétrica - Departamento de Engenharia Elétrica. Universidade Luterana do Brasil. Canoas, RS. 2009.

Devido às necessidades do mercado, cada dia se torna mais necessária a execução de testes nos produtos fabricados. Para tal são usados ensaios não destrutivos os quais englobam diversas técnicas e tipos de materiais. O presente trabalho tem por finalidade apresentar uma opção de teste não destrutivo para medição dimensional, foi desenvolvido um equipamento baseado nas leis da óptica composto de um laser, um jogo de espelhos e um hardware de condicionamento de sinal. Chegando ao término do projeto com uma medida próxima aos resultados obtidos por máquinas fabricadas por marcas consolidadas no mercado. Esses resultados chegaram a casa de mais ou menos 1 (um) milímetro de erro em barras acima de 25 milímetros.

Palavras chave: Teste não destrutivo. Medição dimensional. Laser. Óptica. Sinal.



ABSTRACT

Fonseca, Fábio Dell'Aglio. Diameter Measurement System for Laser of D .
Work of Conclusion of Course in Electrical Engineering - Electrical Engineering
Department. Lutheran University of Brazil. Canoas, RS. 2009.

Due the market needs, each day becomes more necessary to run tests in products. Are used for such non-destructive tests witch cover various techniques and materials. This work aims to offer a choice of non-destructive test for dimensional measurement, a device was developed based on the laws of optics consisting of a laser, a set of mirrors and a signal-conditioning hardware. At the end of the project a measure arrives close to the results obtained by machines manufactured out side the country. These are companies consolidated in the market. The results came to more or less 1 (one) millimeter of errors above 25 mm.

Keywords: Non-destructive tests. Dimensional measurement. Laser. Optics. Signal.



LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Paquímetro com a descrição de suas partes.	17
Figura 2 – Parafuso micrométrico de um micrômetro.	19
Figura 3 – Traçador de altura.	20
Figura 4 – Máxima exposição permitida aos raios laser segundo a IEC 60825.	21
Figura 5 – Normas de classificação de lasers	22
Figura 6 – Espelho plano	24
Figura 7 – Espelhos parabólicos.	25
Figura 8 – Aplicações dos micrômetros a <i>laser</i>	26
Figura 9 – Visão geral do protótipo.	28
Figura 10 – Estrutura do receptor e câmara escura.	29
Figura 11 – Visão geral do emissor.	31
Figura 12 – Espelhos da primeira etapa	31
Figura 13 – Espelho acoplado ao eixo do motor	32
Figura 14 – Primeiro espelho reto	32
Figura 15 – Segundo espelho reto.	33
Figura 16 – Último espelho da etapa de transmissão.	33
Figura 17 – Visão geral do receptor	34
Figura 18 – Espelho do receptor.	34
Figura 19 – Fotodiodo usado no receptor	35
Figura 20 – Desenho do transmissor	35
Figura 21 – Diagrama elétrico do circuito de amplificação	37
Figura 22 – Configuração do PIC usada no Kit.	39
Figura 23 – Placa do kit de programação	39
Figura 24 – Esquema elétrico do kit de programação	40
Figura 25 – Configuração do MAX 232.	40
Figura 26 – Fluxograma do <i>software</i>	42
Figura 27 – Fluxograma da rotina de interrupção.	43
Figura 28 – Sinal após o comparador sendo interrompido por uma barra.	45
Figura 29 – Suporte do material.	46
Figura 30 – Padrões usados para aferição do equipamento	46
Figura 31 – Equipamento em operação.	47



LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tabela de resultados das medições47



LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ISO: International Organization for Standardization.

V: Volt.

us: micro segundos.

mm: milímetro.



SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
1.1. Visão Geral do Problema.....	13
1.2. Definição do Escopo do Projeto.....	14
1.3. Universo das Soluções.....	14
1.4. Justificativa Técnica e Econômica para a Solução Escolhida.....	15
1.5. Especificações Técnicas da Solução Escolhida.....	15
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
2.1. Conceitos Básicos e Estudos Preliminares.....	16
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	27
3.1. Descrição Geral do Sistema.....	27
3.2. Descrição dos Sistemas Mecânicos.....	28
3.3. Etapa de geração e emissão de laser.....	29
3.4. Etapa de Recepção.....	33
3.5. Etapa de amplificação, tratamento e processamento do sinal.....	36
4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	44
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	48
5.1. Conclusão.....	48
6. REFERÊNCIAS.....	50
OBRAS CONSULTADAS.....	51
APÊNDICE A – SOFTWARE DO MICROCONTROLADOR.....	52
ANEXO A – DATASHEET LM 318.....	55
ANEXO B – DATASHEET LM 361.....	56
ANEXO C – DATASHEET PIC 16F877A.....	57



1. INTRODUÇÃO

A idéia geral do trabalho é construir um sistema que execute a medição do diâmetro de peças. Hoje, em processos industriais, principalmente em siderurgia, existe a necessidade da realização de testes desse tipo devido as normas e garantia da qualidade do produto a ser entregue. Essas máquinas são de fabricação estrangeira, com custo e prazo de entrega elevados. Com a construção dessa máquina deseja-se apresentar uma alternativa nacional de menor custo a indústrias ou empresas que necessitem fazer esse tipo de teste durante seu processo.

1.1. *Visão Geral do Problema*

Na indústria siderúrgica o processo de medição do diâmetro da peça é feito quando a barra está fria, colocando a barra em uma mesa e executando tal medição com a ajuda de um paquímetro. Com isso coloca-se um operador exclusivo para essa função, perdendo assim uma pessoa em outros processos que levariam a um melhor aproveitamento da mão-de-obra. Com esse trabalho deseja-se apresentar uma solução para essa situação, liberando com isso o operador e diminuindo o tempo de produção de cada peça.

Para realizar a medição das peças perde-se muito tempo, atrapalhando assim desde o processo seguinte a inspeção até o prazo de entrega do produto gerando um custo muito alto para a empresa e um tempo de barra em estoque desnecessário. Com essa solução é desejada uma economia no tempo de produção, a liberação de um operador para outras atividades, uma diminuição de tempo em estoque, agilidade no tratamento dos dados recebidos e principalmente uma redução nas interrupções de máquina para medir um material com suspeita de estar fora da especificação.

Esse projeto poderá ser aproveitado por indústrias do ramo siderúrgico interessadas em testes de qualidade de seu produto, empresas que necessitem durante seu processo realizar o teste dimensional de algum componente ou produto que seja de interesse vital para o funcionamento das máquinas.



1.2. Definição do Escopo do Projeto

Construção do protótipo de uma máquina de medição de diâmetro a *laser*, que para tal serão usadas técnicas de óptica e condicionamento de sinais com recursos próprios e peças de máquinas desativadas. Esse protótipo irá se constituir de um eixo de medição composto por espelhos, um emissor *laser* com o comprimento de ondas na faixa do vermelho, um receptor, um micro-controlador e a visualização dessa medida no *hyper* terminal do *windows*.

Os objetivos gerais do projeto são criar uma máquina que realize a medição de peças ou componentes sem que seja necessária a interrupção do processo ou da operação da máquina. Usar um sistema a *laser* para realizar tal medição e conseguir uma boa exatidão nesse sistema. Reduzir custo e interrupção de processos produtivos, garantindo a qualidade do produto ou componente medido. Liberar mão-de-obra para operação de outras máquinas.

Tendo como meta conseguir uma exatidão próxima à máquina RDMS 180 DSP+, fabricada na Alemanha pela empresa LAP, que se encontra hoje com um erro de aproximadamente 0,02 mm. Conseguindo com isso uma redução do custo e do prazo de entrega de uma máquina para essa finalidade. Buscando também uma exatidão próxima a 0,4 mm, o que atenderia ao padrões da maior parte do mercado siderurgico.

1.3. Universo das Soluções

A primeira solução seria a contratação de um funcionário para a realização da medição com um paquímetro parando o processo a cada peça produzida.

Criação de um sistema mecânico para realizar a medida fazendo com que o operador parasse o processo acionando o sistema e fosse realizar a leitura do resultado.

Criação de um sistema mecânico com acionamento automático, acoplado a transdutores ou *encoders*, enviando o valor da leitura a um software de supervisão.



A última e escolhida solução é a construção de uma máquina de medição a laser inserida em linha de produção, não se fazendo necessário paradas de máquina para a execução, leitura e tratamento dos resultados obtidos.

1.4. *Justificativa Técnica e Econômica para a Solução Escolhida*

Como a medição é realizada em linha, esse processo torna-se mais rápido trazendo também uma diminuição do custo de produção. O sistema torna-se automático fazendo com que a medida não dependa mais do operador. Devido à experiência com outras máquinas que usam sistemas semelhantes é clara a sua exatidão fazendo com que a confiabilidade do sistema seja muito grande.

Os principais critérios adotados para a escolha dessa solução foram a diminuição do tempo de produção, redução de custo para a empresa interessada e a confiabilidade desse tipo de sistema.

Dos equipamentos conhecidos no mercado o que se mostrou mais exato e preciso foi o fabricado pela LAP, empresa alemã especializada em equipamentos a laser. A proposta desse trabalho é conseguir uma exatidão próxima a esse equipamento com um custo inferior, prazo de entrega menor e fabricação brasileira.

1.5. *Especificações Técnicas da Solução Escolhida*

A máquina poderá ser usada para realizar medições de até 100 mm com boa exatidão, tensão de alimentação 127v ou 220v monofásicos, tensões de trabalho interna +15, -15, +5vcc, apresentando um eixo de medição com um feixe de laser classe 2. O projeto será executado nas dependências da ULBRA, podendo a partir do protótipo e desse documento ser produzido em escala para o mercado.

O maior risco desse projeto é a construção de uma parte óptica ruim ou sem ajuste, que inviabilizaria o trabalho antes do início das outras atividades. Outro fator que não se pode descartar é o acionamento do motor que gira o espelho facetado. Este deve estar funcionando ao mesmo tempo que o restante da óptica, pois se não for assim, não haverá como fazer uma leitura do sinal no receptor.



2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. *Conceitos Básicos e Estudos Preliminares*

Devido às necessidades do mercado, cada dia se torna mais necessária a execução de testes nos produtos fabricados. Para tal são usados ensaios não destrutivos os quais englobam diversas técnicas e tipos de materiais. Um desses ensaios é o teste dimensional desses produtos.

A execução desses testes pode ser realizada usando diversos instrumentos e técnicas diferentes. Para que o ensaio dimensional seja executado é necessário o uso de peças padrão, as quais são comparadas com as amostras ou com o próprio material a ser testado. Essa aferição pode ser feita usando gabaritos, paquímetros, micrômetros, traçadores de altura e ensaios sem contato usando *lasers*.

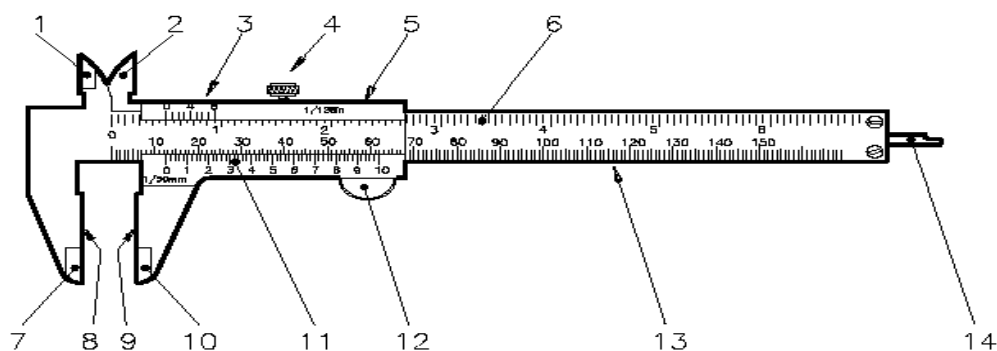
Os gabaritos são instrumentos de medição relativamente simples, confeccionados normalmente em aço, podendo ser fabricados pela própria empresa ou setor responsável (próprio mecânico/operador) pelo controle de determinado parâmetro da peça analisada. Dependendo da natureza e necessidade do trabalho a ser realizado, suas formas, tipos e tamanhos variam.

Os gabaritos podem ser comercialmente encontrados em formatos padronizados tais como: verificadores de raios, de ângulo fixo para ferramentas de corte, escantilhões para roscas (pente de rosca), calibrador de folga, compasso, pente de raio, entre outros.

Gabaritos operam como padrões contra os quais a curva ou superfície é comparada. Assim, sua forma deve apresentar um desvio consideravelmente menor à tolerância da superfície a ser controlada. No caso mais geral, a comparação é realizada visualmente, através da observação do fio de luz entre o gabarito e a peça. Conseqüentemente, trata-se de sistemas de inspeção atributivos, que não têm a capacidade de informar o valor do desvio em cada ponto da superfície controlada.

O paquímetro é um instrumento usado para medir as dimensões lineares internas, externas e de profundidade de uma peça. Consiste em uma régua graduada, com encosto fixo, sobre a qual desliza um cursor. O cursor ajusta-se à régua e permite sua livre movimentação, com um mínimo de folga. Ele é dotado de uma escala auxiliar, chamada nônio ou vernier. Essa escala permite a leitura de frações da menor divisão da escala fixa. O paquímetro é usado quando a quantidade de peças que se quer medir é pequena. Os instrumentos mais utilizados apresentam uma resolução de: 0,05 mm, 0,02 mm, 1/128" ou 0,001". As superfícies do paquímetro são planas e polidas, e o instrumento geralmente é feito de aço inoxidável. Suas graduações são calibradas a 20°C.

A figura 1 mostra um paquímetro com suas partes descritas.



- | | |
|--------------------------------|----------------------------------|
| 1. orelha fixa | 8. encosto fixo |
| 2. orelha móvel | 9. encosto móvel |
| 3. nônio ou vernier (polegada) | 10. bico móvel |
| 4. parafuso de trava | 11. nônio ou vernier (milímetro) |
| 5. cursor | 12. impulsor |
| 6. escala fixa de polegadas | 13. escala fixa de milímetros |
| 7. bico fixo | 14. haste de profundidade |

(<http://pt.wikipedia.org/wiki/Paqu%C3%ADmetro>)

Figura 1 – Paquímetro com a descrição de suas partes.



O micrômetro e o paquímetro são instrumentos que medem com exatidão a espessura de revestimentos na construção civil, e têm grande uso na indústria mecânica, medindo toda a espécie de objetos, como peças de máquinas.

O micrômetro funciona por um parafuso micrométrico e é muito mais preciso que a craveira, que funciona por deslizamento de uma haste sobre uma peça dentada e permite a leitura da espessura por meio de um nônio ou de um mecanismo semelhante ao de um relógio analógico.

Jean Louis Palmer apresentou, pela primeira vez, um micrômetro para requerer sua patente. O instrumento permitia a leitura de centésimos de milímetro, de maneira simples. Com o decorrer do tempo, o micrômetro foi aperfeiçoado e possibilitou medições mais rigorosas e exatas do que o paquímetro. De modo geral, o instrumento é conhecido como micrômetro. Na França, em homenagem ao seu inventor, o micrômetro é denominado palmer. Em 1890, Laroy S. Starrett patenteou um micrômetro mais aperfeiçoado, utilizando uma tampa para a haste, um módulo que aumentou a velocidade de medição e outras melhorias, o que transformou a versão antiga deste instrumento em uma ferramenta extremamente moderna, que mantém até hoje o mesmo princípio de funcionamento. Laroy S. Starrett é o fundador da Starrett, atualmente uma das maiores fabricantes de ferramentas e instrumentos de medição do mundo, com sede em diversos países.

O funcionamento do micrômetro baseia-se no deslocamento axial de um parafuso micrométrico com passo de alta precisão dentro de uma rosca ajustável. A circunferência de rosca (tambor) é dividida em 50 partes iguais, possibilitando leituras de 0,01mm.

A figura 2 mostra o parafuso de micrométrico de um micrômetro.



([http://pt.wikipedia.org/wiki/Micr%C3%B3metro_\(instrumento\)](http://pt.wikipedia.org/wiki/Micr%C3%B3metro_(instrumento)))

Figura 2 – Parafuso micrométrico de um micrômetro.

Os traçadores de altura são instrumentos amplamente utilizados tanto em laboratórios de metrologia como nos setores de fabricação. São empregados para medir, traçar peças, auxiliar na verificação de nivelamento, paralelismo, planeza e outros parâmetros.

A perpendicularidade em relação à base de apoio é de fundamental importância neste tipo de instrumento, por realizar o seu trabalho na posição vertical apoiado em um despenho. Para verificar esse parâmetro, pode-se utilizar um esquadro padrão e um relógio tipo apalpador fixado no cursor. A calibração da escala é feita com o auxílio de blocos padrão de diferentes comprimentos, de acordo com sua faixa de medição, ou com padrão escalonado vertical. Na calibração utiliza-se a norma ABNT NBR 11309.

A figura 3 mostra um tipo de traçador de altura.



(<http://www.mitutoyo.com.br/noticias/pdf/hds.pdf>)

Figura 3 – Traçador de altura.

As tecnologias baseadas em princípios ópticos de medição se caracterizam pela ausência de contato entre o instrumento de medição e o mensurando. Há diversos sistemas ópticos disponíveis comercialmente para medição de peças. Dentre essas soluções destacam-se os sistemas denominados de fotogrametria e os sistemas de medição de diâmetro a *laser*.

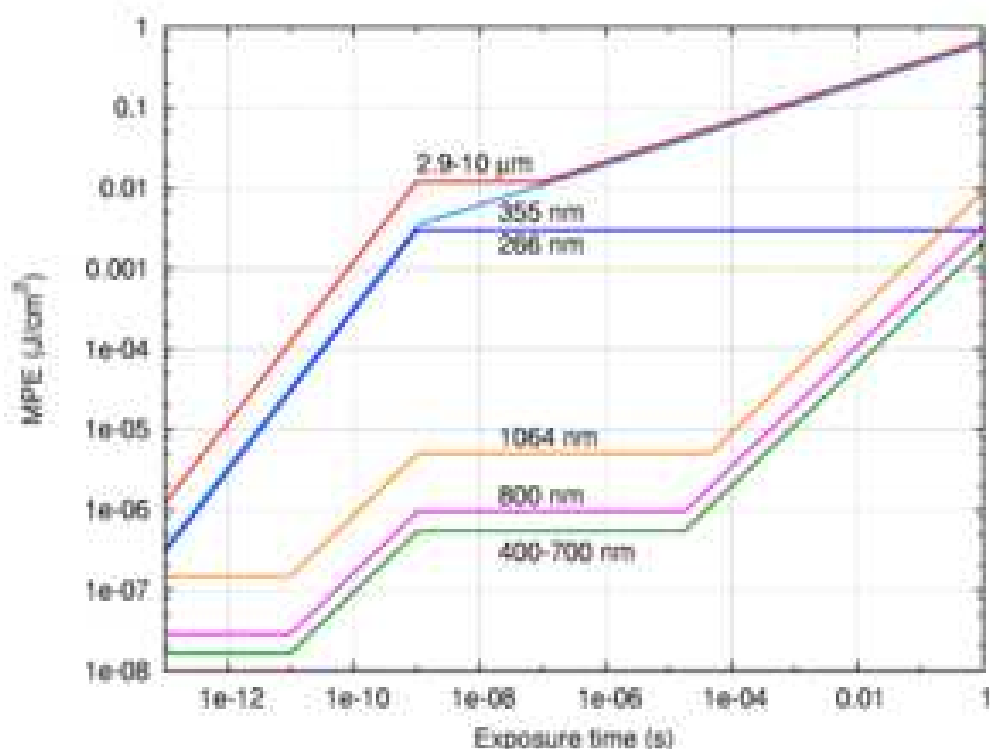
A fotogrametria é uma técnica que pode ser definida como sendo a ciência, e arte, de determinar o tamanho e a forma de objetos através análise de duas ou mais imagens bidimensionais gravadas em uma película ou em meios eletrônicos. A ciência é importante, já que a fotogrametria aplica leis da matemática e da física, além do conhecimento técnico dos objetos a serem medidos. Contudo, a componente artística não deve ser negligenciada: a capacidade de obter boas imagens é chave para o sucesso. A fotografia é um processo de projeção do mundo tridimensional (3D) em imagens planas (2D). A câmera é o dispositivo que faz esta transformação ou mapeamento de posições 3D em espaços 2D. Infelizmente, não é possível mapear completamente o mundo tridimensional a partir de uma imagem bidimensional, uma vez que sempre se perde algum tipo de informação como, por exemplo, a profundidade.

Outra técnica de medição é a realizada através de *lasers*, a qual consiste em gerar uma cortina de luz e medir a interrupção desse sinal. A geração dessa cortina se torna possível devido aos princípios da óptica e suas leis de reflexão da luz em espelhos.

A geração desse sinal luminoso se inicia com a escolha do tipo de fonte luminosa, pois de acordo com ela pode-se determinar o funcionamento correto do dispositivo. Os *lasers* são as fontes escolhidas para esse tipo de aplicação devido a

potência dissipada e o comprimento de onda. Normalmente os instrumentos utilizados para essa finalidade estão na faixa do vermelho com um comprimento de onda em torno de 650nm.

Esses dispositivos devem ser manuseados com cautela, pois um laser pode ser prejudicial à saúde das pessoas que trabalham com ele. Os efeitos de um laser ao ser humano são principalmente causados pelo calor gerado quando ele é emitido. Um laser de alta potência pode causar queimaduras graves na pele, nos olhos e até mesmo ferir uma pessoa a ponto de gerar uma lesão permanente nos membros. Nos olhos, esse equipamento pode causar um dano permanente à retina, pois um aumento de 10°C pode destruir os foto receptores, e, se o laser for potente o suficiente, esse efeito pode ocorrer com uma velocidade maior que uma piscada do olho humano. Esse efeito torna-se perigoso em equipamentos na faixa do infravermelho, pois o mecanismo de proteção do olho, piscar, só reage à luz visível. A figura 4 mostra o tempo máximo que o olho pode ficar exposto aos comprimentos de onda mais comuns em emissores laser.



(http://en.wikipedia.org/wiki/Laser_safety)

Figura 4 – Máxima exposição permitida aos raios laser segundo a IEC 60825.

Para aplicações usando *laser* existem algumas normas internacionais que devem ser consideradas, cada uma delas trata de um tipo de aplicação. Abaixo estão relacionadas às normas e seus respectivos títulos.

ANSI Z136.1 - Safe Use of Lasers

ANSI Z136.2 - Safe Use of Lasers in Optical Fiber Communication Systems Utilizing Laser Diode and LED Sources

ANSI Z136.3 - Safe Use of Lasers in Health Care Facilities

ANSI Z136.5 - Safe Use of Lasers in Educational Institutions

ANSI Z136.6 - Safe Use of Lasers Outdoors

(http://en.wikipedia.org/wiki/Laser_safety)

Figura 5 – Normas de classificação de *lasers*

Os *lasers* vêm sendo classificados por seu comprimento de onda e sua potência de saída desde os anos 70 em quatro classes: classe 1 de menor risco até classe 4 de grande risco. Até o ano de 2002 essa era a classificação desses equipamentos, com o estudo mais aprofundado a partir daquele ano foram propostas modificações e em 2007 com a revisão da norma IEC 60825 essa classificação foi um pouco modificada. Essa modificação veio para unificar a maneira como os *lasers* são tratados por todos os países e mostrando os reais perigos existentes em cada classe. Por exemplo, no *laser* usado nessa aplicação que se encontra na classe 2 com 650nm e 1mW de potência, é seguro se a exposição não for maior que um intervalo de 0.25 segundos, intervalo de uma piscada do olho humano. Para as outras classes isso muda um pouco: a classe 1 é considerada segura, na classe 3 é advertido para lidar com cuidado e na classe 4 já pode causar queimaduras e danos permanentes aos usuários do equipamento. As informações de segurança foram obtidas nos sites abaixo.

Laser Safety, disponível em:

<http://en.wikipedia.org/wiki/Laser_safety>, <<http://www.iec.ch/index.html>>

Além de uma fonte geradora um dispositivo construído com essa finalidade deve conter alguns espelhos, os quais são os responsáveis pela mudança de direção através do princípio da reflexão da luz.

Em física o fenômeno da reflexão consiste na mudança da direção de propagação da energia (desde que o ângulo de incidência não seja 0°), também no retorno da energia incidente em direção à região de onde ela é oriunda, após entrar em contato com uma superfície refletora.



A energia pode tanto estar manifestada na forma de ondas como transmitida através de partículas. Por isso, a reflexão é um fenômeno que pode se dar por um caráter eletromagnético, óptico ou sonoro.

A reflexão pode ser explicada totalmente com base em apenas duas leis, de cunho geral. Para enunciá-las, é preciso antes definir alguns conceitos.

- A normal é a semi-reta perpendicular a superfície refletora.
- Ângulo de incidência é o ângulo que a direção de deslocamento de um feixe de luz faz com a normal.
- Ângulo de reflexão é o ângulo que a direção de um feixe de luz refletida faz com a normal.

As duas leis da reflexão podem ser expressas da seguinte maneira:

- O raio incidente, a reta normal e o raio refletido são coplanares, ou seja, estão no mesmo plano.
- O ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão.

A reflexão luminosa é a base da construção e utilização dos espelhos. Os espelhos, tanto planos, como os esféricos, tem larguíssima utilização constituindo uma importante parte do processo de medição de diâmetro a *laser*.

Um espelho é uma superfície muito lisa e com alto índice de reflexão de luz. Espelhos possuem formas variadas: planos e esféricos. Olhando um espelho comum, vemos a nossa imagem com mesma forma e tamanho, mas que parece estar atrás do espelho à mesma distância em que estamos dele. Os raios que partem de um objeto, diante de um espelho plano, refletem-se no espelho e atingem nossos olhos permitindo assim a reflexão da nossa imagem. Deste modo recebemos raios luminosos que percorreram uma trajetória angular e temos a impressão de que vem de algo atrás do espelho, em linha reta, ou seja, mentalmente prolongamos os raios refletidos, em sentido contrário, para trás do espelho.

Existem diversos tipos de espelhos. Os mais utilizados são: os espelhos planos e os espelhos esféricos. Um espelho plano é uma superfície plana que produz imagens virtuais e simétricas dos objetos. Assim, a imagem dada por um espelho plano é do mesmo tamanho que o objeto, é virtual, uma vez que não se pode projetar num alvo, é direita e é simétrica, ou seja, invertida lateralmente

(enantiomorfa). A figura 6 mostra um espelho plano e também demonstra as leis da óptica.

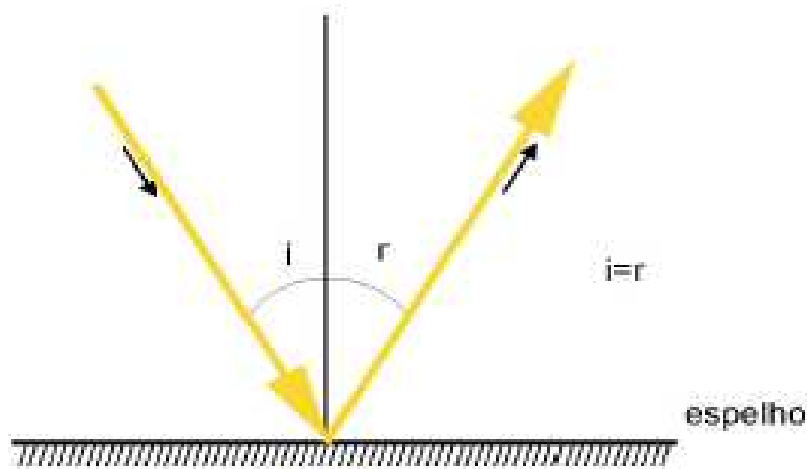


Figura 6 – Espelho plano

Espelhos esféricos resultam do corte de uma esfera em que uma de suas superfícies é espelhada, com reflexão regular (especular). Assim, surgem dois tipos de espelhos, os côncavos e os convexos. No primeiro a superfície refletora é interna, e no segundo externa. Esses espelhos obedecem às mesmas leis de reflexão da luz dos espelhos planos da óptica geométrica.

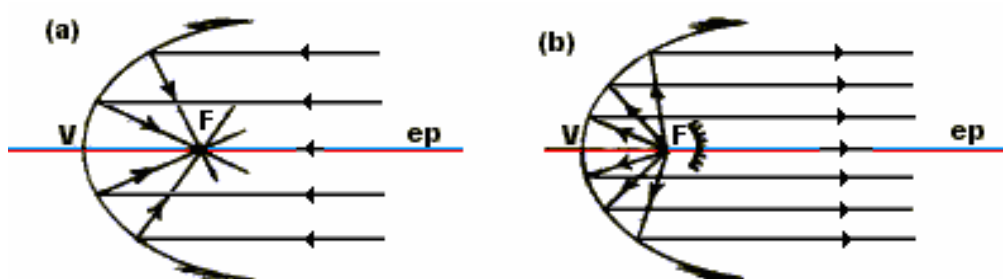
Para os espelhos côncavos pode se verificar que todos os raios luminosos que incidirem ao longo de uma direção paralela ao eixo secundário passam por (ou convergem para) um mesmo ponto focal principal do espelho (ou simplesmente foco do espelho). Para realizar o cálculo do foco é usada a fórmula a seguir, onde r é o raio da circunferência de formação do espelho côncavo.

$$F = r/2 \quad [\text{eq. 2.1}]$$

Um espelho convexo é um espelho que se caracteriza fisicamente por apresentar a sua superfície esférica externa como face refletora. Os raios de luz incidentes nesse espelho refletem de forma divergente e tem seus prolongamentos direcionados para o que se encontra no lado posterior do espelho. Assim, as imagens conjugadas por um objeto real, têm natureza virtual e seu tamanho é sempre menor em relação ao objeto sendo orientadas no mesmo sentido do objeto, portanto direitas. Devido essas características, esses espelhos têm aplicações diversas quando se deseja um grande aumento no campo visual. Podem-se citar os

espelhos retrovisores externos de veículos e motocicletas, bem como os espelhos utilizados em lojas, supermercados, farmácias entre outros.

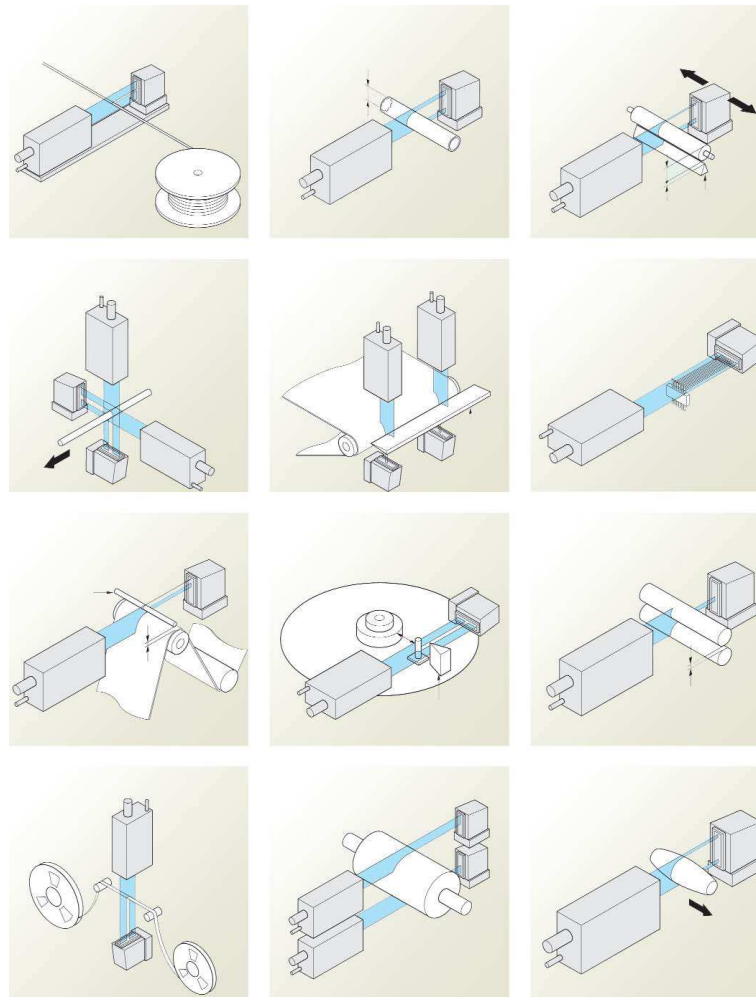
Outro tipo de espelhos utilizados nessas aplicações de medição são os espelhos parabólicos conhecidos como holofotes, os quais através de um ponto de luz conseguem refletir esses raios de forma paralela ao plano que estão inseridos. Esse tipo de superfície refletora é construído por um parabolóide de revolução e a partir dessa estrutura é possível modelar matematicamente o objeto desejado. Um exemplo claro desse tipo de dispositivo é mostrado na figura 7.



(http://www.feiradeciencias.com.br/sala09/09_OG03.asp)

Figura 7 – Espelhos parabólicos

Um exemplo prático da utilização dos espelhos são os micrômetros ópticos, os quais utilizam todas as leis mostradas acima para fazer a determinação de uma medida dimensional. Para realizar essas medidas, esses equipamentos são compostos de um motor com um espelho de algumas faces preso ao seu eixo. O motor é o responsável por fazer a varredura sobre o material e como ele gira em uma velocidade contínua é possível fazer essa medição comparando os intervalos de sombra da luz. A figura 8 mostra os tipos de aplicações desses equipamentos.



(catálogo MITUTOYO: Micrômetros de varredura a laser)

Figura 8 – Aplicações dos micrômetros a *laser*.

Essas são apenas algumas maneiras de realizar um ensaio dimensional. Devido a importância desse tipo de teste para determinação da qualidade de um produto, a cada dia as técnicas evoluem tornando-se mais precisas e de fácil utilização. Ter uma medição precisa pode inclusive ajudar na certificação de uma empresa ou um processo na área de qualidade, por exemplo, um certificado ISO 9000.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Descrição Geral do Sistema

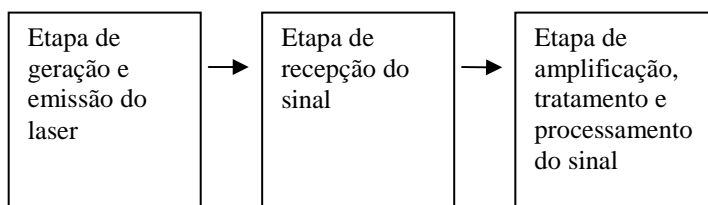
O sistema desenvolvido visa atender a necessidade de algumas empresas, as quais devem medir o diâmetro dos seus produtos sem que haja uma interrupção no processo produtivo. Para tal medição serão utilizados, um *laser* e um jogo óptico de espelhos tal que a medida seja realizada com precisão. Para que o sistema óptico fique estável deverá ser fabricada uma estrutura metálica que servirá de base para todo o sistema.

O equipamento será composto de três etapas:

- Geração e emissão do laser;
- Recepção;
- Amplificação, tratamento e processamento do sinal;

O sistema será detalhado nesse capítulo, sendo cada uma das etapas mostradas individualmente, possibilitando assim um melhor entendimento do projeto.

Segue abaixo um diagrama de blocos do sistema.



3.2. Descrição dos Sistemas Mecânicos

Para realizar o tipo de medição proposta, tornou-se necessária a confecção de uma estrutura mecânica que serve de base para o conjunto óptico. Essa estrutura consiste em uma chapa de aço com as seguintes dimensões: 1,25m por 0,25m por 1/4 de polegada. Sobre essa base está fixada uma outra chapa de dimensões menores, porém com todos os furos e rasgos para fixação dos espelhos e equipamentos do transmissor. Também nessa base são fixados o espelho, o suporte e a cobertura do receptor.

A figura 9 mostra a estrutura montada.

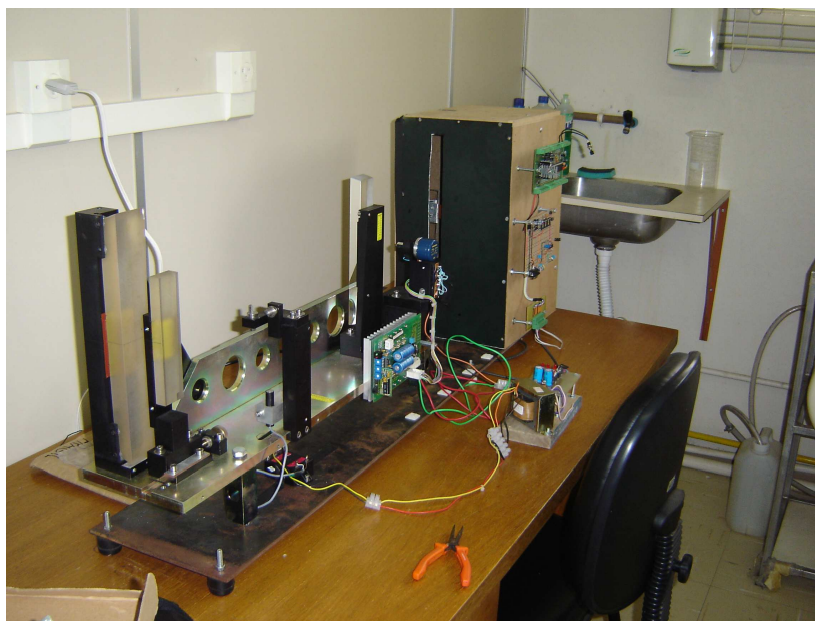


Figura 9 – Visão geral do protótipo

A chapa de base é uma das peças mais críticas da fabricação desse equipamento, pois qualquer furação errada torna muito difícil o alinhamento do conjunto óptico fazendo com que não se consiga medir o material desejado.

Devido ao sistema de medição estar baseado na luz foi necessário à fabricação de uma cobertura para a parte de recepção, a qual ficará em uma câmara escura com somente um rasgo para a passagem do *laser*. A figura 10 mostra a estrutura do receptor e sua câmara escura.

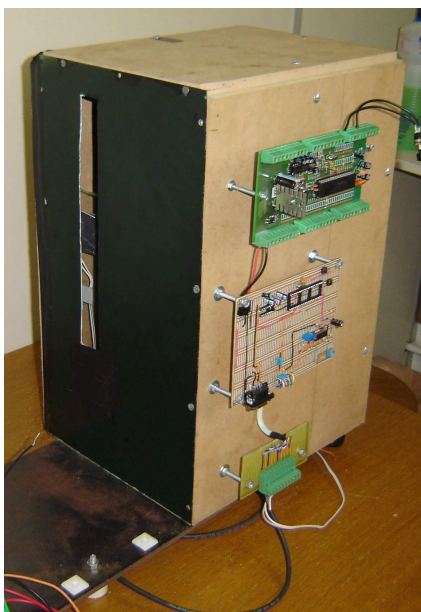


Figura 10 – Estrutura do receptor e câmara escura.

3.3. Etapa de geração e emissão de laser

Essa etapa do projeto consiste em criar um feixe de *laser* de 300 mm. Para tal foi utilizado um *laser point*, que faz o papel de gerador de luz e um jogo de espelhos dispostos de uma maneira tal que esse ponto luminoso se torne um feixe.

O jogo de espelhos inicia com dois pequenos espelhos retos que modificam a direção do raio luminoso para que ele chegue à próxima parte da óptica, essa parte é composta por um motor com um espelho de oito faces preso ao seu eixo. Nessa parte do jogo óptico o laser é aberto criando uma larga varredura no próximo espelho em um determinado tempo. Essa varredura é limitada pelo tamanho do terceiro componente da unidade óptica do projeto, tal componente consiste em um espelho reto de 160 mm de altura que reflete a luz, com um ângulo de reflexão de $3,12^\circ$, a outro espelho reto de 250 mm de altura. Essa luz é refletida para o último componente do sistema óptico do emissor chegando até ele com um ângulo de incidência de $4,93^\circ$ e essa etapa é formada por um espelho côncavo com 300 mm de altura, distância focal de 1407mm, raio 2814mm o qual é o responsável por tornar a luz gerada e refletida em uma cortina de luz de 300 mm de altura. Essa cortina de luz torna-se possível devido às leis da óptica e as relações dos espelhos côncavos mostradas no capítulo anterior. Os cálculos das distâncias e dos ângulos são mostrados na próxima página:



A fórmula de Pitágoras para os triângulos retângulos foi usada para obtenção do raio de curvatura do espelho côncavo e obtenção dos ângulos de incidência da luz.

$$R = \sqrt{A^2 + B^2} \quad [\text{eq. 3.1}]$$

$$R = \sqrt{150^2 + (R - 4)^2}$$

$$R^2 = 22500 + R^2 - 2 * 4 * R + 16$$

$$R = 22516 / 8$$

$$R = 2814 \text{ mm}$$

$$F = R/2 \quad [\text{eq. 3.2}]$$

$$F = 1407 \text{ mm}$$

$$F = 1407 \text{ mm}$$

$$\alpha = \text{cat}_{op} / \text{hip} \quad [\text{eq. 3.3}]$$

$$\text{seno } \alpha = 40 / 465$$

$$\alpha = 4,93^\circ$$

$$\text{seno } \alpha = 30 / 550$$

$$\alpha = 3,12^\circ$$

As figuras 11 a 16 mostram o transmissor, cada espelho usado nele e um desenho mostrando o comportamento da luz em cada estágio.

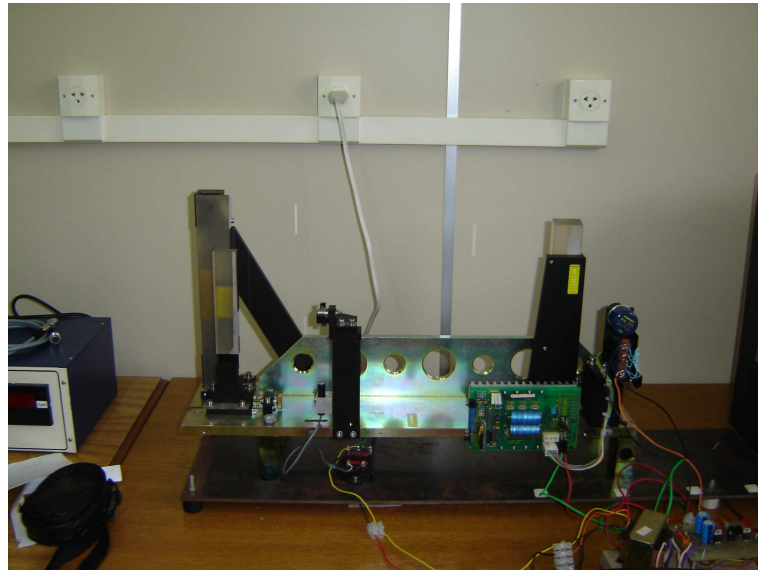


Figura 11 – Visão geral do emissor

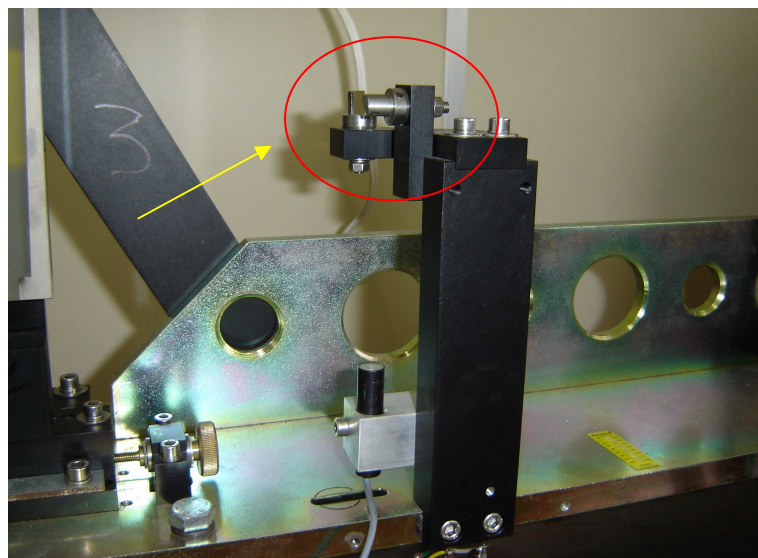


Figura 12 – Espelhos da primeira etapa

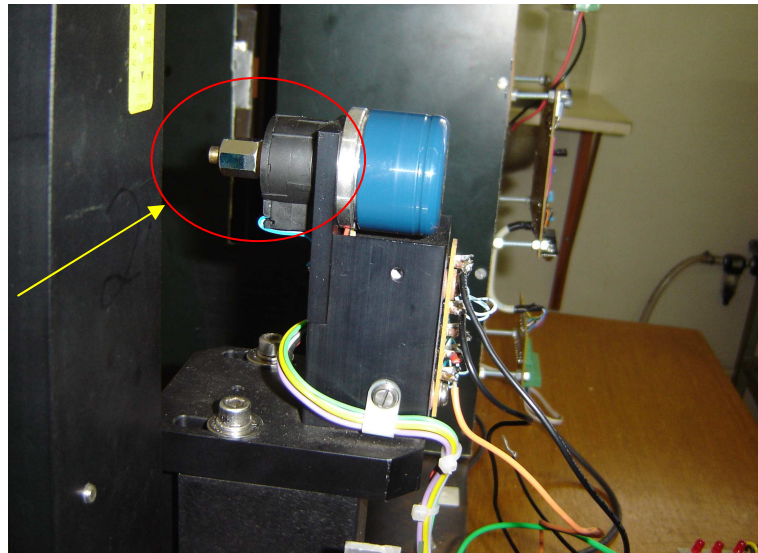


Figura 13 – Espelho acoplado ao eixo do motor

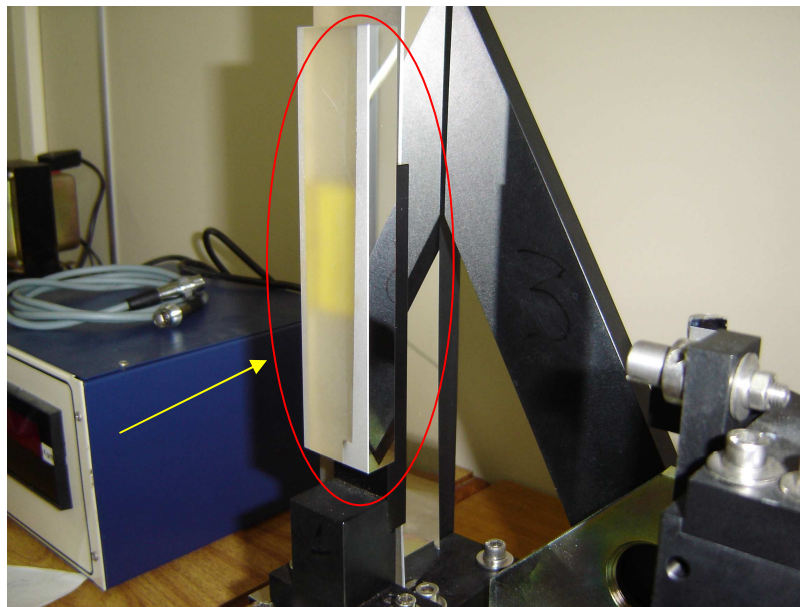


Figura 14 – Primeiro espelho reto

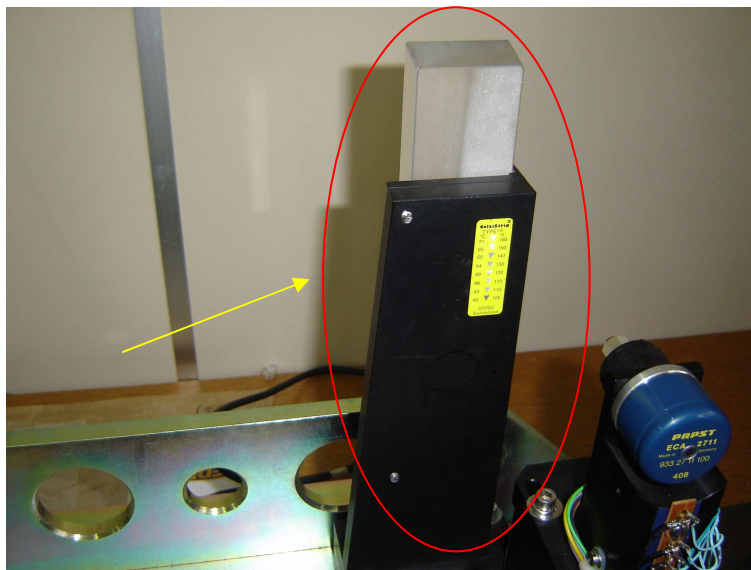


Figura 15 – Segundo espelho reto

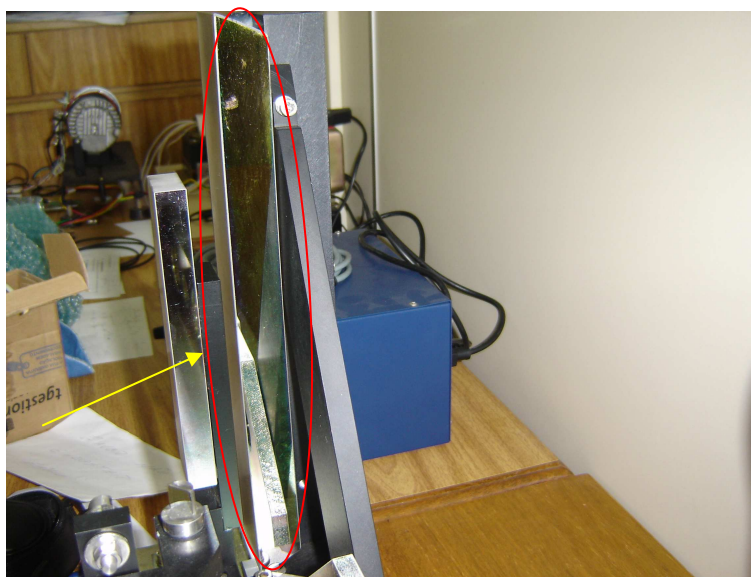


Figura 16 – Último espelho da etapa de transmissão

3.4. Etapa de Recepção

Depois de formada, a cortina de luz passa por um espaço vazio, local onde será inserido o material a ser medido, e entra na estrutura do receptor. Essa estrutura é formada de uma câmara escura, um espelho parabólico de 300 mm de altura com raio 470 mm e um fotodiodo NSL 802.

A cortina de luz passa pelo rasgo da chapa de entrada da câmara escura chega ao espelho que reflete e converge todos os raios para o fotodiodo. O fotodiodo é o componente responsável por transformar essa energia luminosa em energia elétrica e envia-la para os estágios seguintes.

As figuras 17 a 20 mostram a construção e como acontece a entrada e a reflexão do sinal luminoso dentro da câmara escura.



Figura 17 – Visão geral do receptor

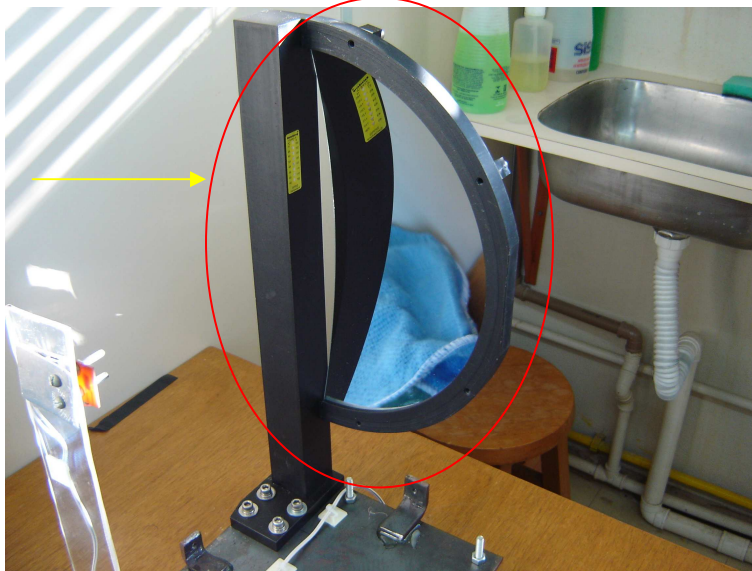


Figura 18 – Espelho do receptor

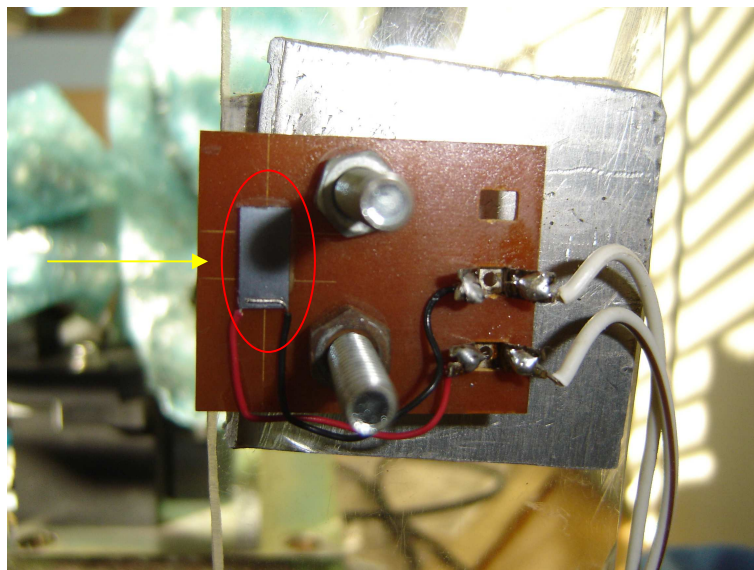


Figura 19 – Fotodiodo usado no receptor

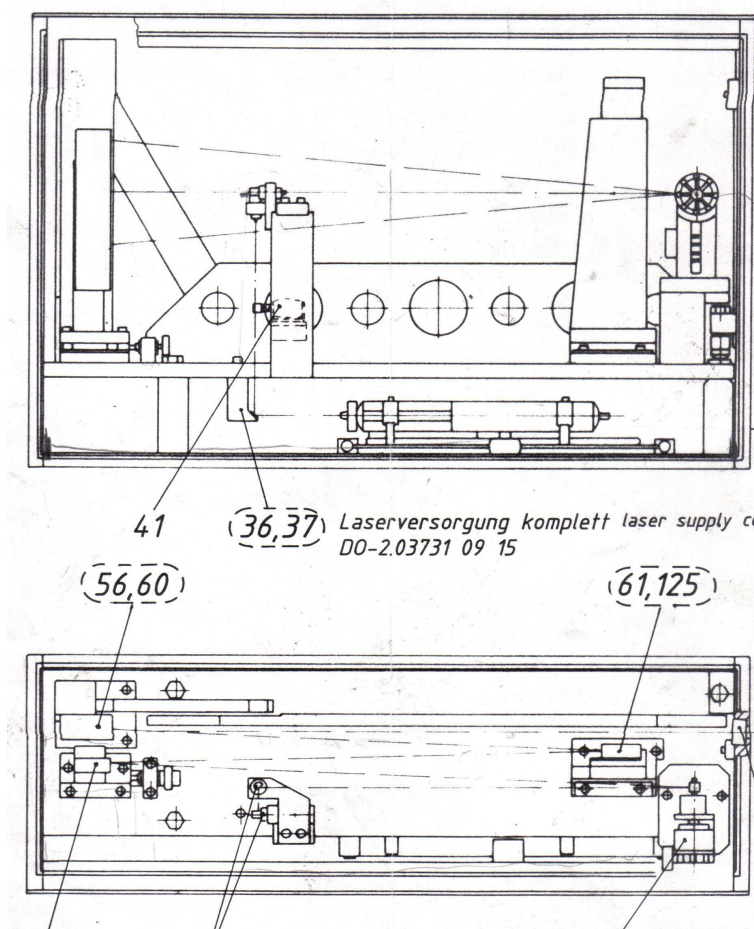


Figura 20 – Desenho do transmissor



3.5. Etapa de amplificação, tratamento e processamento do sinal

3.5.1 Hardware

Após a luz ser tratada nas etapas de transmissão e recepção, o sinal já transformado em sinal elétrico pelo fotodiodo, entra no próximo estágio do protótipo. Essa etapa é onde o sinal será amplificado e tratado de maneira a ser enviado para o microcontrolador com o mesmo nível de tensão, 5V.

Em um primeiro momento esse sinal, que tem um nível de aproximadamente 200mV, entra em um amplificador com controle de nível onde o sinal é condicionado. Esse condicionador é ajustado para realizar uma detecção rápida das transições no fotodiodo. Para tal condicionador foi usado o amplificador LM 318, amplificador que tem uma resposta de 15MHz de banda para pequenos sinais e um *slew rate* de 50V/us.

Para a etapa de realimentação do amplificador que consiste em um controle de nível foi utilizado um TL084. Essa etapa do condicionamento do sinal foi montada conforme diagrama mostrado na figura 21 e com ele foi possível o ajuste de ganho do sinal, chegando a mais de 6V na saída. Na mesma figura é mostrada a próxima etapa onde o sinal é tratado. Esta consiste em passar o sinal já amplificado até um nível mais alto que a tensão do microcontrolador por um comparador de tensão. Essa tensão é comparada através de um LM 361, o qual é um circuito integrado de comparação diferencial de alta velocidade. Nessa parte do condicionador o sinal é invertido e ganha o formato de uma onda quadrada com transições de nível abruptas. Devido a sua saída TTL esse componente é ideal para essa aplicação, pois com ele é possível garantir um sinal com 5V na saída. Foi necessário o uso de componentes de alta performance, pois o sinal amostrado tem um período de 500ms e a parte em nível alto com período de 500us. Como o sinal a ser medido é uma parcela da parte alta dessa onda, o período será menor ainda, um exemplo disso é a medida para um sinal de 27mm o qual será uma amostra de 44us. Os *datasheets* dos componentes utilizados se encontram em anexo nesse trabalho.

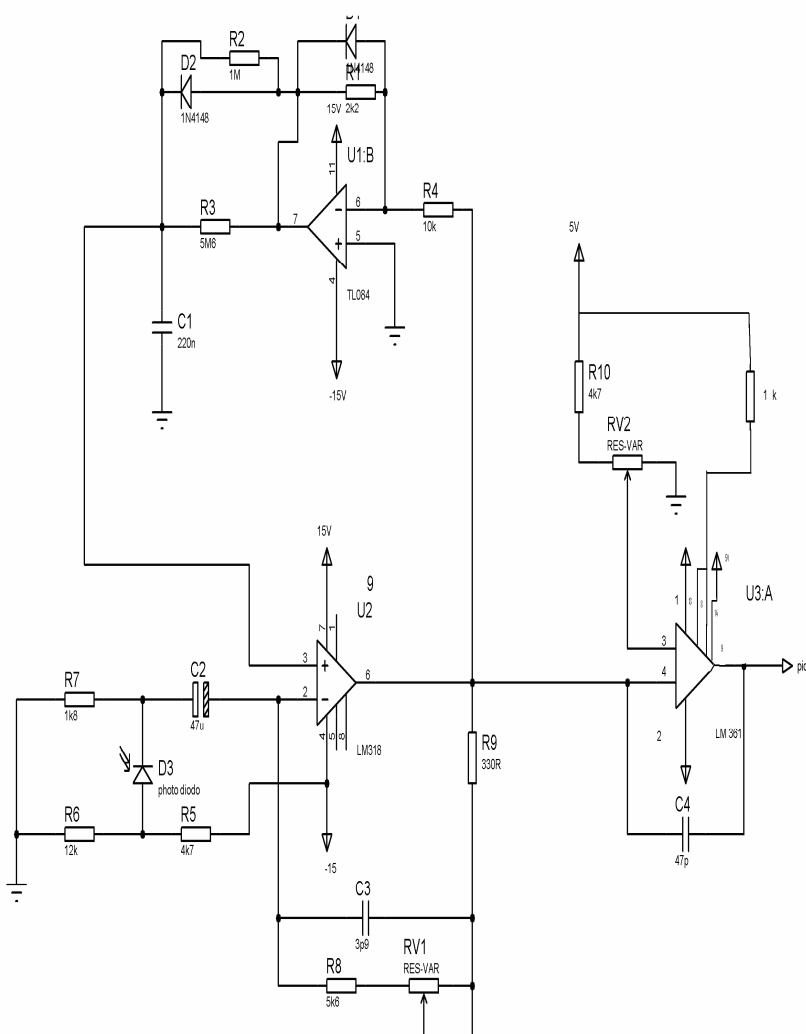


Figura 21 – Diagrama elétrico do circuito de amplificação

A próxima etapa do trabalho consiste na interligação entre a parte de amplificação com a o microcontrolador, para tal foi usado um PIC 16F877A montado no kit de programação. Esse kit consiste de uma placa de circuito impresso com o microcontrolador e sua parte serial montada através de um MAX 232 o qual faz o papel de igualar os níveis de tensão entre o sinal enviado do controlador (5V) e os níveis necessários da porta serial do microcomputador.



O PIC utilizado é da família de microcontroladores fabricados pela Microchip Technology, que processam dados de 8 bits com extensa variedade de modelos e periféricos internos.

O 16F877A dispõe de diversas características, algumas delas estão citadas abaixo:

- Microcontrolador RISC de 40 pinos, o que possibilita a montagem de um hardware complexo e capaz de interagir com diversos recursos e funções ao mesmo tempo;

- Reduzido conjunto de Instruções (35 instruções de 14 bits);

- 14 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 E2PROM FLASH, que permite a multigravação rápida do programa no mesmo chip, sem a necessidade de apagá-lo por meio de luz ultravioleta, comum nos microcontroladores de janela;

- Memória de programa com 8Kword, com capacidade de escrita pelo próprio código interno;

- Memória E2PROM (não-volátil) interna com 256 bytes;

- Memória RAM com 386 bytes;

- 2 temporizadores de oito bits programáveis, com pré-divisor também programável de oito bits;

- 1 temporizador de 16 bits;

- Frequência de operação até 20MHz;

- Comunicação serial: SPI, I2C e USART;

- 8 conversores analógicos de 10 bits e 2 comparadores analógicos;

- 2 módulos 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 6 Volts, com consumo de corrente típico em torno de 2mA;

- Power-on Reset (interno)

A figura 22 mostra a configuração usada no kit de programação do trabalho.

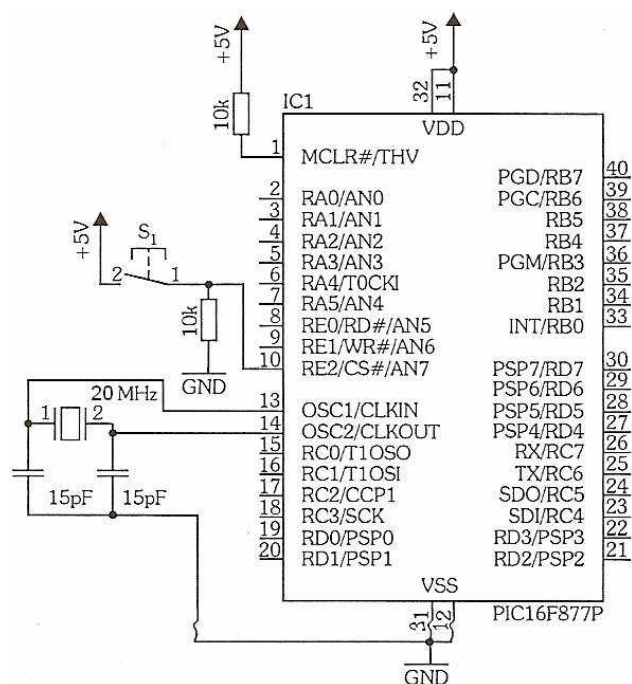


Figura 22 – Configuração do PIC usada no Kit

Para um melhor funcionamento do kit de programação, a placa ainda dispõe de alguns capacitores de desacoplamento. O sinal oriundo da saída do amplificador é ligado nos pinos 16 e 17 (CCP1 e CCP2), também foi conectado o pino 33 (INT). Para proteção do PIC foram adicionados dois diodos Zener de 4,7V conectados aos pinos 16 e 17 com o intuito de não deixar com que a tensão sobre os pinos ultrapasse um limite próximo aos 5V. As figuras 23 e 24 mostram a placa do kit de programação, seu circuito elétrico e os recursos software utilizados para execução da medida estão descritos a seguir no próximo item.

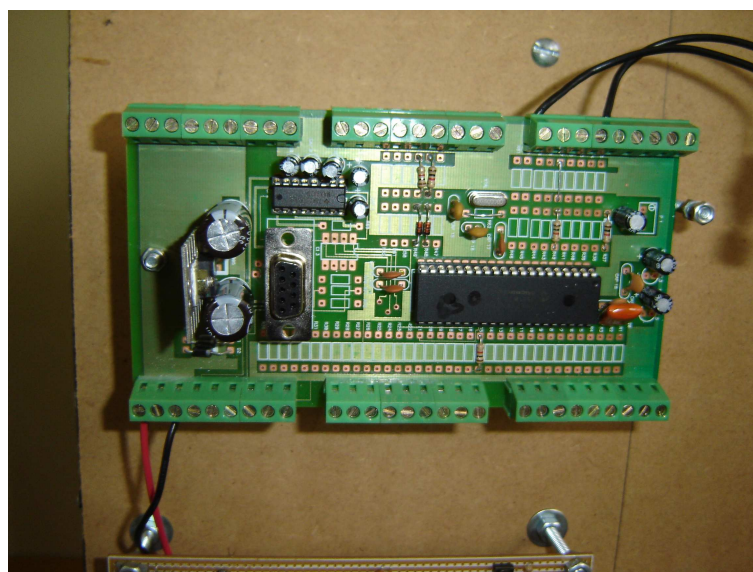


Figura 23 – Placa do kit de programação

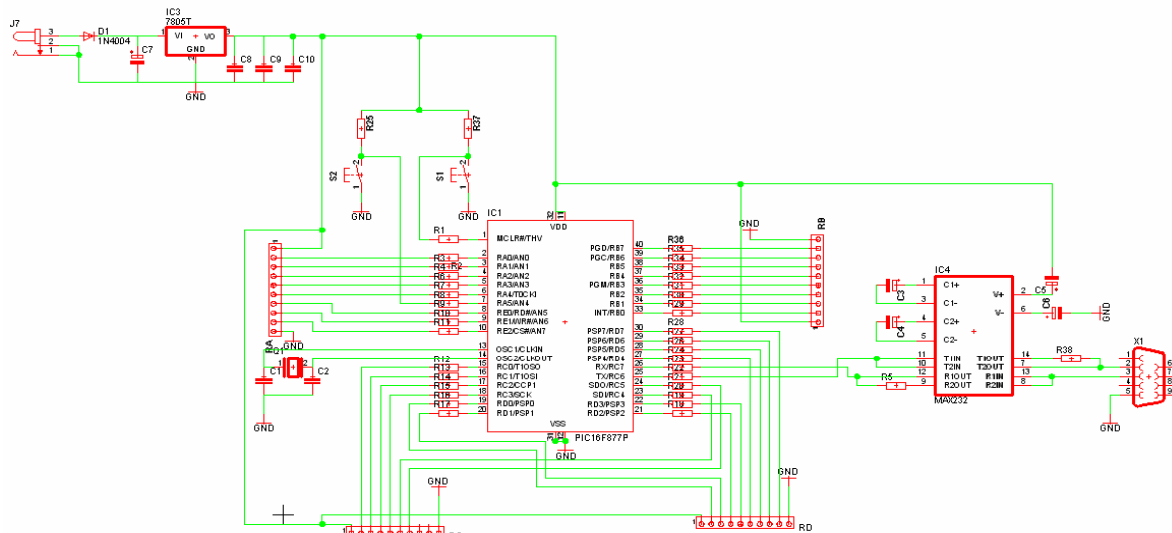


Figura 24 – Esquema elétrico do kit de programação

Para a comunicação serial RS232 o kit de programação utiliza o componente MAX 232, o qual inclui um circuito de *charge pump* capaz de gerar tensões de +10 volts e -10 volts a partir de uma fonte de alimentação simples de +5 volts, bastando para isso alguns capacitores externos. Sua configuração pode ser observada na figura 25.

A utilização deste CI deve-se ao fato de os níveis de tensão de operação da porta serial do computador e do microprocessador PIC serem diferentes. Assim, o MAX232 faz a compatibilização desses níveis de tensão.

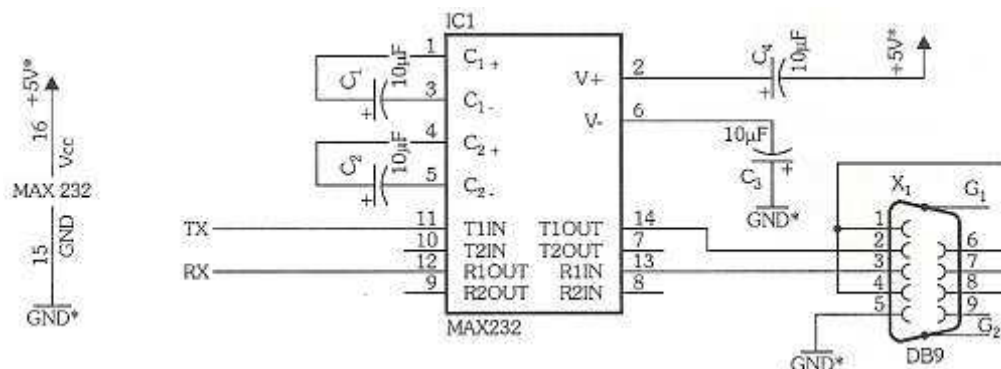


Figura 25 – Configuração do MAX 232

3.5.2 Software

O sistema foi idealizado de maneira a utilizar os recursos de *timers* e *counters* do dispositivo, para tal foi desenvolvido todo em linguagem C utilizando os



compiladores CCS e MPLAB. Para o desenvolvimento da aplicação foi utilizado um *clock* de 20 MHz, o qual é dado através de um cristal instalado no kit de programação do controlador. O sistema usa também os recursos de comunicação serial com um computador, as interrupções dos pinos CCP1 e CCP2. Essas interrupções são via *hardware*, ou seja, no momento que o nível lógico do pino se altera a interrupção acontece independente de que parte do software está sendo executada.

Para que a medição seja realizada o sinal enviado para o controlador deve ser comparado com um padrão conhecido, pois devido a lógica desenvolvida o software deve calcular o tempo que o sinal permanece em nível alto dentro do período válido. O padrão conhecido consiste em um cano de PVC de $\frac{3}{4}$ de polegada (27mm), um de 20mm, um de 80mm e o tempo válido de medida é obtido via *software*. Esse tempo de medida deve ser obtido, pois como a interrupção usada é um recurso de hardware ela acontece em todas as transições de sinal. Para que a medida fosse feita na posição correta, as medidas com contagens muito grandes foram descartadas. A figura 26 mostra o fluxograma do *software*.

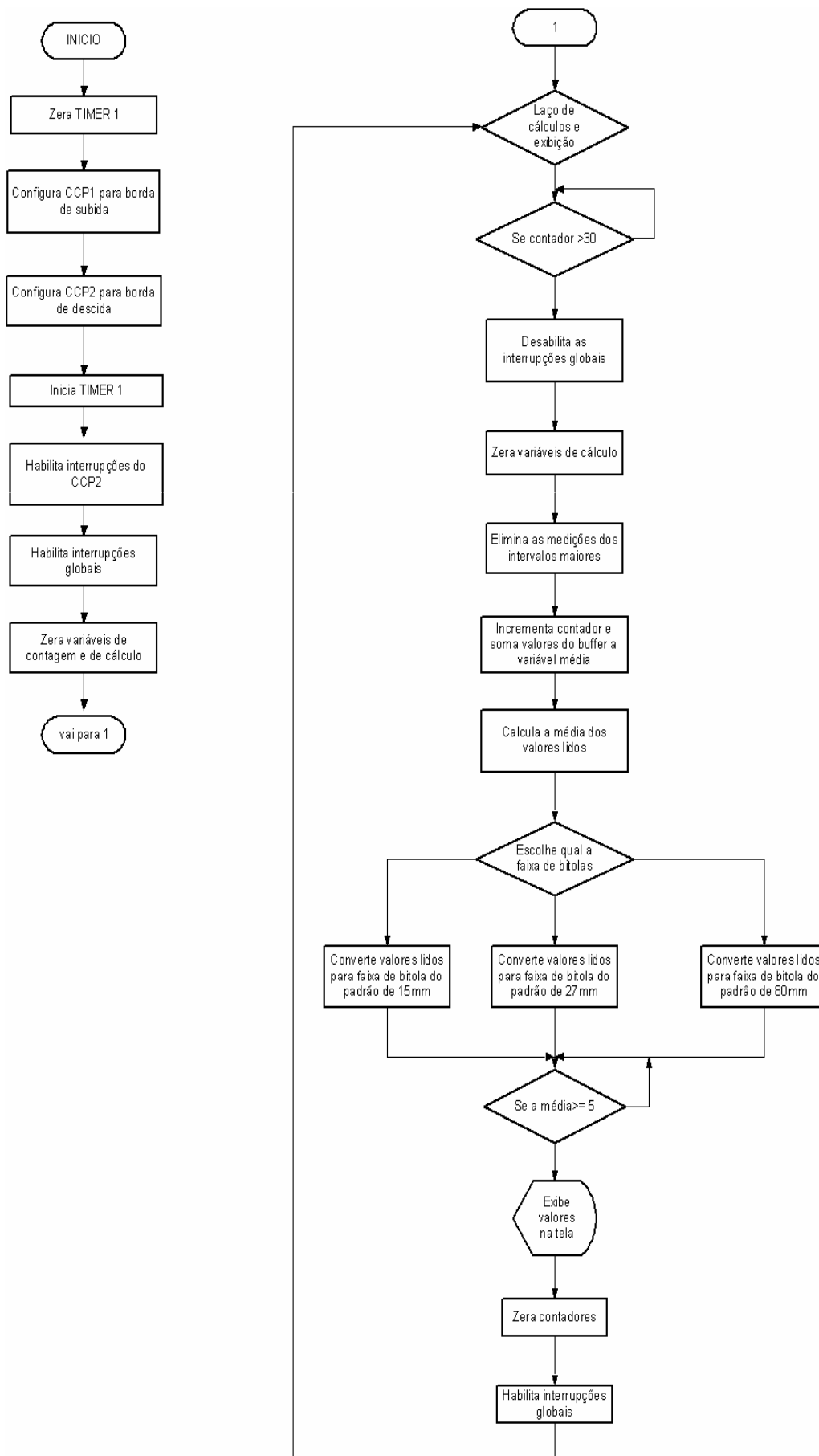


Figura 26 – Fluxograma do software

O apêndice A mostra o *software* com os comentários de cada parte da rotina desenvolvida.

A figura 27 mostra o fluxograma da interrupção.

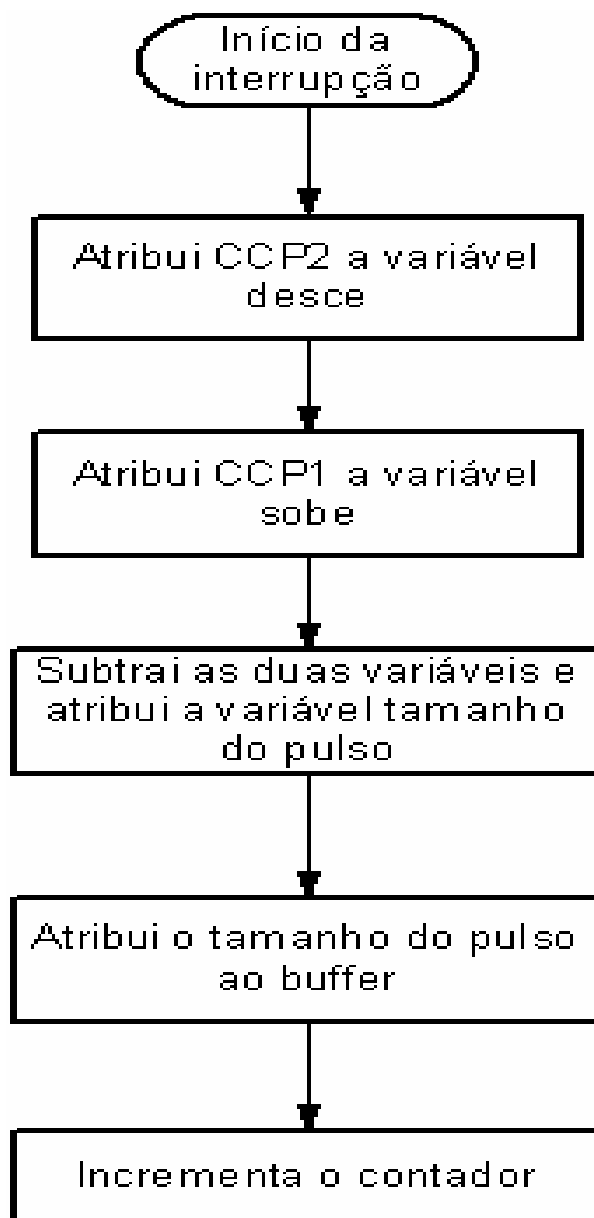


Figura 27 – Fluxograma da rotina de interrupção



4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Para que uma máquina de testes não destrutivos entre em linha de produção, ela deve passar por diversos ensaios provando que está apta para ser comercializada. Com a finalidade de chegar o mais próximo possível de um protótipo pronto para servir de base de produção, foram realizados alguns testes no referido projeto.

Tais ensaios iniciaram com a avaliação do sistema de fixação da parte óptica e eletrônica. Os testes foram bons, com alguns problemas devido a base da estrutura ter sido fabricada de um aço 1080, qualidade muito dura de difícil furação. A não precisão dos furos foi contornada com a abertura de rasgos na chapa, possibilitando assim uma flexibilidade nos movimentos com a estrutura para se alcançar um bom alinhamento.

Foram realizados também verificações de alinhamento e posicionamento da cortina luminosa no sensor do receptor. Observaram-se algumas diferenças no sinal quando se variava a posição da luz no corpo do sensor. Essa variação foi constatada nos dois eixos, na vertical, se a estrutura do receptor for movimentada para frente ou para trás, o sensor sai da distância focal do espelho do receptor fazendo com que não se consiga uma medida. Na horizontal, ocorrem pequenas variações na resposta do fotodiodo, levando essa diferença para etapa de amplificação.

A próxima avaliação foi a tentativa de identificar interferências luminosas externas, fazendo experimentos com cortinas abertas, fechadas, luzes acesas e apagadas. Foi visto que o receptor é muito sensível a interferências, sejam externas ou internas. Desenvolveu-se então uma cobertura de madeira para a parte de recepção do projeto.

A avaliação de qualidade do sinal no circuito de amplificação ocorreu a seguir. Mediram-se os níveis de tensão e forma de onda nos pontos principais da placa. Devido as variações observadas na resposta do fotodiodo, a forma de onda da

saída do amplificador teve que ser ajustada e passada por um comparador. Para identificação da origem dessa variação foi visualizado o feixe luminoso em todas as etapas da óptica colocando anteparos na direção de emissão do *laser*. Concluiu-se que o motor com o espelho de oito faces preso ao eixo foi o causador dessa variação.

Esse era um dos grandes riscos do desenvolvimento do projeto, pois toda a parte óptica foi retirada de uma máquina desativada, não tendo a possibilidade de substituição de peças ou por não existirem ou por terem um custo e um prazo de entrega muito alto. Esse foi o problema mais significativo encontrado na fabricação do protótipo, o qual quase inviabilizou o projeto. Outro ponto importante na realização desse tipo de projeto é a limpeza do conjunto óptico, pois qualquer sujeira pode trazer uma medição fora de especificação. A forma encontrada para tentar solucionar esse problema foi fazer o ajuste da óptica no ponto de menor variação, a passagem do sinal depois de amplificado por um comparador e ajustes de *software*. A figura 28 mostra o sinal com uma barra inserida para medição e pode-se visualizar uma amostra em condições de ser medida.

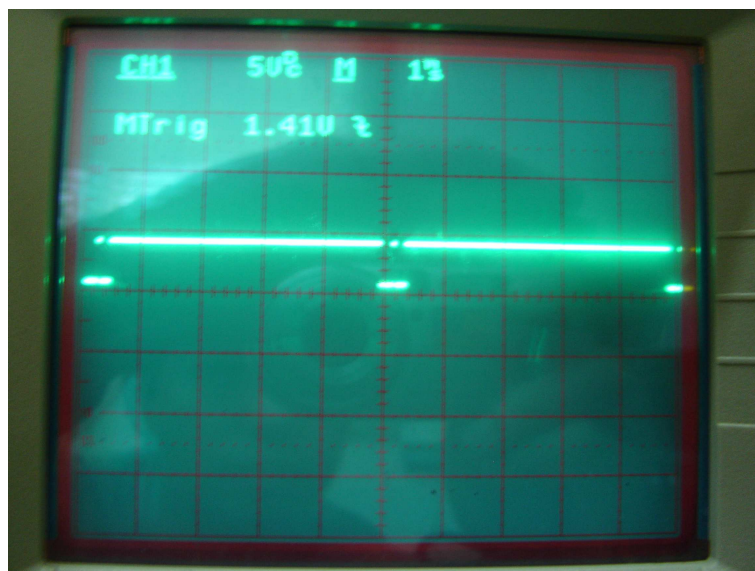


Figura 28 – Sinal após o comparador sendo interrompido por uma barra

Com o intuito de uma medição mais precisa, foi verificado que ela deveria estar em uma posição que ficasse centralizada na área válida de medida. Com isso foi necessária a confecção de um suporte para que o material sempre esteja dentro de um período válido do sinal. A figura 29 mostra os suportes confeccionados para o projeto.



Figura 29 – Suporte do material

Para que a máquina esteja sempre aferida foi necessária a colocação de duas chaves para fazer o ajuste de bitolas a serem medidas. Comutando essas chaves é possível modificar o coeficiente de conversão para cada bitola, conseguindo com isso um bom resultado na medição de barras de 15 a 80mm. Foram medidos quatro padrões: 15 mm, 20 mm, 27 mm e 80 mm. A figura 30 mostra a foto dos padrões usados.



Figura 30 – Padrões usados para aferição do equipamento

A melhor visualização dos resultados, pois a velocidade de atualização na tela do *hyper* terminal estava configurada para 115200 Bps e a frequência da parte



alta do sinal é de 2kHz, aconteceu criando-se um *buffer* para realizar o armazenamento das últimas trinta medidas e com isso realizar um cálculo de média. Os resultados das medições com cada padrão e seus respectivos erros são mostrados na tabela abaixo.

Padrão (mm)	Medida mínima (mm)	Medida máxima (mm)	Medida com paquímetro (mm)	Erro (mm)
15	14,32	15,53	14,96	+/- 0,7
20	19,42	20,54	20,06	+/- 0,7
27	27,04	27,98	27,06	+/- 1,0
80	80,11	81,19	80,22	+/- 1,0

Tabela 1 – Tabela de resultados das medições

A figura 31 mostra o equipamento em operação.

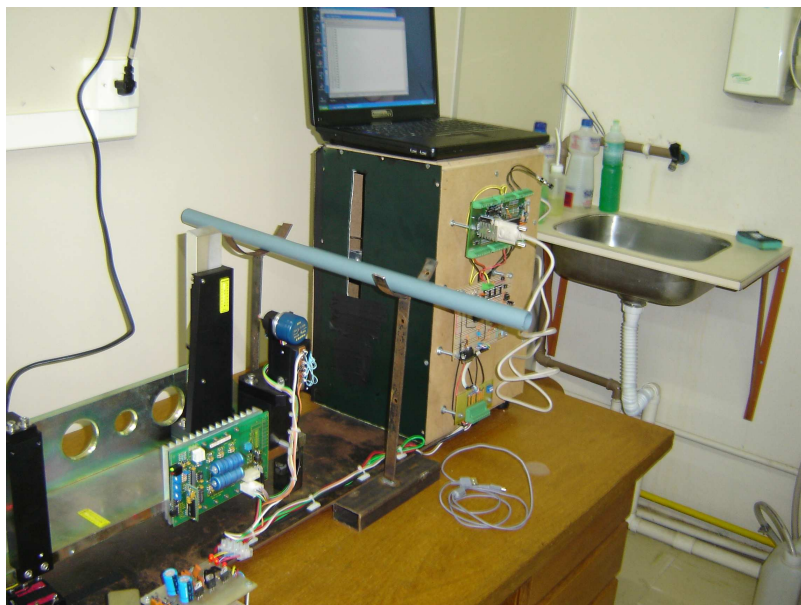


Figura 31 – Equipamento em operação



5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1. Conclusão

Este projeto teve um alto grau de dificuldade desde o início, pois a maior parte dos materiais veio de uma máquina desativada, não tendo a certeza de que a óptica iria funcionar corretamente. Essa incerteza acabou virando uma constatação no final do trabalho quando foi descoberto o empenamento do eixo do motor, o que quase inviabilizou o término do mesmo. Outra grande dificuldade foi a regulação dos amplificadores que tiveram pouca margem de ajuste, o que acabou causando diversos atrasos no tempo de montagem e execução das etapas do projeto.

Contudo os objetivos do trabalho foram alcançados, em relação a realizar medição sem que ocorra uma parada, não foram observados problemas quanto a esse item desde que o material seja inserido em uma posição que não comprometa a qualidade do sinal luminoso. Com isso também seria possível a liberação de um operador para realizar algum outro serviço não tendo que estar o tempo todo medindo a dimensão das peças produzidas. No quesito exatidão, o projeto chegou próximo a medida executada por máquinas consolidadas no mercado, esse fato ocorreu devido a algumas dificuldades da parte óptica do sistema. Mesmo assim foi conseguido um erro máximo de +/- 1mm para barras acima de 25mm de diâmetro, o que pode ser considerado um excelente resultado para uma primeira aproximação.

A meta proposta foi alcançada, ficando de sugestão de melhorias para trabalhos futuros os itens abaixo:

- Manutenção do motor com o espelho preso ao seu eixo com a finalidade de lubrificação dos rolamentos e retirada do empenamento do eixo.
- Melhorar a qualidade do sinal luminoso.
- Criar uma cobertura para parte de transmissão com o intuito de eliminar interferências luminosas externas e diminuir sujeiras que possam ficar presas aos espelhos.



- Fixar lentes com mesmo ângulo de refração nas janelas de entrada e saída da luz para que o sinal seja mais concentrado e não tenha dispersão.
- Trabalhar na parte de amplificação com a finalidade de melhorar os ajustes, tendo uma maior capacidade de tratar o sinal oriundo do fotodiodo.



6. REFERÊNCIAS

Iirwin, J. David – Análise de Circuitos em Engenharia - 4a. Ed. – São Paulo:Pearson Makron Books, 2000

Sedra, Adel S.: Smith, Kenneth - Microeletrônica - 4a. Ed. – São Paulo: Pearson Makron Books, 2000

Tipler, Paul A.- Tipler / 2 Física - 2a. Ed. – Rio de Janeiro:Guanabara Dois S.A., 1984

Halliday, David; Resnick, Robert – Física - 1a. Ed. – Rio de Janeiro:Ao Livro Técnico S.A., 1972

Stout, David F. – Handbook of Operational Amplifier Circuit Desing – New York:McGraw-Hill Book Company

Graeme, Jerald – Photodiode Amplifiers OP Amp Solutions – Gain Technology

<http://www.phys.ufl.edu/~phy3054/light/mirror/raydiag/Welcome.html>

<http://www.phy.ntnu.edu.tw/java/index.html>

<http://br.geocities.com/saladefisica>

http://www.feiradeciencias.com.br/sala09/09_OG03.asp

Microchip – Data Sheet 16F877X - 2001



OBRAS CONSULTADAS

Maneira, Manuel – Óptica Aplicada - Lisboa:Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2009

EBMPAPST – ECA Motors - Alemanha: EBMPAPST

National Semiconductor – Photodiode Amplifiers Changing Light to Energy

Lima, Clídio Gonçalves – Um estudo compaativo de sistemas de medição aplicáveis ao controle dimensional de superfícies livres em peças de médio e grande porte - Florianópolis:Universidade Federal de Santa Catarina, 2006

Mitutoyo America Corporation. Site disponível em:
<<http://www.mitutoyo.com>>.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 14253-1, Geometrical Product Specifications (GPS) – Inspection by measurement of workpieces and measuring equipment – Part 1: Decision rules for proving conformance or non-conformance with specifications, 1998.



APÊNDICE A – SOFTWARE DO MICROCONTROLADOR



```
#include "C:\Documents and Settings\Fábio\Desktop\software TCC\medtest.h"
#include <math.h>
int16 sobe,desce, tamanho_pulso;// declaração de variáveis inteiras de 16 bits
float converte, media=0;// declaração de variáveis de ponto flutuante
int8 contador, i, j;//declaração de variáveis inteiras
int16 buffer[40], teste;//declaração de variáveis inteiras 16 bits
//char teste2;

#int_ccp2
void isr();// rotina de interrupção do CCP2
{
//if (contador==16) contador =0;// zera contador
output_high(pin_b1);// força nível alto no pino B1 para mostrar quando a rotina fi chamada
desce = CCP_2;// Atribui o CCP2 a variável desce
sobe = CCP_1;// Atribui o CCP1 a variável sobe
tamanho_pulso = desce - sobe ; // calcula o tempo em que o pulso está em nível alto
buffer[contador] = (tamanho_pulso);// atribui o resultado do cálculo a variável tempo1
++contador;// incrementa o contador
output_low(pin_b1);// força o nível zero no pino B1 mostrando o final da interrupção
}

void main()
{
set_timer1 (0);// zera o timer1
setup_ccp1(CCP_CAPTURE_RE); // Configura CCP1 para capturar a borda de subida
setup_ccp2(CCP_CAPTURE_FE); // Configura CCP2 para capturar a borda de descida
setup_timer_1(T1_INTERNAL); // inicia o timer 1
enable_interrupts(INT_CCP2); // habilita a interrupção do CCP2
enable_interrupts(GLOBAL); // habilita as interrupção globais
tamanho_pulso=0; // zera a variável tamanho do pulso
converte =0;// zera a variável converte
contador=0;

while(TRUE) {

if (contador>30)// inicia lógica abaixo se o contador for igual a quatro
{
disable_interrupts(GLOBAL); //desabilita interrupções
media = 0; // zera a variável média
j=0;// zera a variável de contagem j
for( i=10; i<30; i++)// laço para retirar contagens que acontecem na parte errada do sinal
{
if(buffer[i]<1000)// descarta medições erradas
{
j++;// incrementa contador
teste=buffer[i];
media=media+buffer[i];// soma média com o valor do buffer
}
}
media=media/j;//calcula media dos valores medidos
if (!input(pin_b2) && !input(pin_b4))//condição de escolha de bitola
{
converte = (media*27)/230;// converte para milímetro o sinal medido
}
if (!input(pin_b2) && input (pin_b4))//condição de escolha de bitola
{
converte = (media*15)/113;// converte para milímetro o sinal medido (barras pequenas)
}
}
}
```



```
if (input (pin_b2) && input (pin_b4))//condição de escolha de bitola
{
converte = (media*50)/495;// converte para milímetro o sinal medido (barras grandes)
}
if (converte>=5)// condição para eliminar sujeiras
{
delay_ms (1000);// tempo para exibir na tela
printf("%f mm \r\n ", converte);// exibe no hyper terminal a variável converte
}
contador=0;// zera contador
enable_interrupts(GLOBAL);// habilita interrupções
}
}
}
```



ANEXO A – DATASHEET LM 318



ANEXO B – DATASHEET LM 361



ANEXO C – DATASHEET PIC 16F877A

