

**LUIZ PAULO BARBOSA DA SILVA**

**TESTE DE IMPACTO AUTOMATIZADO  
PARA LENTES SOLARES**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado a Escola de Engenharia  
de São Carlos, da Universidade  
de São Paulo

Curso de Engenharia Elétrica com  
ênfase em Eletrônica

ORIENTADOR: Prof<sup>a</sup>. Dra. Liliane Ventura

São Carlos  
2010

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento  
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

S586t

Silva, Luiz Paulo Barbosa da  
Teste de impacto automatizado para lentes solares /  
Luiz Paulo Barbosa da Silva ; orientadora Liliane  
Ventura. -- São Carlos, 2010.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em  
Engenharia Elétrica com ênfase em Eletrônica) -- Escola  
de Engenharia de São Carlos da Universidade  
de São Paulo, 2010.

1. Lentes - certificação. 2. Óculos solares.  
3. Lentes - teste de impacto. I. Título.

## **DEDICATÓRIA**

Para meu pai, Luiz Antônio, minha mãe, Maria Cristina, e minhas irmãs Patrícia e Priscila que sempre acreditaram no meu potencial e me apoiaram desde o começo da minha caminhada até a minha graduação em Engenharia Elétrica.

## **AGRADECIMENTOS**

Especialmente, à minha família e amigos que me ajudaram, cada um da sua forma, mas todos me motivando a vencer cada obstáculo que aparecia, seja por conselhos técnicos ou simples conversas de incentivo.

A professora Liliane Ventura, por ter me dado a oportunidade de trabalhar no laboratório de instrumentação oftalmica (LIO) e garantir todo apoio necessário para realização do projeto. Às novas amizades como consequência deste trabalho: no LIO, Victor, pelo apoio e o auxílio em diversas partes, na oficina do departamento de engenharia elétrica, Rui Bertho, por não medir esforços em estar sempre ajudando na confecção de peças. Por último, mas não menos especial, ao amigo, Ricardo, pela amizade, companheirismo, pelas horas de trabalho dedicadas ao projeto, sendo sempre uma pessoa prestativa e disposta a ajudar.

E, finalmente, sou grato a tudo e a todos que tiveram parte diretamente ou indiretamente para o sucesso deste trabalho.

# SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>i</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>ii</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>iv</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1. Material das lentes .....	2
1.1.1. Lentes Inorgânicas .....	2
1.1.2. Lentes Orgânicas.....	3
1.2. Perigo aos Olhos.....	5
1.3. Inmetro .....	7
1.4. Regulamentação dos Óculos de Proteção Solar.....	8
1.4.1. Resistência ao Impacto.....	9
1.5. Proposta de Trabalho .....	10
<b>2. DESENVOLVIMENTO.....</b>	<b>11</b>
2.1. Eletroímã e Esfera de Aço.....	11
2.2. Motor de Passo .....	14
2.3. <i>Display LCD</i> .....	18
2.4. <i>Hardware</i> .....	20
2.5. Estrutura Mecânica .....	24
2.6. <i>Software</i> .....	27
<b>3. PROCEDIMENTOS .....</b>	<b>28</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>30</b>
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>34</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>35</b>
<b>APÊNDICE .....</b>	<b>38</b>

## **LISTA DE FIGURAS**

<b>Figura 1.1.</b> Lentes Fotocromáticas.....	4
<b>Figura 1.2.</b> Camadas de óculos de alta classificação .....	4
<b>Figura 1.3.</b> Diagrama do esquemático do olho humano .....	6
<b>Figura 1.4.</b> Selo de certificação da ABNT .....	9
<b>Figura 2.1.</b> Diagrama completo do sistema.....	11
<b>Figura 2.2.</b> Eletroímã fixo a estrutura de controle .....	12
<b>Figura 2.3.</b> Esfera de Aço .....	13
<b>Figura 2.4.</b> Representação de um motor unipolar .....	15
<b>Figura 2.5.</b> (a) Movimentos passo completo (1), (b) passo completo (2), e (c) meio passo, respectivamente, executados pelo motor unipolar .....	17
<b>Figura 2.6.</b> Motor de Passo.....	18
<b>Figura 2.7.</b> Esquemático do <i>display LCD</i> .....	19
<b>Figura 2.8.</b> <i>Display LCD</i> .....	20
<b>Figura 2.9.</b> Diagrama de pinos do PIC16F877A .....	20
<b>Figura 2.10.</b> Diagrama de pinos do L298N.....	21
<b>Figura 2.11.</b> Circuito esquemático para o eletroímã.....	22
<b>Figura 2.12.</b> Esquemático do circuito de controle.....	23
<b>Figura 2.13.</b> Circuito montado no <i>protoboard</i> .....	24
<b>Figura 2.14.</b> Estrutura para suporte do ímã mais as esferas.....	25
<b>Figura 2.15.</b> Disco vazio construído para fixar os óculos.....	26
<b>Figura 2.16.</b> Óculos posicionados no disco para o ensaio .....	26
<b>Figura 2.17.</b> Display com a mensagem de ciclo cancelado.....	27
<b>Figura 3.1.</b> Sistema integrado já em posição para execução dos testes .....	28
<b>Figura 4.1.</b> Análise de tempo gasto durante os ensaios .....	30
<b>Figura 4.2.</b> Óculos arranhado após os testes .....	32

## **LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 2.1.</b> Passo completo (1) .....	16
<b>Tabela 2.2.</b> Passo completo (2).....	16
<b>Tabela 2.3.</b> Meio passo.....	16
<b>Tabela 4.1.</b> Resultado do ensaio .....	31

## **RESUMO**

Óculos solares estão cada vez mais populares na sociedade, dos mais variados estilos e na maioria das vezes relacionados à estética, porém podem ser nocivos caso não garantam a proteção necessária. Além de protegerem contra a radiação ultravioleta, as lentes dos óculos de sol devem ser capazes de garantir a segurança necessária na absorção de impactos. A norma brasileira ABNT NBR 15.111:2004 regulamenta os óculos solares quanto as propriedades óticas, mecânicas e de estresse, dentre elas, a resistência mínima ao impacto. Entretanto, o tempo gasto em laboratórios de certificação com o teste de impacto torna-se inviável quando de forma manual, o que, em grandes quantidades demanda um longo período de tempo. Por meio deste trabalho foi desenvolvido um sistema que possibilita a automatização e a otimização do processo de certificação de lentes quanto à resistência mínima ao impacto, de modo a torná-lo mais rápido e eficiente. Para este fim, foi implementado um sistema de controle que aciona um eletroímã sincronizado a um motor de passo. O primeiro libera a queda da esfera sobre as lentes enquanto o segundo rotaciona os óculos de sol posicionados sobre um disco. O sistema possibilita o teste de até oito óculos por vez, e apresenta ainda em um *display LCD* o número de lentes ensaiadas. Por fim, os resultados obtidos garantiram uma economia considerável de tempo durante os testes e uma confiabilidade significativa para certificação de acordo com a norma brasileira.

Palavras-chave: Lentes - Certificação; Óculos Solares; Lentes - Teste de Impacto.

## **ABSTRACT**

Sunglasses are increasingly popular in society, of many different styles and most of the times related on the aesthetics, but can be harmful if required protection not ensured. Besides UV radiation protection, the lenses of the sunglasses should be able to assure safeness by absorbing mechanical impact. The brazilian standard ABNT NBR 15.111:2004 regulates the sunglasses in optical, mechanical and stress proprieties, among them the minimum impact resistance. However, the amount of time spent at certification labs during the impact test becoming not viable when they are tested manually and in large samples, that requires a long period of time. Hence, in this work, we have developed a system that allows the automation and optimization of the process of certification of lenses regarding to the minimum impact resistance, aiming a quicker and more efficient task. For this purpose it was implemented a control system based on a microcontroller that activates the electromagnet synchronized with a step motor. The first releases the steel sphere onto the lenses and the step motor rotates the sunglasses put on a disk. The system allows testing up to eight sunglasses per cycle. It also shows the number of tested lens on the screen of the LCD display. Finally, the evaluated results should assure considerable time saving for the tests and reliability to certification related to brazilian standard.

Keywords: Lens - Certification; Sunglasses; Lens - Impact Test.

## **1. INTRODUÇÃO**

Óculos de sol são acessórios para a visão e são adquiridos normalmente com finalidade estética, mas que têm como principais objetivos proporcionar um conforto visual e proteção contra os efeitos nocivos da radiação ultravioleta aos olhos.

A popularização do produto, principalmente no Brasil e em regiões de clima tropical, tornou possível que qualquer pessoa adquirira um modelo que mais a agradasse e que seja viável financeiramente. Os preços variam de dez a mais de mil reais dependendo principalmente da marca e do local da compra. Segundo as últimas pesquisas do setor, quando se trata da percepção dos consumidores, 56% dos lojistas regularizados acreditam que os consumidores dão mais importância à marca do produto vendido, 87% vêem no preço um dos principais atributos capazes de influenciar a decisão de compra, enquanto 94% deles priorizam a qualidade do produto. (ABIÓPTICA, 2007)

Ainda de acordo com a pesquisa, 79% dos lojistas afirmam ter prejuízos, com perdas médias de 32% do faturamento, devido à informalidade. Novamente, segundo mais da metade dos lojistas, isso não é exclusivamente devido aos comércios clandestinos e camelôs, mas também pelos próprios lojistas. Porém, o maior problema dos óculos de sol baratos está na procedência de suas lentes. Em sua maioria, são constituídas de plástico comum com uma pequena cobertura de coloração.

Visando testar a qualidade desses materiais, desenvolveu-se uma série de ensaios para a certificação das lentes que foram reunidas e publicadas dando origem à norma brasileira, ABNT NBR 15.111:2004, que garante qualidade e segurança para os usuários dos produtos certificados. Dentre os ensaios requeridos, consta o teste de impacto, que será abordado neste trabalho. Trata-se de uma verificação do quanto resistente ao impacto é uma lente para que em situações acidentais, esta não venha a trincar ou até mesmo partir, causando danos ainda maiores ao consumidor.

O estudo pretende automatizar as medidas do teste de impacto imposto pela norma brasileira da ABNT para óculos de sol de modo a torná-lo mais rápido e confiável. Este trabalho faz parte de um projeto do Laboratório de Instrumentação Oftalmica – EESC/USP (LIO) que visa reduzir o tempo de ensaios, uma vez que alguns dos testes de certificação já são realizados pelo LIO de forma manual, tais como o teste que mede a proteção contra os raios ultravioletas e o teste de impacto. O projeto em questão não tem como objetivo conceder uma

certificação final a uma determinada marca ou revendedora de óculos de sol, mas sim realizar ensaios experimentais da proteção real de tais produtos. Busca desenvolver um sistema que possa vir a ser usado em laboratórios de metrologia ou até mesmo em empresas de óculos solares que desejem verificar, antes de uma certificação final, se os óculos produzidos por elas passariam ou não nos eventuais ensaios quanto ao impacto.

Para um melhor entendimento do objetivo deste trabalho e de todo o processo de certificação, é importante compreender um pouco mais sobre as lentes e os perigos da proteção inadequada ao impacto. Também será abordado a seguir o que é o INMETRO e o que a ABNT estipula através da norma brasileira para que os óculos de sol sejam aprovados.

## 1.1. Material das lentes

Uma das características das quais a lente dos óculos de sol pode ser classificada é quanto ao material de fabricação. As lentes podem ser inorgânicas (mineral), constituídas de vidro; ou orgânicas, feitas de resina plástica (comum ou policarbonato).

Tanto as lentes orgânicas quanto as inorgânicas possuem uma boa qualidade ótica, podendo ter espessuras variadas dependendo do formato ou do índice de refração, porém as lentes minerais em sua maioria são menos espessas. Em contrapartida, as lentes plásticas são mais leves e mais resistentes ao impacto, apesar de serem mais caras (policarbonato) e riscarem com uma maior facilidade (plástico comum).

### 1.1.1. Lentes Inorgânicas

As lentes inorgânicas ou minerais basicamente se dividem em 4 grupos:

#### Cristal Comum

São lentes com índices de refração de 1,523 que podem ser usadas para miopia ou hipermetropia. Em sua maioria tem tratamento contra raios UV além de serem mais pesadas que as lentes orgânicas, entretanto mais finas e mais resistentes a riscos.

#### Cristal de Alto Índice

Devido ao fato de possuírem índices de refração maiores que 1,523, possibilitam a confecção de lentes mais finas. São também conhecidas como “*High-Lite*”.

#### Cristal Fotocromática

Escurecem ou clareiam conforme a incidência de raios solares devido a uma camada de compostos de prata (brometo, cloreto) que reagem na presença de luz. Possuem as mesmas

características das de cristal comum, porém podem ser endurecidas o que as torna mais resistentes aos impactos.

#### Cristal Colorida

São as lentes de cristal com coloração. As mais comuns são a Cruxite e a RB, lentes de cristal com a coloração levemente marrom e verde, respectivamente. (NEVES, R. e CASANOVA, F., 2004)

### **1.1.2. Lentes Orgânicas**

Existem principalmente quatro tipos de lentes orgânicas. São elas:

#### Orgânica Comum

São lentes em resina orgânica que possuem índice de refração 1,499. Mais leves que as de cristal, no entanto mais grossas. Possuem tratamento contra raios ultravioleta.

Trata-se de um material com alta resistência a impactos, mas muito susceptível a riscos, exigindo um maior zelo por parte do usuário. De certa forma, tal deficiência pode ser contornada, uma vez que a resina orgânica aceita o tratamento anti-risco.

#### Orgânica de Alto Índice

São lentes em resina orgânica que têm alto índice de refração, são mais finas e mais leves que as demais. Assim como a anterior, também possui tratamento contra raios ultravioleta e anti-risco. São recomendadas para lentes acima de 4 graus, tanto positiva quanto negativa.

#### Orgânica Fotocromática

São lentes em resina fotocromática como descritas anteriormente, que escurecem ou clareiam conforme a incidência de raios solares. Possuem tratamento contra raios UV e também anti-risco, tornando-as mais resistentes a pequenos arranhões. A Figura 1.1 mostra em detalhe como funciona este tipo de lente.



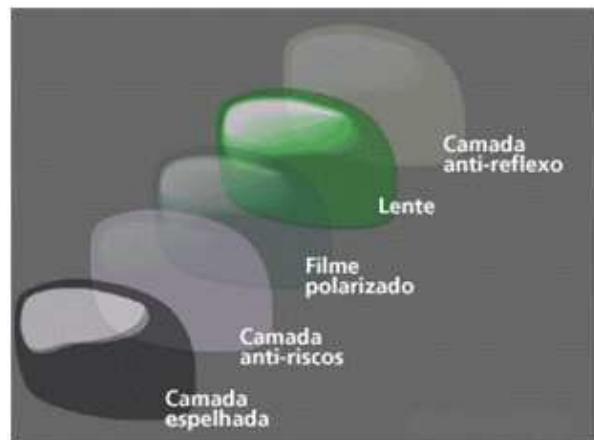
**Figura 1.1.** Lentes Fotocromáticas

(Retirado de NEVES, R. e CASANOVA, F., 2004)

## Órgânicas Polarizadas

As lentes polarizadas filtram até 99% do brilho, ou a luz refletida na horizontal. Já a luz refletida na vertical, útil para os olhos, passa pelas lentes sem nenhuma interferência. É composta por 4 principais camadas: filtro polaróide para eliminação do brilho, filtro de absorção ultravioleta até 400 nm, camada de suporte para resistência a quebra e uma camada anti-arranhões. (NEVES, R. e CASANOVA, F., 2004)

A Figura 1.2 mostra em síntese essa estrutura, acrescentando ainda mais duas camadas, a anti-reflexo, posta na parte anterior a lente, e a camada espelhada final, usada para fins estéticos.



**Figura 1.2.** Camadas de óculos de alta classificação

(Adaptado de NEVES, R. e CASANOVA, F., 2004)

### Orgânica de Policarbonato

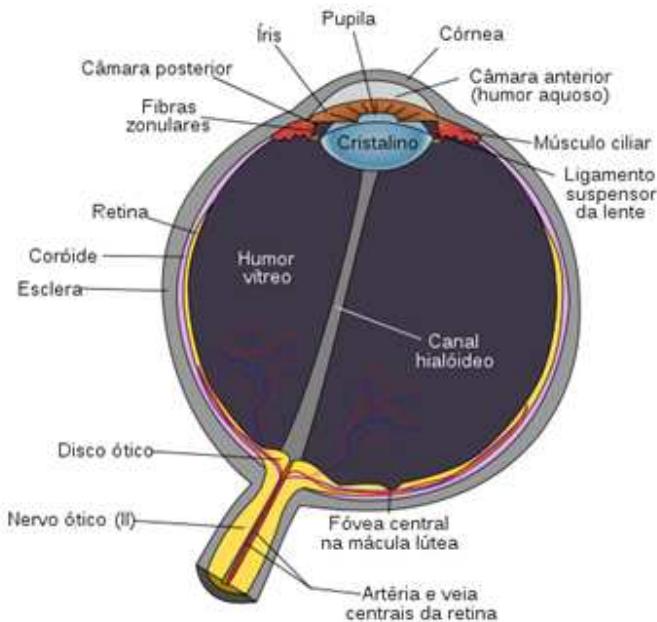
Policarbonato é uma resina termoplástica e a lente constituída deste material é obtida no ato de injetar o material a pressão e temperaturas elevadas em estampas metálicas. Possui ótimas características óticas e oferece proteção UV. As lentes de policarbonato possuem extraordinárias propriedades de absorção a choques e excedem muito às exigências das normas mais rigorosas, sendo, portanto altamente recomendadas a crianças e esportistas. A lente de policarbonato é revestida de uma laca anti-riscos que aumenta a resistência a riscos e à abrasão. Lentes orgânicas comuns, como a CR-39, de resina rígida também são resistentes ao impacto, mas baratas que as de policarbonato, porém riscam com enorme facilidade.

As lentes de policarbonato em média são 26% mais finas e 28% mais leves que as lentes orgânicas comuns. As lentes são muito mais resistentes aos impactos e possuem alto desempenho ótico em função da inflexibilidade de suas curvas. (NEVES, R. e CASANOVA, F., 2004)

### **1.2. Perigo aos Olhos**

O olho humano é um órgão sensorial baseado na sensibilidade à luz, no qual uma imagem do mundo externo é produzida e transformada em impulsos nervosos conduzidos até o cérebro. O olho possui seis diferentes funções físicas: a refração, sendo o cristalino, a córnea e os humores aquoso e vítreo os elementos responsáveis por este efeito; a auto-focalização, realizada através do cristalino e pelos músculos ciliares; a detecção, feita na retina pelos cones e bastonetes; o controle de luminosidade realizado pela íris e pupila; a refrigeração da retina realizada pela coroíde; e a transmissão da informação ao sistema nervoso, feita pelo nervo e as vias ópticas. (VENTURA, L., 2005)

Os humores aquoso e vítreo preenchem o olho humano e servem para manter a sua forma esférica. O humor aquoso é um líquido incolor que fica entre a córnea e o cristalino. Já o humor vítreo é uma substância gelatinosa que preenche todo o espaço interno do globo ocular. (DOME, E. F., 2001) Na Figura 1.3 segue um esquemático que mostra a estrutura do olho humano.



**Figura 1.3.** Diagrama do esquemático do olho humano

(Retirado de Schematic Diagram of the Human Eye, 2010)

Os riscos causados pela ausência de proteção contra o impacto não são difíceis de imaginar. Um corpo estranho adentrando contra o olho humano poderia causar muitos danos, principalmente na sua camada exterior destinada à proteção. Os riscos vão desde a possibilidade de morte de tecido, rompimento de vasos, perda de visão parcial ou total, à perda de todo o olho devido a vazamentos dos humores aquoso e vítreo.

Quando em atividades externas, como ciclismo ou corrida, esportes os quais estar em velocidade ao ar livre se fazem necessários, estar protegido contra possíveis objetos que venham a se chocar contra os olhos é fundamental. Por isso a maioria dos esportistas faz uso dos óculos de sol, um equipamento de segurança indispensável. Estando eles a velocidades acima de 15Km/h, um choque contra um objeto em repouso ou acelerado na direção contrária deve ser absorvido pela lente sem que o resultado do choque provoque uma fratura ou um estilhaçamento que possa por em risco os olhos do usuário.

A constante mobilidade e a inocência de crianças também as tornam mais vulneráveis ao mesmo problema. Porém, neste caso a velocidade não é o principal agravante, mas sim os choques devido a quedas freqüentes em suas atividades. Devido a isso, os óculos de uma

criança devem ser muito resistentes aos impactos de modo a protegê-la da ingenuidade dos seus movimentos.

### **1.3. Inmetro**

O Inmetro, Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, é uma autarquia federal, vinculada ao Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Ele atua como Secretaria Executiva do Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Conmetro), colegiado interministerial, que é o órgão normativo do Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Sinmetro).

Com o objetivo de integrar uma estrutura sistêmica articulada, o Sinmetro, o Conmetro e o Inmetro foram criados pela Lei 5.966, de 11 de dezembro de 1973, cabendo a este último substituir o então Instituto Nacional de Pesos e Medidas (INPM) e ampliar significativamente o seu raio de atuação a serviço da sociedade brasileira. (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL, 2010)

No âmbito de sua ampla missão institucional, o Inmetro objetiva fortalecer as empresas nacionais, aumentando sua produtividade por meio da adoção de mecanismos destinados à melhoria da qualidade de produtos e serviços. Desta forma, adota como sua missão a promoção da confiança à sociedade brasileira nas medições e nos produtos, através da metrologia e da avaliação da conformidade, promovendo a harmonização das relações de consumo, a inovação e a competitividade do País.

Dentre as competências e atribuições do Inmetro, destacam-se:

- Executar as políticas brasileiras de Metrologia e da Avaliação da Conformidade; Verificar a observância das normas técnicas e das normas legais, no que se refere às unidades de medida, métodos de medição, medidas materializadas, instrumentos de medição e produtos pré-medidos;
- Manter e conservar os padrões das unidades de medida, assim como implantar e manter a cadeia de rastreabilidade dos padrões das unidades de medida no país, de forma a torná-las harmônicas internamente e compatíveis no plano internacional, visando, em nível primário, à sua aceitação universal e, em nível secundário, à sua utilização como suporte ao setor produtivo, com vistas à qualidade de bens e serviços;
- Fortalecer a participação do Brasil nas atividades internacionais relacionadas com Metrologia e Avaliação da Conformidade, além de promover o intercâmbio com entidades e organismos estrangeiros e internacionais;

- Prestar suporte técnico e administrativo ao Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - Conmetro, bem como aos seus comitês de assessoramento, atuando como sua Secretaria-Executiva;
- Fomentar a utilização da técnica de gestão da qualidade nas empresas brasileiras;
- Planejar e executar as atividades de acreditação (credenciamento) de laboratórios de calibração e de ensaio, de provedores de ensaios de proficiência, de organismos de certificação, de inspeção, de treinamento e de outros, necessários ao desenvolvimento da infra-estrutura de serviços tecnológicos no Brasil;
- Coordenar, no âmbito do Sinmetro, a certificação compulsória e voluntária de produtos, de processos, de serviços e a certificação voluntária de pessoal.

#### **1.4. Regulamentação dos Óculos de Proteção Solar**

O setor ótico tem atualmente 21 normas técnicas oficiais compreendendo óculos de proteção solar, armações e lentes oftálmicas, definidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). O trabalho de normalização do setor se iniciou em 2001 e resultou na publicação em 2004 da norma ABNT NBR 15.111:2004.

Em janeiro de 2010 a ABNT e a Abióptica reativaram o Comitê Brasileiro de Óptica e Instrumentos Ópticos (ABNT/CB-49). Com isso, as duas entidades pretendem dar continuidade no trabalho de revisão das normas técnicas do setor iniciado em 2001. Ao longo deste ano Comissões de Estudo se reunirão para analisar as normas já existentes e também propor novas normas de acordo com as necessidades das indústrias. (ABIÓPTICA, 2010)

Enquanto a atualização não acontece, a NBR 15.111:2004 permanece como instrumento legal de garantia de qualidade para comerciantes e consumidores, que têm assim amparo na lei para exigir dos fornecedores a qualidade do que compram e a segurança de que os produtos adquiridos não serão nocivos à saúde.

A norma tem como objetivo por em teste as seguintes propriedades:

- Refração – Fenômenos ligados à qualidade da imagem que o usuário enxerga e que está diretamente ligada à saúde visual das pessoas. Nesses ensaios, a luz atravessa a lente e é verificada a inexistência de:
  - Poder Cilíndrico (Miopia).
  - Poder Esférico (Hipermetropia).
  - Poder Prismático (Posição real das imagens).
  - Eixo (Astigmatismo).

- Transmitância: Fenômenos ligados à alteração da natureza da luz em sua passagem através da lente.
- Difusão Luminosa (Espalhamento da luz).
- Absorção da radiação UVA (315 – 410 nm), UVB (280 – 315 nm).
- Transmissão visível (azul, amarelo e vermelho).
- Transmissão infravermelho (700 – 1400 nm).
- Resistência à radiação em câmara de envelhecimento acelerado (Bombardio UV).
- Propriedades Mecânicas da Armação.
- Resistência da Armação (Deformação).
- Resistência ao Impacto.
- Inflamabilidade.

É importante ressaltar que a norma brasileira em vigor até então é a tradução da norma da comunidade européia, EN 1836:2001, que é uma das normas mais importantes do mundo e uma referência no mercado ótico mundial. O selo de certificação concedida pela ABNT aos modelos aprovados pela norma é mostrado na Figura 1.4. A certificação de conformidade, expedida pela ABNT, significa que a marca testada possui um sistema de industrialização controlado e garantido da fabricação de seus produtos, em total conformidade com as mais modernas normas técnicas vigentes.



**Figura 1.4.** Selo de certificação da ABNT

#### **1.4.1. Resistência ao Impacto**

Dentre todos os ensaios requeridos pela ABNT NBR 15.111:2004, o que será abordado neste trabalho diz respeito somente ao teste de impacto.

O teste de resistência mínima ao impacto imposto pela norma ABNT NBR 15.111:2004 deve ser realizado seguindo um protocolo de ensaio previamente estipulado pela norma. Uma esfera de aço de 1,59cm (5/8 de polegadas) de diâmetro, pesando aproximadamente 15,9g, e que deve ser solta de uma altura de 127cm (50 polegadas) sobre a superfície superior horizontal convexa da lente. A esfera deve golpear dentro de um círculo de 1,59cm (5/8 polegadas) de diâmetro localizado em torno do centro geométrico da lente. A esfera pode ser guiada em sua queda, mas não restringida, por um tubo que se estenda até aproximadamente 10,16cm (4 polegadas) da lente.

Para passar no teste a lente não pode fraturar ou deformar. A lente será considerada fraturada se rachar por toda sua espessura, incluindo a camada laminar, se houver, e se rachar através de um diâmetro completo em dois ou mais pedaços, ou se qualquer material visível da lente a olho nú separar-se da superfície ocular. Considera-se que uma lente de óculos está deformada quando aparece no papel branco uma impressão do lado oposto daquele atingido pela esfera. (ABNT NBR 15.111:2004)

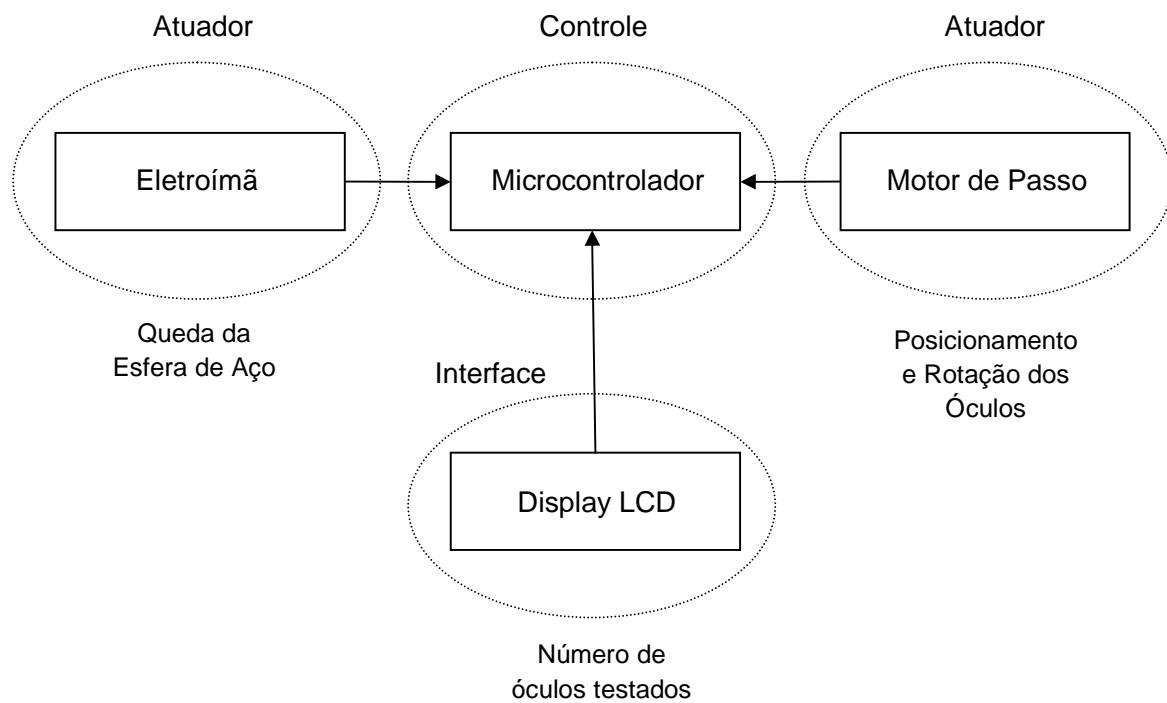
## **1.5. Proposta de Trabalho**

Durante os anos em que o teste vinha sendo realizado de forma manual no laboratório de instrumentação oftálmica, este chegava a demorar dias para ser concluído, uma vez que todos os óculos deveriam passar por vários testes e as remessas a serem testadas chegavam em lotes de grandes quantidades de óculos.

Com este trabalho buscou-se, então, desenvolver um sistema que tornasse possível a automatização do processo de certificação de lentes quanto ao impacto de modo a reduzir significativamente o tempo gasto nesse teste. Para isso idealizou-se um sistema que pudesse controlar a queda das esferas sobre as lentes já previamente posicionadas numa estrutura que em seguida reposicionasse outros óculos para medição. Assim, um sistema baseado num eletroímã e num motor de passo foi idealizado e será descrito com mais detalhes no próximo capítulo.

## 2. DESENVOLVIMENTO

A automação do teste de impacto integra um motor de passo devidamente adaptado a função de posicionamento e rotação dos óculos fixados a um disco, em conjunto com a magnetização da esfera de aço através de um eletroímã que controla a queda destas esferas sobre a superfície das lentes. As etapas do sistema são mostradas a seguir na Figura 2.1 e serão descritas em detalhes nos próximos itens.



**Figura 2.1.** Diagrama completo do sistema

### 2.1. Eletroímã e Esfera de Aço

Eletroímã é um ímã temporário composto por um solenóide com um núcleo magnético. Esse campo existe durante a passagem de corrente pelo solenóide, (GARDINI, G. e LIMA, N. P., 2003) ou podendo ser mantidas as suas características magnéticas dependendo das propriedades do material envolto pelas espirras.

Quando os eletrodos do solenóide são submetidos a uma tensão, o mesmo é percorrido por uma corrente elétrica, o que gerará um campo magnético nas suas mediações de acordo com a Lei de Biot-Savart. A intensidade do campo e a distância que ele atingirá a partir do eletroímã dependerão da intensidade da corrente aplicada e do número de voltas da espira.

No projeto, o modelo do eletroímã escolhido foi 3040 da Magtek, (Magtek, 2010) como mostrado na Figura 2.2 já fixado a estrutura. O ímã funciona com a aplicação de uma tensão de 12V operando com uma corrente nominal de 170mA, possibilitando capacidade de carga de até 6kg.



**Figura 2.2.** Eletroímã fixo a estrutura de controle

Eletroímãs têm grande aplicação na área industrial como, por exemplo, em guinchos. Seu princípio de funcionamento consiste no acionamento da fonte de energia para que a base imantada atraia os pedaços de ferro ou materiais magnéticos que, depois de movimentados para o local desejado serão soltos pelo desligamento da fonte.

Neste trabalho desenvolvido o seu papel é similar. Submetido a sua corrente nominal, a força magnética gerada pelo eletroímã é suficientemente grande para vencer a força gravitacional e manter a esfera de aço em repouso, presa a estrutura desenvolvida.

A esfera utilizada no projeto é uma esfera comercial de 5/8 de polegadas feita de aço inox pesando 16,9g e é mostrada na Figura 2.3. Como ela é constituída de um material condutor, o

contato entre esfera e ímã durante o controle de acionamento do eletroímã não pode ser feito diretamente. Testado em diversos ensaios, a esfera, mesmo com o eletroímã desligado, permanecia fixa ao ímã. Isso se deve ao resíduo de cargas positivas na superfície do eletroímã, que ainda atrai os elétrons livres da esfera de aço e impede a queda da esfera. (HEWITT, P. G., 2002)

Assim para evitar o contato direto entre eles foi fixado um material isolante, um adesivo emborrachado, na superfície imantada do eletroímã para impedir que esse resíduo atue sobre um material condutor e mantenha a esfera presa a estrutura. O resultado se mostrou muito eficaz e solucionou o problema.



**Figura 2.3.** Esfera de Aço

Dessa forma, foi utilizado um microcontrolador para desligar e ligar o eletroímã em uma fração de tempo de 70ms, o sistema consegue soltar do repouso, a uma altura de 1,27m, apenas uma das esferas de aço por vez sobre a superfície da lente.

O tempo de queda da esfera pode ser calculado através da fórmula da física clássica de queda livre mostrada na equação 2.1.

$$s = g \cdot \frac{t^2}{2} \quad (2.1)$$

Onde  $s$  é a altura na qual a esfera foi solta,  $g$  a aceleração da gravidade do local (adotado  $9,81\text{m/s}^2$ ), e  $t$  o tempo gasto na queda. O resultado encontrado é de 0,51s desconsiderando todos os efeitos de resistência do ar. A velocidade final que a esfera atinge as lentes então pode ser calculada pela Equação 2.2.

$$v_f = g \cdot t \quad (2.2)$$

Onde  $v_f$  é a velocidade final,  $g$  a aceleração da gravidade e  $t$  o tempo de queda da esfera. O resultado obtido foi de 5m/s. Assim, a força do impacto pode ser analisada através da quantidade de movimento ou *momentum* da esfera instantes antes da queda e sua fórmula é mostrada pela Equação 2.3.

$$Q = m \cdot v^2 \quad (2.3)$$

Onde  $Q$  é a quantidade de movimento dada em Joules (J),  $m$  a massa da esfera, e  $v$  a velocidade da esfera momentos antes da colisão. O resultado da quantidade de movimento quando calculada com a massa de 16,9g da esfera utilizada neste projeto é uma energia de 421,1J. O impacto da esfera sobre as lentes é absorvido em sua grande maioria pela lente, resultando em deformação que pode levar a fraturas e rachaduras na superfície das lentes quando impróprias ao usuário. Quando utilizada uma massa de 15,9g padrão da norma de certificação, essa energia é de aproximadamente 400J.

## 2.2. Motor de Passo

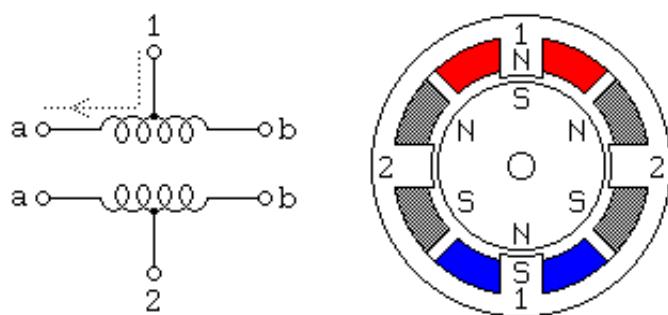
Os motores de passo são dispositivos eletro-mecânicos que convertem pulsos elétricos em movimentos mecânicos que geram variações angulares discretas. O rotor ou eixo de um motor de passo é rotacionado em pequenos incrementos angulares, denominados “passos”, quando esses pulsos são aplicados em uma determinada sequência nos terminais deste. A velocidade que o rotor gira é dada pela frequência de pulsos recebidos, a direção do giro é estipulada pela ordem em que são recebidos e o ângulo rotacionado é diretamente relacionado com o número de pulsos aplicados. (WITTE, H., 1998)

Esses tipos de motores são geralmente escolhidos sempre que movimentos precisos são necessários. Eles podem ser usados em aplicações onde é necessário controlar vários fatores tais como: ângulo de rotação, velocidade, posição e sincronismo. O ponto forte de um motor de passo não é a sua força (torque), nem mesmo sua capacidade de desenvolver altas velocidades, mas sim a possibilidade de controlar seus movimentos de forma precisa.

O funcionamento básico do motor de passo é dado pelo uso de solenóides alinhados dois a dois que quando energizados atraem o rotor fazendo-o se alinhar com o eixo determinado pelos solenóides, causando assim uma pequena variação de ângulo, o passo. O número de passos é dado pelo número de alinhamentos possíveis entre o rotor e as bobinas, ou seja, para

aumentar o número de passos de um motor usa-se um maior número de bobinas, maior número de pólos no rotor. Para isso usa-se uma roda dentada. (FITZGERALD, A. E., KINGSLEY JR, C. e UMANS, S. D., 2006)

Quando se trata da forma de operação, existem basicamente dois tipos de motores de passo: unipolar e o bipolar. Para este trabalho foi escolhido um motor unipolar que possui dois enrolamentos por fase, um para cada sentido da corrente e um center-tap entre os enrolamentos de suas bobinas, como mostrado no esquemático na Figura 2.4. Cada bobina tem três terminais, sendo dois deles suas extremidades e um deles a derivação, que são ligados em curto e feitos de terra. Dessa forma, estes tipos de motores têm cinco fios. Ao contrário do motor unipolar, o bipolar não possui derivação central e possui um circuito de controle mais complexo.



**Figura 2.4.** Representação de um motor unipolar

(Retirada de Motores Unipolares, 2010)

A energização de uma bobina por vez produz um pequeno deslocamento no rotor. Este deslocamento ocorre simplesmente pelo fato de o rotor ser magneticamente ativo e a energização das bobinas cria um campo magnético intenso que atua no sentido de se alinhar com os dentes do rotor. Assim, polarizando de forma adequada as bobinas, podemos movimentar o rotor entre as bobinas (meio passo ou “half-step”) ou alinhadas com as mesmas (passo completo ou “full-step”). A sequência de pulsos para o controle do motor de passo segundo essas funções são dadas de acordo com as Tabela 2.1, Tabela 2.2, Tabela 2.3. A Tabela 2.2 mostra uma sequência de pulso para passo completo onde duas extremidades das bobinas são ativadas por vez. O resultado disso é mais torque para o motor.

**Tabela 2.1.** Passo completo (1)

Nº do passo	A1	A2	B1	B2
1	1	0	0	0
2	0	1	0	0
3	0	0	1	0
4	0	0	0	1

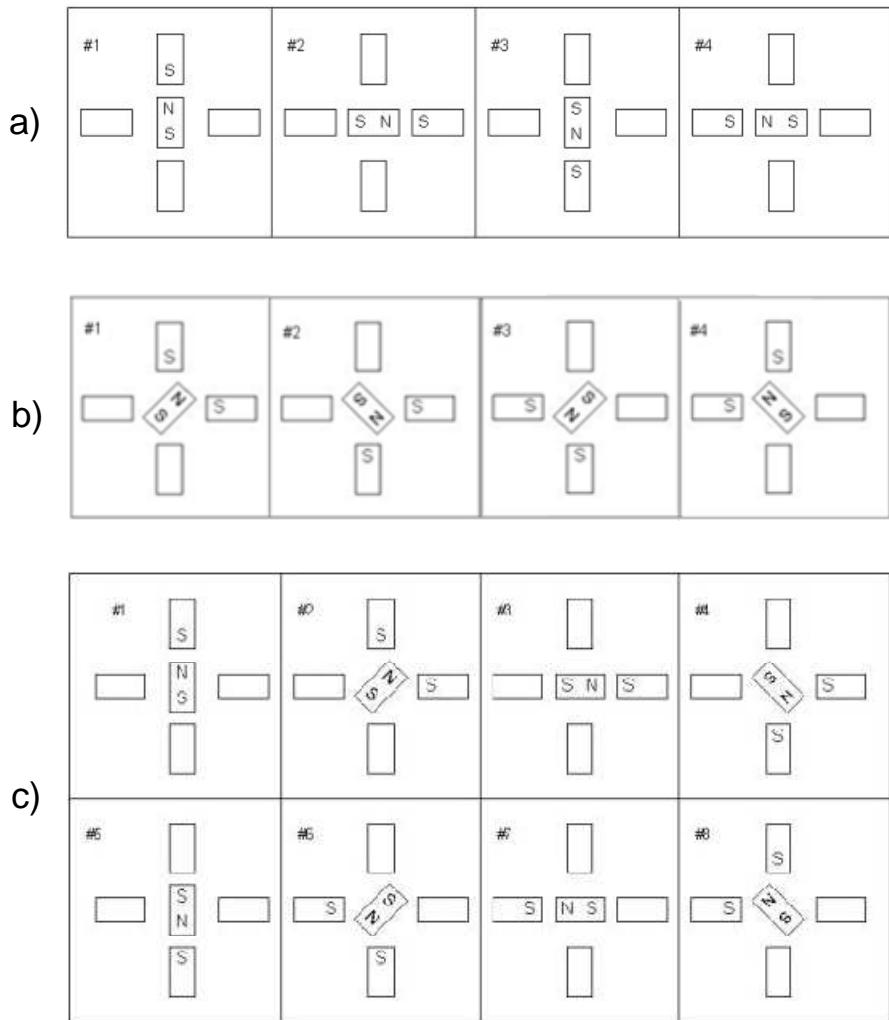
**Tabela 2.2.** Passo completo (2)

Nº do passo	A1	A2	B1	B2
1	1	1	0	0
2	0	1	1	0
3	0	0	1	1
4	1	0	0	1

**Tabela 2.3.** Meio passo

Nº do passo	A1	A2	B1	B2
1	1	0	0	0
2	1	1	0	0
3	0	1	0	0
4	0	1	1	0
5	0	0	1	0
6	0	0	1	1
7	0	0	0	1
8	1	0	0	1

Na Figura 2.5 seguem os movimentos executados por um motor unipolar de acordo com os pulsos enviados pelas Tabelas 2.1, 2.2 e 2.3 respectivamente.



**Figura 2.5.** (a) Movimentos passo completo (1), (b) passo completo (2), e (c) meio passo, respectivamente, executados pelo motor unipolar

(Adaptada de BRITES e SANTOS, 2008)

O motor mostrado na Figura 2.6 foi utilizado neste trabalho. Trata-se de um modelo TS3103N40 da empresa chinesa Tamagawa Seiki, (Tamagawa Seiki, 2010) unipolar, de 5kgf.cm de torque, com passo de  $1,8^\circ$  (necessita de 200 passos para completar uma volta), que opera na condição de 12V aplicada a toda extensão de suas bobinas e uma corrente nominal de 1,2A. Sua excitação seguiu a lógica do passo completo 2 mostrado na Tabela 2.2 e na Figura 2.5. Este motor é parte integrante de um sistema de rotação e posicionamento de um disco de 25cm de raio, com capacidade para oito óculos fixados sobre ele pesando 1,2kg quando carregado.

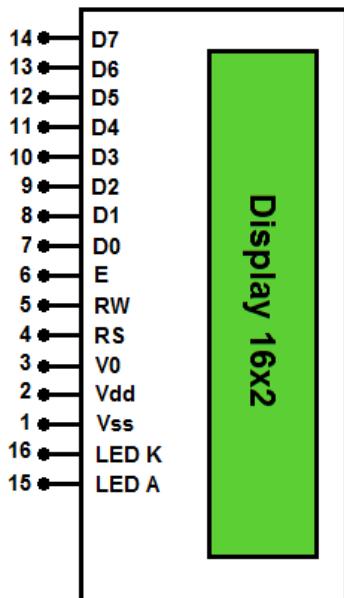


**Figura 2.6.** Motor de Passo

O motor é controlado por um microcontrolador programado pra enviar uma sequência de pulso até o *driver* do motor que repassará aos terminais da bobina e será tratado com mais ênfase na parte de *hardware* adiante.

### **2.3. Display LCD**

Os módulos LCD são interfaces de saída muito útil em sistemas microprocessados e podem ser gráficos e a caracter. O modelo utilizado no projeto é o tipo caracter, mais comum entre os *displays*. Este conta com 16 pinos e possui 2 linhas e 16 colunas. Na Figura 2.7 segue o esquema de ligação do LCD conforme utilizado no projeto.



**Figura 2.7.** Esquemático do *display* LCD

Note que os pinos 1, Vss conectado ao terra, e 2, Vdd ligado a tensão de 5V, são a alimentação do circuito, enquanto o pino 3, V0, trata-se do controle de contraste do LCD, realizado através de um divisor de tensão conectado à porta. O pino 4, RS, é um pino de seleção que serve para avisar ao módulo se o que está sendo enviado é uma instrução (0) ou um dado (1). O pino 5, RW, também é um pino de seleção que serve para escrever (0) ou ler (1) um dado no *display*. O pino 6 trata-se do *Enable*, que ativa ou desativa o LCD. O barramento de dados constitui nas entradas 7 a 14, utilizados para interfacear o módulo. A programação utilizada foi no modo 8 bits, onde os pinos 7 ao 14 são conectados e recebem dados diretamente do PIC. Por fim, os pinos 15 e 16 são, respectivamente, o ânodo e o cátodo de um LED de *backlight* utilizado para ativar uma luz de fundo que facilita a leitura em ambientes de baixa luminosidade.

No projeto o LCD é utilizado como incremento ao sistema que mostra e controla a quantidade de óculos que já foram testados. Esta contagem inicia de 0 e pode ir até 9999, sempre incrementando uma variável no *software* de acordo com o número de lentes testadas pelo sistema. Ao desligar da alimentação o circuito, a contagem é reiniciada. A Figura 2.8 mostra o *display* utilizado já programado para o início dos testes.

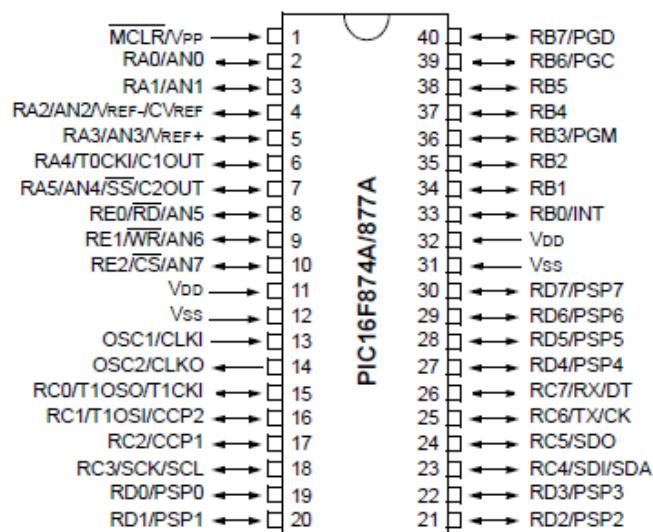


**Figura 2.8.** Display LCD

## 2.4. Hardware

Para o desenvolvimento do *hardware* foi utilizado um microcontrolador responsável por regular o tempo de acionamento e desacionamento do eletroímã, realizar a rotina de giro do motor de passo e contar o número de testes já realizados no *display LCD*.

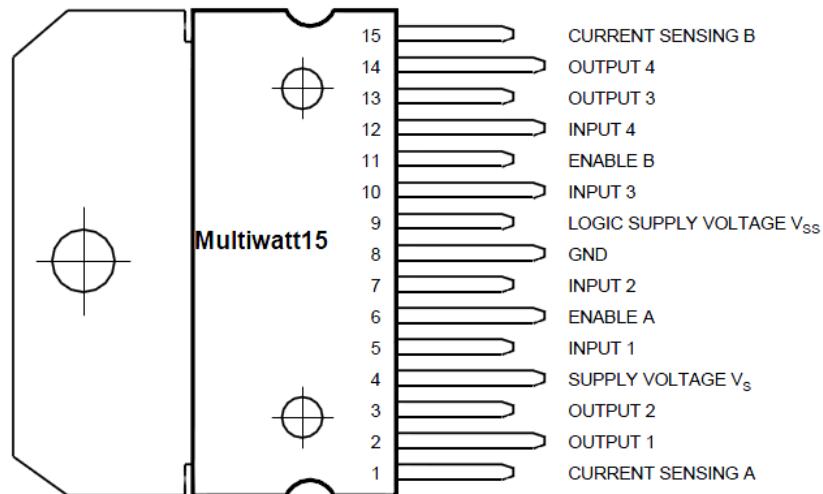
O microcontrolador utilizado é o PIC16F877A, da *MICROCHIP*. O diagrama de pinos é mostrado na Figura 2.9.



**Figura 2.9.** Diagrama de pinos do PIC16F877A

(Retirado de Microchip, 2010)

O *driver* do motor de passo foi implementado utilizando o circuito integrado L298N, que é um *driver* integrado baseado em pontes H, muito utilizado para controle de motores de passo unipolares com alta corrente nominal. Sua pinagem é mostrada na Figura 2.10.

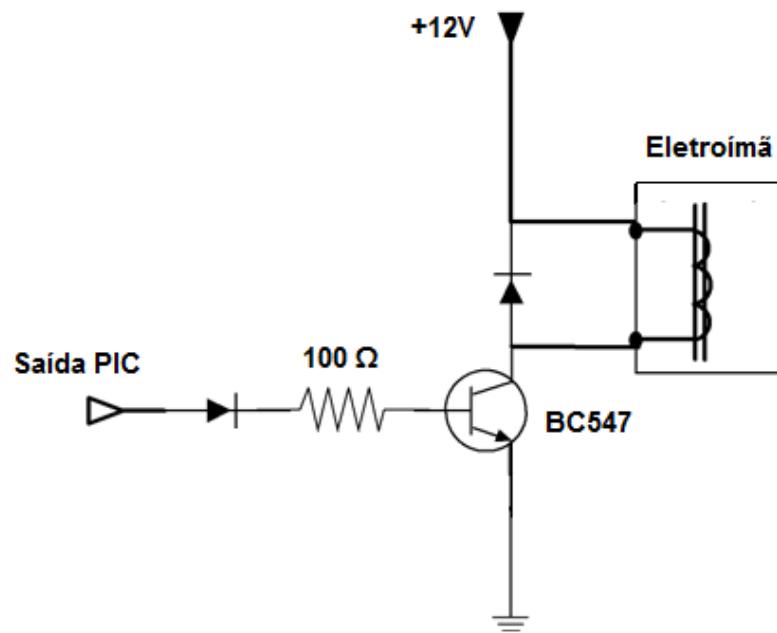


**Figura 2.10.** Diagrama de pinos do L298N

(Retirado de ST Microelectronics, 2010)

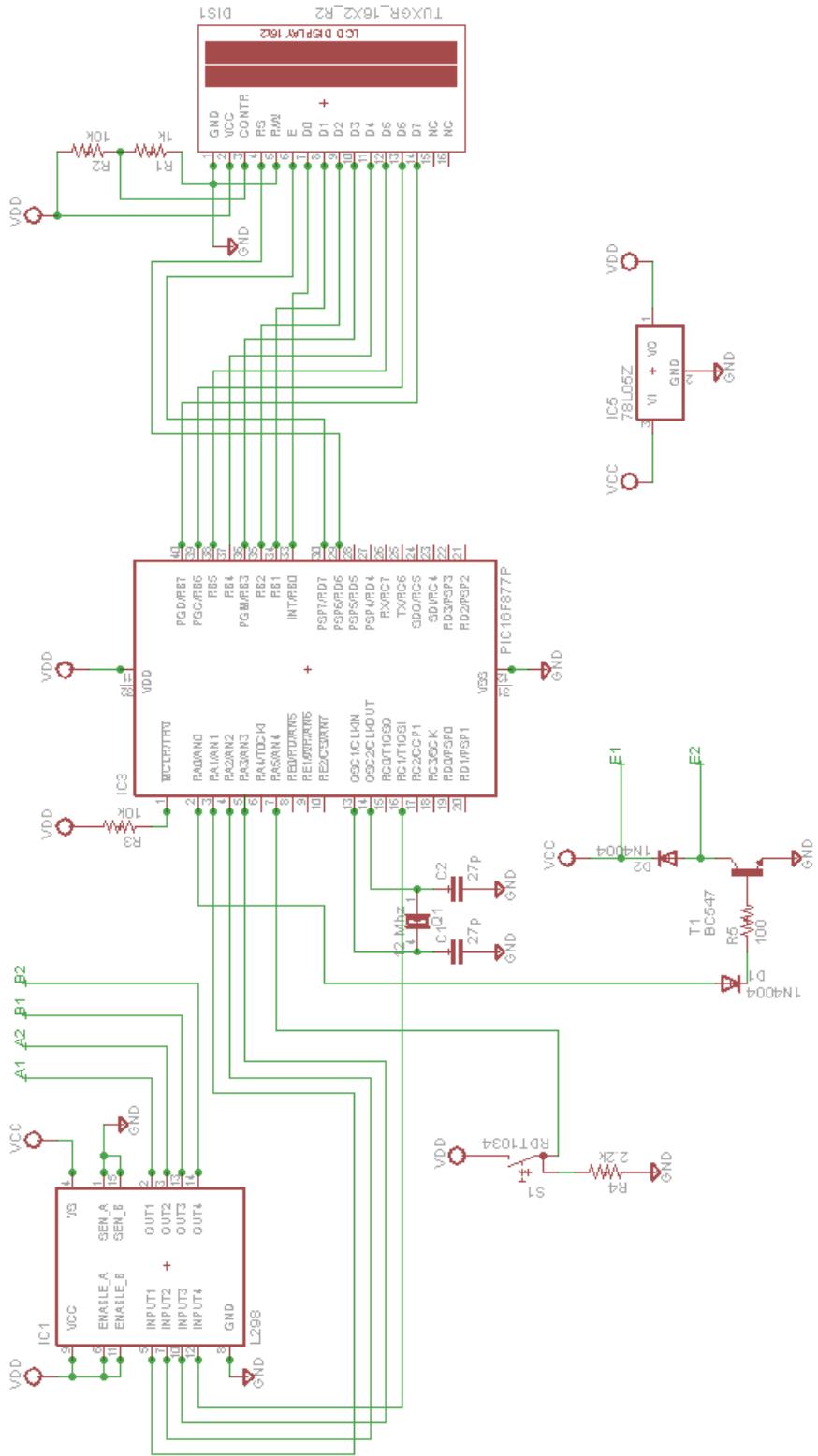
Os pinos 5 e 7 são ligados ao controle de acionamento da bobina A enquanto os pinos 10 e 12 o controle da bobina B. Este controle nada mais é que uma sequência de pulsos como descrita na Tabela 2.2 que será enviada pelo PIC. Os sensores de corrente nos pinos 1 e 15 foram aterrados e as saídas 1 e 2 nos pinos 2 e 3 foram conectadas aos terminais da bobina A enquanto as saídas 3 e 4 nos pinos 13 e 14 foram conectadas aos terminais da bobina B.

Para o acionamento do eletroímã foi utilizado um transistor BC 547 que eleva a tensão de saída do microcontrolador de 5V até a tensão adequada (12V). O circuito da Figura 2.11 a seguir foi projetado para fornecer a corrente necessária de 170mA para gerar uma força magnética conveniente ao sistema de forma a manter a esfera suspensa.



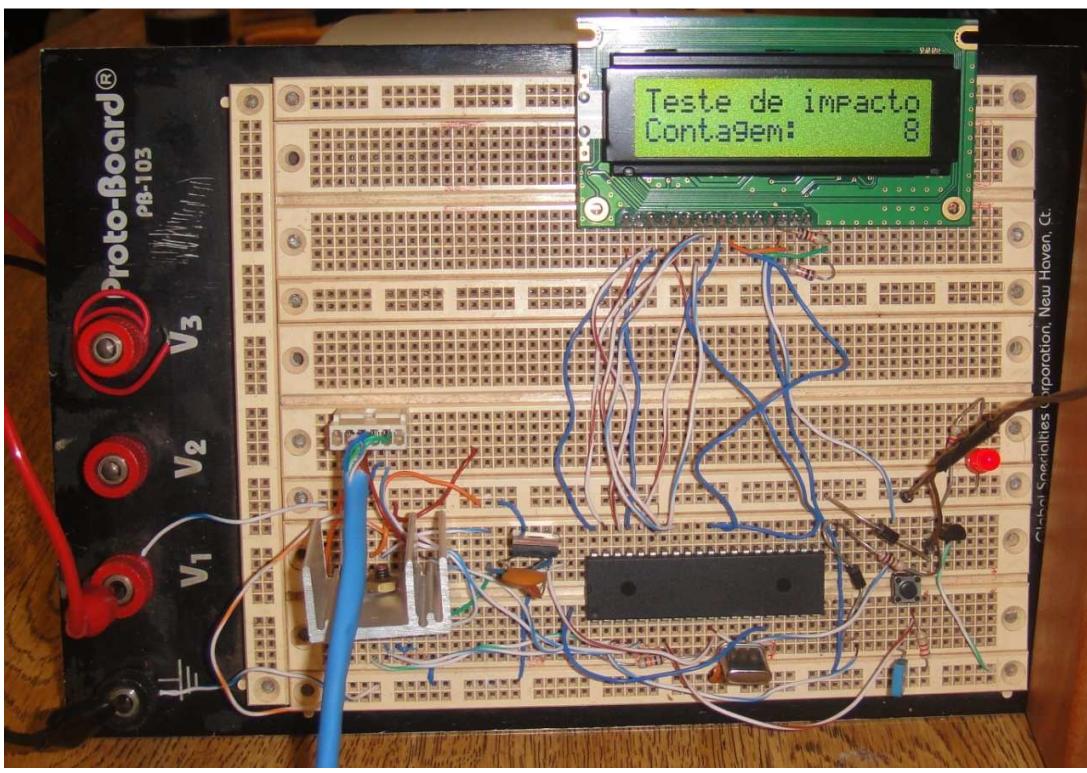
**Figura 2.11.** Circuito esquemático para o eletroímã

A integração entre os atuadores, a interface e o microprocessador segue o modelo mostrado no esquema da Figura 2.12, no qual se pode observar o PIC, com cristal de 12MHz, alimentado através de um regulador de tensão 7805.



**Figura 2.12.** Esquemático do circuito de controle

O circuito construído no *protoboard* é mostrado na Figura 2.13.



**Figura 2.13.** Circuito montado no *protoboard*

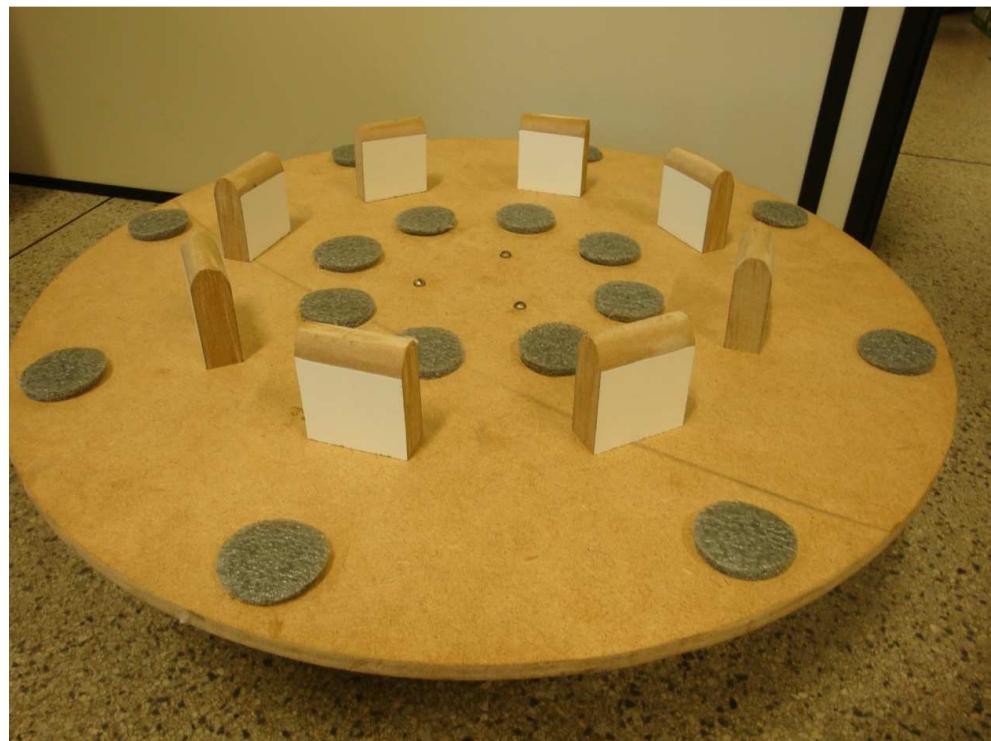
## 2.5. Estrutura Mecânica

Para suspender o conjunto eletroímã e esferas de aço, foi projetada uma estrutura que fosse capaz de suportar até 50 esferas e posicionar o ímã de modo a proporcionar a queda controlada das esferas uma por vez. Esta estrutura é mostrada na Figura 2.14 já com o ímã fixo e já comportando algumas esferas.



**Figura 2.14.** Estrutura para suporte do ímã mais as esferas

Para o suporte dos óculos de sol foi projetado um disco de madeira com capacidade para oito óculos que fosse capaz de fixá-los de forma a simular um rosto humano no que diz respeito aos apoios. Para prender os óculos no disco foi utilizado um orifício com espumas de alta densidade. Com o objetivo de apoiar toda estrutura e facilitar o giro do motor de passo foi construído um enrolamento acoplado a parte inferior do disco de maneira a conectar disco e motor. A Figura 2.15 mostra o disco e a Figura 2.16 já apresenta alguns óculos posicionados na estrutura.



**Figura 2.15.** Disco vazio construído para fixar os óculos



**Figura 2.16.** Óculos posicionados no disco para o ensaio

## 2.6. Software

Toda a programação do PIC foi desenvolvida em linguagem C na plataforma MPLAB. Buscou-se construir um algoritmo estruturado em algumas bibliotecas já existentes, como a biblioteca para o LCD, e com linguagem flexível a mudanças posteriores caso seja necessário. Foi utilizado um oscilador interno com cristal de 12MHz como mencionado anteriormente no qual se baseou para cálculo da base de tempo usada pelo microcontrolador.

Inicialmente, quando ligado a fonte de tensão, o eletroímã é acionado de forma a já sustentar as esferas a serem colocadas no recipiente. O *display* LCD também é ligado e atualizado. Baseado na interrupção proveniente de um botão externo, o software inicia o ciclo de testes dos oito óculos. Já com o disco devidamente posicionado antes de gerar a interrupção, ao se pressionar o botão o microcontrolador corta a corrente do eletroímã por 70ms, em seguida religa-o de modo a permitir a queda de somente uma esfera de aço. Este tempo foi encontrado experimentalmente repetindo os testes por diversas vezes. Assim que cada esfera é liberada, uma variável é incrementada no software e o *display* é atualizado para o novo valor de lentes já testadas.

Ao mesmo tempo, quando a corrente é cortada, o microcontrolador inicia uma contagem de 1,2s, tempo mais que suficiente para a queda da esfera sobre as lentes de uma distância de 1,27m. Ao fim da contagem, o PIC envia uma sequência de pulsos para cada bobina através do *driver* para o motor que é entendida por este como passos. Como o motor possui uma angulação de 1,8° por passo e é necessário 45° até o próximo óculos, foi programado o envio de 25 passos e então uma nova parada para aguardar a queda da próxima esfera. Este ciclo se repete por oito vezes e então o microcontrolador espera uma nova interrupção. Caso haja a necessidade de uma parada de emergência, basta manter o botão pressionado até que a mensagem “Ciclo Cancelado” apareça na tela, como mostrado na Figura 2.17.



**Figura 2.17.** Display com a mensagem de ciclo cancelado

### 3. PROCEDIMENTOS

Para a realização dos testes, o seguinte protocolo de montagem do sistema foi seguido de acordo com a norma da NBR 15.111:2004. A estrutura do eletroímã foi suspensa até uma altura 1,27m medidos da extremidade da esfera que será liberada até a superfície do óculos testado, já levando em consideração a altura do eixo que fixa o motor ao disco, mais a espessura do disco e altura da lente em relação ao disco. Com a ajuda de um papel carbono e uma folha de papel em branco fixadas na superfície do disco, foi feito o posicionamento correto do disco em relação ao eixo perpendicular a queda da esfera de forma que sempre que a esfera caía sobre o papel, este era marcado. Então, um *laser pointer* foi fixado na estrutura que suporta o eletroímã para ajustar o alvo da queda da esfera já marcado pelo papel carbono. Assim os ajustes posteriores podem ser feitos apenas acionando o *laser* a cada início de um novo ciclo de testes. A Figura 3.1 mostra todo o sistema integrado já posicionado para o início dos testes.



**Figura 3.1.** Sistema integrado já em posição para execução dos testes

Alguns óculos de sol novos e semi-novos que apresentavam defeitos de fabricação, mas com as lentes ainda em boas condições não comprometendo aos ensaios, foram utilizados para a inspeção final do projeto, com todos os sistemas integrados.

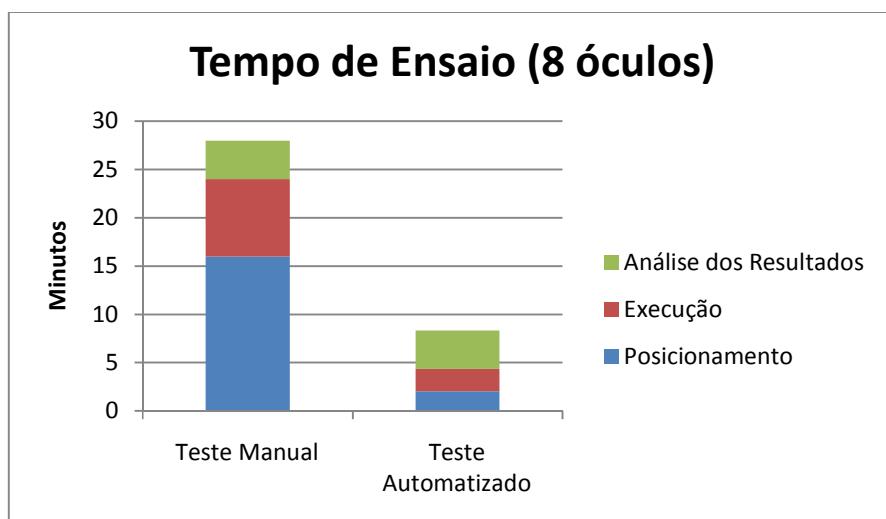
Dessa forma, os óculos foram posicionados na estrutura do disco e a sequência de testes foi iniciada. Ao fim do primeiro ciclo, foi inspecionado se houve ou não alguma fratura ou estilhaçamento das lentes testadas e só então as lentes foram invertidas de posição e um novo ciclo foi realizado. Em seguida uma nova inspeção foi feita, finalizando o teste de resistência mínima ao impacto dos óculos avaliados.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a análise do *software* e a realização dos testes, pode-se verificar que a cada giro de 45° do disco (3700ms), acompanhado do tempo de queda a gasto por cada uma das oito esferas de uma altura de 1,27m (1270ms), o tempo total é próximo a 5s. Logo, o ciclo completo para os oito óculos irá demorar 40s. Considerando o tempo médio de posicionamento dos óculos (1 minuto), calibração (30s), execução do ciclo (40s) e avaliação dos resultados (2 minutos), em que todos são repetidos duas vezes, o tempo gasto em toda a análise dos oito óculos seria em média de 8 minutos e 20 segundos.

Assim o principal objetivo deste trabalho foi alcançado, ou seja, a economia de tempo entre os ensaios. Enquanto um processo manual de testes para oito óculos demoraria 28 minutos em média, com o sistema desenvolvido o teste das duas lentes de cada um dos oito óculos demora no máximo nove minutos. Este número representa uma economia de até 70% do tempo de ensaio. Quando em quantidades elevadas de ensaios a serem realizados esta economia pode ser ainda maior, levando em consideração o estresse humano e imprecisões de medidas provocadas pelo posicionamento incorreto.

A Figura 4.1 mostra uma estimativa do tempo gasto em ensaio quando realizado manualmente e quando utilizado o sistema automatizado desenvolvido. O tempo de análise de resultados é mantido como esperado, porém o tempo de execução é reduzido em quase 70%, enquanto a economia de tempo de posicionamento é reduzida em 88%.



**Figura 4.1.** Análise de tempo gasto durante os ensaios

O resultado das lentes dos óculos testados, a análise feita após o ciclo de ensaio e sua qualificação segundo os padrões utilizados neste projeto, é mostrado em detalhes na Tabela 4.1.

**Tabela 4.1.** Resultado do ensaio

Óculos Testados	Lente Esquerda	Lente Direita	Qualificação	Tipos de Lente
A	-	-	Aprovado	Plástico
B	Arranhão	-	Aprovado	Plástico
C	-	-	Aprovado	Plástico
D	Arranhão	Arranhão	Aprovado	Vidro
E	-	-	Aprovado	Plástico
F	-	-	Aprovado	Vidro
G	-	-	Aprovado	Plástico
H	-	-	Aprovado	Plástico

Verificou-se que todos os óculos testados passaram pelo teste de impacto automatizado desenvolvido. Mesmo apesar de alguns deles terem suas lentes arranhadas após a queda da esfera, as lentes dos óculos não chegaram a trincar ou fraturar, o que os qualifica como aprovados.

Dos oito óculos testados, seis tinham suas lentes de resina plástica e dois deles tinham suas lentes de vidro. Apesar de mencionado na introdução deste trabalho que as lentes de vidro são mais frágeis no quesito resistência ao impacto, essas ainda garantem a proteção adequada. A Figura 4.2 mostra a lente de um dos óculos de lentes de vidro arranhado após a realização dos ensaios.



**Figura 4.2.** Óculos arranhado após os testes

Apesar dos resultados, os testes realizados com esse sistema ainda não podem ser incluídos numa sequência de ensaios completa para certificação da resistência mínima ao impacto porque segundo a norma ABNT NBR 15.111:2004, a esfera para ensaios deve pesar 15,9g, porém nos ensaios realizados neste projeto foi utilizado esferas de aço pesando em média 16,9g. O motivo se deve a um padrão de produção e vendas deste tipo de esfera e a dificuldade de se produzir em pequenas escalas esse tipo de produto de forma customizada. Portanto, estes testes não demonstram efetivamente se os óculos testados passariam ou não pela norma brasileira referente à resistência mínima ao impacto. Entretanto, como as lentes resistiram a um impacto maior devido a massa superior da esfera, provavelmente passariam também em um ensaio utilizando esferas no peso padrão para este tipo de teste.

Visando melhorias futuras no sistema, algumas idéias são sugeridas para torná-lo um produto que possa ser usado rotineiramente a curto prazo. A primeira delas é construir um disco com um material mais leve, porém ainda bem rígido, para diminuir assim o momento de inércia do disco. Isso facilitaria ao motor pôr em movimento o disco parado, como também seu movimento de parada, de forma a diminuir significativamente as oscilações do disco ao tentar parar o movimento de rotação. Assim o tempo de espera para que o disco estabilize antes da queda da próxima esfera no software poderia ser reduzido, o que consequentemente provoca uma redução no tempo de ensaio.

Para atingir esse resultado também, pode ser usado um atrito na lateral do disco de modo a provocar um sistema de frenagem menos brusco ao disco, o que também não permitiria muitas oscilações durante a sua parada.

Outra melhoria seria criar um suporte para integrar os dois sistemas juntos de forma a fixá-los numa mesma estrutura, tornando mais fáceis as calibrações e o deslocamento do sistema. Uma fonte própria e também uma interface mais amigável com o usuário também poderia ser desenvolvida.

Pode-se também fazer mais discos e tornar o sistema apto a trocas de discos de forma ágil, não havendo a necessidade de se retirar os óculos já testados de um disco para se colocar outros óculos ainda a serem testados. Uma vez já preparados previamente vários outros discos com diferentes óculos, se reduziria consideravelmente o tempo de posicionamento para todo ensaio.

## **5. CONCLUSÕES**

A partir dos ensaios realizados é possível afirmar que o sistema desenvolvido atendeu as especificações da norma, tendo problemas somente com o material de ensaio, a massa da esfera, algo facilmente contornável uma vez que o suporte desenvolvido comporta a esfera padronizada para os testes.

Baseado num sistema de acionamento de um eletroímã para controlar a queda de esferas e um motor de passo para mover os óculos de sol testados, o sistema automatizou o teste de impacto, o tornando mais preciso e com um tempo de execução menor. Devido a inúmeras restrições do sistema, a substituição total da mão-de-obra humana nesse processo de automação se mostraria inviável por razões como, por exemplo, a manipulação de diferentes modelos de óculos a serem posicionados para o teste ou a análise minuciosa dos resultados, tarefas que automatizadas elevariam o custo e a complexidade do sistema.

Por fim, o projeto concretizou o seu principal objetivo na economia de tempo, automatização do processo e confiabilidade das medidas. Desenvolvido para garantir rapidez e confiabilidade nos ensaios de certificação de lentes quanto ao teste de impacto, o sistema pode ser integrado a uma bancada totalmente automatizada na qual é previsto uma economia ainda maior de tempo e uma ampliação significativa no número de amostras a serem analisadas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Apresentações. ABIÓPTICA. CB49 ABNT. 2010. Disponível em <<http://www.abioptica.com.br/2010/cb49ABNT.asp>>. Acesso em: 24 set. 2010.

Conheça o Inmetro. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. O que é o Inmetro. 2010. Disponível em <<http://www.inmetro.gov.br/>>. Acesso em: 12 jun. 2010.

BRITES e SANTOS. Motor de Passo. Programa de Educação Tutorial. Grupo PET-Tele – Universidade Federal Fluminense. Disponível em: <<http://www.telecom.uff.br/pet/petws/downloads/tutoriais/stepmotor/stepmotor2k81119.pdf>>. Acesso em: 12 ago. 2010.

DOME, E. F. Estudo do Olho Humano Aplicado a Optometria, Editora Senac, p.114, 2001.

Eletroímã. Produtos. Magtek: Especificações técnicas, Modelo 3040, 2010. Disponível em: <<http://www.magtek.com.br/produtos/index/4>>. Acesso em: 20 ago. 2010.

GARDINI, G., LIMA, N. P. Dicionário de Eletrônica: Eletroímã, Editora Hermus, p.124, 2003.

FITZGERALD, A. E., KINGSLEY JR, C. e UMANS, S. D. Máquinas Elétricas: Máquinas de Relutância Variável e Motores de Passo, Editora Bookman, cap. 8, p. 425, 2006.

HEWITT, P. G. Física Conceitual: Eletrostática, Editora Bookman, cap. 22, p.372-374, 2002.

L298X Datasheet. **ST Microelectronics**: Catálogo de componentes, 2010. Disponível em: <<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet2/2/052daje928cw7pc0uqs1ipyryppy.pdf>>. Acesso em: 29 out. 2010.

Motor de Passo (passo a passo). **Motores Unipolares**. 2010. Disponível em: <<http://www.electronicapt.com/index.php/content/view/139/37/>>. Acesso em: 10 ago. 2010.

NEVES, R., CASANOVA, F. **Seus Olhos: Cuidados e Informações Básicas Para a Saúde Ocular**, Editora CLA, p. 22-30, cap. 3, 2004.

Normas Descaracterizadas. ABIÓPTICA. **ABNT NBR 15.111:2004**. 2010. Disponível em <[http://www.abioptica.com.br/2010/webapps/imagefile/arquivos/abnt\\_nbr\\_15111\\_2004.doc](http://www.abioptica.com.br/2010/webapps/imagefile/arquivos/abnt_nbr_15111_2004.doc)>. Acesso em: 15 set. 2010.

Olho Humano. **Schematic Diagram of the Human Eye**. 2010. Disponível em: <[http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Schematic\\_diagram\\_of\\_the\\_human\\_eye\\_pt.svg](http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Schematic_diagram_of_the_human_eye_pt.svg)>. Acesso em: 13 ago. 2010.

Pesquisa. ABIÓPTICA. **Avaliação do Mercado Óptico Brasileiro**. 2007. Disponível em: <<http://www.abiotica.com.br/website/pesquisa.asp>>. Acesso em: 28 ago. 2008.

PIC16F87XA Datasheet. **Microchip**: Folha de dados, 2010. Disponível em: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39582b.pdf>>. Acesso em: 29 out. 2010.

Step Motors. Products. **Tamagawa Seiki**. Disponível em: <<http://tamagawa-seiki.com/english/products/motor.html>>. Acesso em: 23 out. 2010.

VENTURA, L. Apostila do Curso Introdução à Instrumentação Oftálmica: **O Olho Humano e as Ametropias Oculares**, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, p.2, 2005.

WITTE, H. **Máquinas Ferramenta**, Editora Hermus, p.234, 1998.

## APÊNDICE

Programas em linguagem C, responsável por controlar todo o ciclo de acionamentos do eletroímã e motor de passo, e mostrar no *display LCD* o número de ciclos já executados. O primeiro estabelece as definições de sistema para o PIC utilizado, nomeado como TI\_Defines.h e o segundo é o programa principal TI\_Main.c.

### TI\_Defines.h

```
#include <16F877A.h>
#device adc=8

//Configurações iniciais para o PIC

#FUSES NOWDT          //No Watch Dog Timer
#FUSES HS              //High speed Osc (> 4mhz)
#FUSES NOPUT           //No Power Up Timer
#FUSES NOPROTECT       //Code not protected from reading
#FUSES NODEBUG          //No Debug mode for ICD
#FUSES NOBROWNOUT      //No brownout reset
#FUSES NOLVP            //No low voltage prgming, B3(PIC16) or B5(PIC18) used for I/O
#FUSES NOCPD             //No EE protection
#FUSES NOWRT           //Program memory not write protected

#use delay(clock=12000000)

#use fast_io(a)
#use fast_io(b)

//Saídas
#define EI                PIN_A0 // Eletroimã

#define COIL_A1            PIN_A1 // Bobinas Motor de Passo
#define COIL_A2            PIN_A2 //
#define COIL_B1            PIN_A3 //
#define COIL_B2            PIN_C1 //

//Entradas
#define BOT               PIN_A5 // Botão

//Pinos do Display LCD
#define ARC1              PIN_B0
#define ARC2              PIN_B1
#define ARC3              PIN_B2
#define ARC4              PIN_B3
#define ARC5              PIN_B4
#define ARC6              PIN_B5
#define ARC7              PIN_B6
#define ARC8              PIN_B7
#define enable            PIN_D7
#define rs                PIN_D6
```

```

//Constantes
#define VOLTA      200
#define PPS        150

#define LIGADO      1
#define PARADO     0

```

### **TI\_Main.c**

```

#include "TI_Defines.h"
#include <string.h>

//Funções
void init_Ports(void);
void Bobinas(int1 a1,int1 a2,int1 b1, int1 b2);
void passo_Mot(void);
void Mot_45(void);
void aciona_Ima(void);
void executa_Ciclo(void);
void desliga_Mot(void);
void envia_byte(char _rs,char _byte);
void inicializa_lcd(void);
void envia_char(char endereco, char letra);
void escreve_lcd(char end, char texto[]);
void atualiza_lcd(void);

unsigned char step_atual, cont, status;

//Variáveis do display LCD
char    sbuf[16];
int     j_lcd, tam_string;
char M1[17]={"Teste de impacto"};
char M2[11]={"Contagem: "};
char M3[17]={"Ciclo Parado! "};

//Interrupção
#define INT_RTCC
void RTCC_isr()
{
    clear_interrupt(INT_RTCC);
    if(status==LIGADO) {
        executa_Ciclo();
        status=PARADO;
        delay_ms(1000);
    }
}

//Ligado a Tomada
void main(void) {
    init_Ports();
    delay_ms(2000);
    inicializa_lcd();
    setup_timer_0(RTCC_INTERNAL|RTCC_DIV_16); //overflow 1ms
    enable_interrupts(INT_RTCC);
    enable_interrupts(GLOBAL);
    step_atual=0;
    cont=0;
    status=PARADO;
}

```

```

while(1) {
    atualiza_lcd();
    if(input(BOT)) {
        while(input(BOT));
        status=LIGADO;
    }
}

//Inicializa portas
void init_Ports(void) {
/////////////////76543210///
    set_tris_a(0b00100000);
    set_tris_b(0b00000000);

    setup_adc_ports(NO_ANALOGS);
    setup_adc(ADC_OFF);

    output_high(EI);
    desliga_Mot();
}

//Deliga motor
void desliga_Mot(void) {
    output_low(COIL_A1);
    output_low(COIL_A2);
    output_low(COIL_B1);
    output_low(COIL_B2);
}

//Variaveis Bobinas
void Bobinas(int1 a1,int1 a2,int1 b1, int1 b2) {
    output_bit(COIL_A1,a1);
    output_bit(COIL_A2,a2);
    output_bit(COIL_B1,b1);
    output_bit(COIL_B2,b2);
}

//Sequencia de Pulso
void passo_Mot(void) {
    switch(step_atual) {
        case 0:
            Bobinas(1,1,0,0);
            step_atual=1;
            break;
        case 1:
            Bobinas(0,1,1,0);
            step_atual=2;
            break;
        case 2:
            Bobinas(0,0,1,1);
            step_atual=3;
            break;
        case 3:
            Bobinas(1,0,0,1);
            step_atual=0;
            break;
    }
}

```

```

//Rotaciona motor por 45 graus
void Mot_45(void) { //Dir = Direção
    int i;
    for(i=0; i<VOLTA/8; i++) {
        passo_Mot();
        delay_ms(1000/PPS); //Ajustar Velocidade
    }
}

//Liga e Desliga Eletroima
void aciona_lma(void) {
    output_low(EI);
    delay_ms(70);
    output_high(EI);
}

//Ciclo de oito óculos
void executa_Ciclo(void) {
    int j;
    for(j=0;j<8;j++) {
        delay_ms(3700);
        aciona_lma();
        cont++;
        atualiza_lcd();
        delay_ms(1200);
        if(j<7)Mot_45();
        if(input(BOT)){ //Interrupção do ciclo
            escreve_lcd(0x80,M3);
            while(input(BOT));
            break;
        }
    }
    delay_ms(4500);
    desliga_Mot();
}

/****************************************/
///////////Funções do Display LCD///////////
/****************************************/
//Variáveis do display LCD
char sbuf[16];
int j_lcd, tam_string;
char M1[17]={"Teste de impacto"};
char M2[11]={"Contagem: "};

void envia_byte(char _rs,char _byte)
{
    output_bit(enable,0);
    output_bit(ARC1,_byte & 0b0001);
    output_bit(ARC2,(_byte>>1) & 0b0001);
    output_bit(ARC3,(_byte>>2) & 0b0001);
    output_bit(ARC4,(_byte>>3) & 0b0001);
    output_bit(ARC5,(_byte>>4) & 0b0001);
    output_bit(ARC6,(_byte>>5) & 0b0001);
    output_bit(ARC7,(_byte>>6) & 0b0001);
    output_bit(ARC8,(_byte>>7) & 0b0001);
    output_bit(rs,_rs);
    output_bit(enable,1);
    output_bit(enable,0);
}

```

```

void inicializa_lcd(void)
{
    delay_ms(1000);
    envia_byte(0,0b00111100);
    delay_us(80);
    envia_byte(0,0b00111100);
    delay_us(80);
    envia_byte(0,0b00001100);
    delay_us(80);
    envia_byte(0,0b00000001);
    delay_us(2500);
    envia_byte(0,0b00000110);
    delay_us(80);
}

void envia_char(char endereco, char letra)
{
    delay_us(50);
    envia_byte(0,endereco);
    delay_us(50);
    envia_byte(1,letra);
    delay_us(50);
}

void escreve_lcd(char end, char texto[])
{
    tam_string = strlen(texto);
    for(j_lcd=0;j_lcd<tam_string;j_lcd++)
    {
        envia_char(end , texto[j_lcd]);
        end++;
    }
}

//Atualiza o Visor LCD
void atualiza_lcd(void)
{
    escreve_lcd(0x80,M1);
    sprintf(sbuf,"%4u",cont);
    escreve_lcd(0xCC,sbuf);
    escreve_lcd(0xC0,M2);
}

```