

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

**AUTOMATIZAÇÃO DO TESTE DE
MEDIDA DE IMPACTO EM LENTES
SOLARES**

ALUNO: Guilherme Mashio Iwamoto

ORIENTADORA: Prof.^ª Dr.^ª Liliane Ventura

São Carlos

2012

GUILHERME MASHIO IWAMOTO

**AUTOMATIZAÇÃO DO TESTE DE
MEDIDA DE IMPACTO EM LENTES
SOLARES**

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

Curso de Engenharia Elétrica com ênfase em
Eletrônica

ORIENTADORA: Prof.^a Dr.^a Liliane Ventura

São Carlos

2012

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

I96a Iwamoto, Guilherme Mashio
AUTOMATIZAÇÃO DO TESTE DE MEDIDA DE IMPACTO EM
LENTEIS SOLARES / Guilherme Mashio Iwamoto; orientadora
Liliane Ventura. São Carlos, 2012.

Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica com
ênfase em Eletrônica) -- Escola de Engenharia de São
Carlos da Universidade de São Paulo, 2012.

1. Resistência ao Impacto. 2. Óculos de Sol. 3. NBR
15111. 4. Norma para Óculos de Sol. I. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome: Guilherme Mashio Iwamoto

Título: “Automatização do Teste de Medida de Impacto em Lentes Solares”

*Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado
em 10 / 01 / 2013,*

com NOTA 10,0 (dez, zero), pela Comissão Julgadora:

Profa. Associada Liliane Ventura Schiabel (Orientadora)
SEL/EESC/USP

Prof. Assistente Carlos Goldenberg
SEL/EESC/USP

Prof. Titular Alberto Cliquet Júnior
SEL/EESC/USP

Coordenador da CoC-Engenharia Elétrica - EESC/USP:
Prof. Associado Homero Schiabel

Agradecimentos

À minha família que sempre me apoiou para que eu conquistasse mais uma etapa de minha vida e minha namorada pela compreensão e companheirismo apesar da distância que vivenciamos nesse período.

Aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia Elétrica que foram e serão importantes por tornarem possível minha graduação.

À professora Liliane pela oportunidade e auxílio em um projeto ao qual me orgulho de ter feito parte.

À FAPESP (processo 2011/06079-2), à COC Elétrica e ao Laboratório de Instrumentação Oftalmica, pelo apoio financeiro deste projeto.

Ao Rui Bertho por todo o esforço e contribuição na oficina da mecânica.

Ao Odair pela ajuda na confecção das placas.

Aos integrantes do LIO pela ajuda durante todo o desenvolvimento.

E a todos aqueles que de alguma forma me ajudaram e tornaram possível a realização desse trabalho.

Resumo

Um dos testes exigidos pela norma brasileira ABNT NBR15111 (2004) para óculos de sol é a resistência ao impacto. Este trabalho faz parte de um projeto maior, onde os sistemas de medição que cumprem a norma estão sendo desenvolvidos. O teste refere-se ao impacto uma esfera de dimensões e peso específicos, caindo livremente de determinada altura para atingir as lentes dos óculos de sol, onde fraturas devem ser identificadas. Este trabalho consistiu na construção do sistema manual de acordo com os requisitos da norma referida e na automatização do mesmo para utilização em escala maior. O sistema permite testar 10 lentes por vez. As lentes (10) são colocadas em uma esteira que as posiciona individualmente para receber o impacto da esfera, solta por um eletroímã. Um sistema de reposição automático para as esferas é feito por uma helicóide fixa a um eixo que gira e conduz a esfera de volta para o suporte, na parte superior do sistema. O sistema é controlado por um microcontrolador e a interface é um visor LCD e dois botões de controle, permitindo a utilização de método automático ou manual. O sistema reduz os tempos de testes e contribui para um menor índice de erros em relação a um método manual.

Palavras-chave: Resistência ao Impacto, Óculos de Sol, NBR 15111, Norma para Óculos de Sol

Abstract

One of the required tests by the Brazilian standard ABNT NBR15111(2004) for sunglasses is the resistance to impact. This work is part of a larger project, where measurement systems that comply with the standard are being developed. The test refers to a impact of an sphere of specific dimensions and weight, that falls freely from a certain height to hit the lenses of the sunglasses and furthermore check on fracture. This work consists on building the system according to the requirements of the referred standard and then automates it for a scale use. The system allows testing 10 lenses at a time. Lenses (10) are placed in a conveyor that is positioned to receive the impact of the ball that is released by an electromagnet. An automatic replacement system for the spheres consist on using a helical fixed to an axis that rotates and guides the ball back to the support, at the top of the system. The system is controlled by a microcontroller and the interface is an LCD display and control buttons, allowing the use of automatic or manual method. The system significantly reduces the testing time and contributes to a lower failure rate in comparison to a manual method.

Keywords: Impact Resistance, Sunglasses, NBR 15111, Sunglasses Standards

Lista de Figuras

| | |
|---|----|
| FIGURA 1 CAMADAS DE ÓCULOS DE ALTA CLASSIFICAÇÃO (RETIRADO DE NEVES, R. e CASANOVA, F., 2004)..... | 3 |
| FIGURA 2 CIRCUITO DO PROTÓTIPO MANUAL..... | 11 |
| FIGURA 3 ELETROÍMÃ UTILIZADO NO PROJETO..... | 12 |
| FIGURA 4 DIAGRAMA DE BLOCOS DO SISTEMA..... | 13 |
| FIGURA 5 SUPORTE PARA AS ESFERAS CONSTRUÍDO EM FORMA CÔNICA..... | 14 |
| FIGURA 6 MOTOR DE PASSO ACOPLADO NA ESTEIRA..... | 15 |
| FIGURA 7 MOTOR DC UTILIZADO NO PROJETO..... | 16 |
| FIGURA 8 ESQUEMATIZAÇÃO DA PINAGEM DO MICROCONTROLADOR (RETIRADO DE MICROCHIP, 2009)..... | 16 |
| FIGURA 9 FOTODIODO RECEPTOR UTILIZADO NO PROJETO..... | 17 |
| FIGURA 10 LIGAÇÕES DO FOTODIODO RECEPTOR..... | 18 |
| FIGURA 11 TELA DE LCD..... | 19 |
| FIGURA 12 LIGAÇÕES DA TELA DE LCD..... | 19 |
| FIGURA 13 BOTÃO UTILIZADO NO SISTEMA..... | 20 |
| FIGURA 14 LIGAÇÕES DOS BOTÕES..... | 20 |
| FIGURA 15 ESQUEMÁTICO DO DRIVER DO MOTOR DE PASSO (RETIRADO DE STMICROELECTRONICS, 2000) | 21 |
| FIGURA 16 LIGAÇÕES DO MOTOR DE PASSO..... | 22 |
| FIGURA 17 LIGAÇÕES DO ELETROÍMÃ..... | 23 |
| FIGURA 18 GRÁFICO DA CORRENTE DE DRENO X TENSÃO DE PORTA-FONTE DA FOLHA DE DADOS (RETIRADO DE FAIRCHILD SEMICONDUCTOR, 1999)..... | 23 |
| FIGURA 19 LIGAÇÕES DO MOTOR DC..... | 24 |
| FIGURA 20 FONTE CHAVEADA UTILIZADA NO PROJETO..... | 25 |
| FIGURA 21 FLUXOGRAMA DO PROGRAMA DESENVOLVIDO..... | 26 |
| FIGURA 22 CICLO DAS TELAS DO PROGRAMA..... | 27 |
| FIGURA 23 ESQUEMÁTICO DA PARTE ELETRÔNICA..... | 29 |
| FIGURA 24 VISUALIZAÇÃO DAS PLACAS PROJETADAS..... | 30 |
| FIGURA 25 VISUALIZAÇÃO 3D DAS PLACAS PROJETADAS..... | 30 |
| FIGURA 26 PROTÓTIPO MANUAL..... | 32 |
| FIGURA 27 ESTEIRA AUTOMATIZADA..... | 33 |
| FIGURA 28 REGIÃO DE IMPACTO DA ESTEIRA..... | 33 |
| FIGURA 29 PARTE INFERIOR DO SISTEMA DE REPOSIÇÃO DAS ESFERAS..... | 34 |

| | |
|---|----|
| FIGURA 30 PARTE SUPERIOR DO SISTEMA DE REPOSIÇÃO DAS ESFERAS..... | 34 |
| FIGURA 31 MOTOR DC ACOPLADO AO EIXO DA HELICÓIDE..... | 35 |
| FIGURA 32 PLACA DO MICROCONTROLADOR COM SEUS PERIFÉRICOS..... | 35 |
| FIGURA 33 PLACA DO MOTOR DE PASSO..... | 36 |
| FIGURA 34 PLACA DO MOTOR DC E ELETROÍMÃ..... | 36 |
| FIGURA 35 TELA DE LCD E BOTÕES..... | 37 |
| FIGURA 36 PROTÓTIPO AUTOMATIZADO..... | 38 |
| FIGURA 37 TEMPO DE TESTES PARA 5 ÓCULOS DE SOL..... | 39 |

Lista de Tabelas

| | |
|--|----|
| TABELA 1: ESPECIFICAÇÕES DO TESTE DE IMPACTO NO MUNDO. (RETIRADO DE DAIN, S., 2011) | 6 |
| TABELA 2: RESULTADOS DOS TESTES | 39 |

Sumário

| | |
|---|----|
| 1. Introdução..... | 1 |
| 1.1. Histórico..... | 1 |
| 1.2. Material das Lentes..... | 2 |
| 1.2.1. Lentes Orgânicas..... | 2 |
| 1.2.1.1. Orgânica Comum..... | 2 |
| 1.2.1.2. Orgânica Fotocromática..... | 2 |
| 1.2.1.3. Orgânica Polarizada..... | 3 |
| 1.2.2. Lentes de Cristal..... | 4 |
| 1.2.2.1. Cristal Comum..... | 4 |
| 1.2.2.2. Cristal Fotocromática..... | 4 |
| 1.2.2.3. Cristal Colorida..... | 4 |
| 1.2.3. Lentes de Policarbonato..... | 4 |
| 1.3. Trauma Ocular..... | 5 |
| 1.4. Certificado de Qualidade no Brasil..... | 5 |
| 1.5. Teste de Impacto..... | 5 |
| 1.5.1. Requisitos do Teste de Resistência ao Impacto da NBR15111(2004)..... | 6 |
| 1.5.2. Cálculo da Energia de Impacto sobre a Lente..... | 7 |
| 2. Objetivo..... | 9 |
| 3. Materiais e Métodos..... | 11 |
| 3.1. Protótipo para Testes Manuais..... | 11 |
| 3.2. Sistema Automatizado..... | 12 |
| 3.2.1. Parte Mecânica..... | 13 |
| 3.2.2. Parte Eletrônica..... | 14 |
| 3.2.2.1. Atuadores..... | 14 |
| 3.2.2.2. Microcontrolador e Componentes Eletrônicos..... | 16 |
| 3.2.3. Alimentação..... | 24 |
| 3.2.4. Software..... | 25 |
| 3.2.5. Placas..... | 28 |
| 4. Resultados..... | 31 |
| 5. Discussão..... | 41 |
| 6. Conclusão..... | 43 |
| 7. Referências Bibliográficas..... | 45 |

1. Introdução

Os óculos de sol são cada vez mais utilizados pela população em geral. Seja por estética ou necessidade, a sua utilização é muito importante para proteção da radiação ultravioleta, pois a exposição direta dos raios solares ao olho humano por muito tempo é prejudicial, podendo causar uma série de doenças oculares. (NEVES, R. e CASANOVA, F., 2004)

Entretanto, o comércio de óculos de sol sem certificação gera dúvidas para o consumidor, pois a utilização de óculos de sol sem proteção ultravioleta é mais prejudicial do que o não uso destes (SILVERMAN, C., 2002)

Assim, uma das frequentes solicitações para o Laboratório de Instrumentação Oftálmica – EESC/USP (LIO) é a de testes de óculos de sol que estejam de acordo com a norma brasileira NBR15111(2004). Como no Brasil não há laboratórios ou empresas que realizem todos os testes exigidos por esta norma, o LIO está desenvolvendo técnicas e protótipos para estes testes. Um dos testes necessários e que é o objetivo do presente trabalho é o teste de impacto em lentes solares, sem grau, que verifica se, em caso acidental, a lente não venha a rachar ou partir, podendo causar danos ao usuário.

1.1 Histórico

Nos anos 40, as lentes de óculos de sol eram feitas apenas de vidro ou resina plástica com coloração, sendo que a proporção de óculos de sol fabricadas com lentes de vidro era muito maior que as fabricadas com resina plástica. Em 1970, o policarbonato começa a ser utilizado nas lentes de óculos, e passa a ser mais utilizado devido a sua alta resistência. (DAIN, S., 2011)

Em 1972, nos Estados Unidos, a primeira tentativa de normas para óculos de sol foi feita apenas com testes de resistência, sendo reescrita 7 anos depois para verificar outras características dos óculos de sol. Entretanto, as normas de 1972 serviram como base dos testes de impacto em lentes solares nos Estados Unidos. (DAIN, S., 2003)

1.2 Material das lentes

O Vidro (seja destemperado, temperado com calor ou temperado quimicamente) é um material rígido e quebradiço com um padrão de fratura que representa um perigo para os olhos e face. A resina plástica, sendo um polímero reticulado, é menos rígida, mas ainda mantém características frágeis e um padrão de fratura com bordas afiadas, que também são perigosos para os olhos e rosto. As lentes de resina plástica são duras sendo estas feitas pela injeção de um molde com o monômero líquido e um catalisador de polimerização, permitindo que ocorra em um molde. O policarbonato é um polímero termoplástico, sem reticulação, que se deforma em vez de fraturar. O polímero líquido aquecido é injetado dentro do molde e deixa-se esfriar. (DAIN, S., 2011)

As lentes de óculos de sol podem ter diferentes materiais na sua composição. Em sua classificação elas estão caracterizadas em três grupos: lentes orgânicas (resinas plásticas); lentes de cristal (vidro); e lentes de policarbonato. Apesar de existirem muitas variações de materiais para as lentes de óculos, por se tratar de um teste em óculos de sol sem grau, variações dos materiais que caracterizam a curvatura das lentes para óculos de grau, não serão caracterizadas na descrição abaixo.

1.2.1. Lentes Orgânicas

1.2.1.1. Orgânica Comum

As lentes orgânicas são mais leves que as de cristal, porém mais grossas. Apesar de ser susceptível a riscos, trata-se de um material com alta resistência a impactos. De certa forma, tal deficiência pode ser contornada, uma vez que a resina orgânica aceita o tratamento anti-risco (NEVES, R. e CASANOVA, F., 2004).

1.2.1.2. Orgânica Fotocromática

São lentes em resina fotocromática, 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. (NEVES, R. e CASANOVA, F., 2004).

1.2.1.2. Orgânica Polarizada

As lentes polarizadas filtram até 99% do brilho, ou da luz refletida na horizontal. Já a luz refletida na vertical, útil para os olhos, passa pelas lentes sem nenhuma interferência. É composta por 7 camadas: filtro polaróide para eliminação do brilho, duas camadas de filtro de absorção ultravioleta até 400 nm, duas camada de suporte para resistência a quebra e duas camadas de resistência ao risco. (NEVES, R. e CASANOVA, F., 2004)

A Figura 1 mostra essa estrutura simplificada desta lente. Na figura é mostrada além das camadas descritas anteriormente, a camada anti-reflexo na parte anterior da lente, que evita o reflexo da luz tanto para o usuário como para quem olhar diretamente para a parte externa da lente, e a camada espelhada, que é utilizada para fins estéticos.

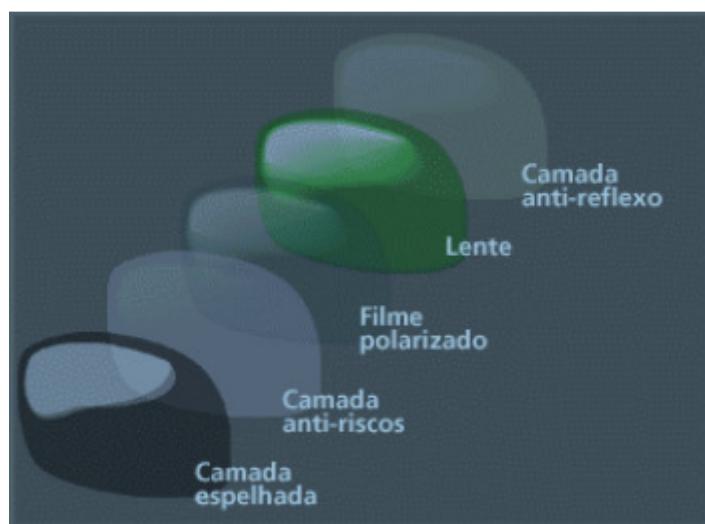


Figura 1: Camadas de Óculos de Alta Classificação
(Retirado de NEVES, R. e CASANOVA, F., 2004)

1.2.2. Lentes de Cristal

1.2.2.1. Cristal Comum

As lentes de cristal são mais pesadas que as lentes orgânicas, entretanto, mais finas e mais resistentes a riscos (NEVES, R. e CASANOVA, F., 2004).

1.2.2.2. Cristal Fotocromática

Escurecem ou clareiam conforme a incidência de raios solares. Possuem as mesmas características das de cristal comum, porém podem ser endurecidas o que as torna mais resistentes aos impactos. (NEVES, R. e CASANOVA, F., 2004).

1.2.2.3. 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).

1.2.3 Lentes de Policarbonato

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 óptico em função da inflexibilidade de suas curvas.

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, mais baratas que as de policarbonato, porém riscam com enorme facilidade (NEVES, R. e CASANOVA, F., 2004).

1.3 Trauma Ocular

O trauma ocular é definido como qualquer prejuízo causado por mecanismos contundentes ou penetrantes no globo ocular e as suas estruturas periféricas, causando variado grau de comprometimento (leve, moderada ou grave), comprometendo a função visual temporária ou permanente. (SANCHEZ, R., PIVCEVIC, D., LEON, A. e OJEDA, M., 2008)

Geralmente as estruturas dos olhos atingidas por um trauma ocular são a córnea e esclera – estruturas externas do olho humano (WEYLL, M., SILVEIRA, R. e JÚNIOR, N., 2002).

Caso os óculos de sol não tenham a proteção adequada em relação ao impacto, ao ser atingido, parte de sua lente pode atingir o olho, causando um trauma ocular. Esportistas que se utilizam da velocidade ao ar livre, geralmente utilizam óculos de sol como proteção para objetos que possam vir na direção do olho, sendo item de segurança imprescindível para esse tipo de esporte.

Pode-se prevenir ou, pelo menos, minimizar os efeitos da maioria das lesões oculares (e faciais) através de equipamentos de proteção. Óculos de sol com lentes de policarbonato de 2,00 mm são capazes de dar proteção adequada e esteticamente aceitável para o uso rotineiro em pessoas ativas. (PORTIS, M., VASSALLO A., ALBERT, M. 1981).

1.4. Certificado de Qualidade no Brasil

A norma NBR 15.111:2004 é um instrumento legal de garantia de qualidade para consumidores e comerciantes. Os óculos de sol que forem aprovados por todos os testes exigidos pela norma, exibirão um selo de certificação da ABNT, assim os consumidores terão a certeza de que os óculos de sol que estão adquirindo estão dentro dos padrões de qualidade e fornecem a segurança necessária aos olhos (BEZERRA, I., SOUZA, J., MADURO, R., 2009).

1.5. Teste de Impacto

O teste de impacto, também conhecido como “drop ball test” é um teste em que uma esfera é solta e atinge o objeto a ser testado de uma certa altura. Este tipo de

Este teste é utilizado mundialmente para testar se um material resiste a um impacto específico. Para obter diferentes valores de impacto, a massa da esfera e a altura que ela é solta podem ser alterados.

Apesar deste trabalho estar abordando a norma brasileira, é importante ressaltar que as especificações variam em outros países ou continentes. A tabela 1 mostrada a seguir mostra as diferenças entre as especificações dos Estados Unidos, Austrália, Nova Zelândia e Europa.

Tabela 1: Especificações do Teste de Impacto no Mundo.

(Adaptado de DAIN, S., 2011)

| Norma(s) | Diâmetro (mm) | Massa (g) | Altura da queda (m) | Velocidade (m/s) | Energia (J) |
|---|---------------|-----------|---------------------|------------------|-------------|
| Z80.3 (EUA) AS/NZS 1067 (AUS/NZL) | 15,9 | 16 | 1,27 | 5,0 | 0,20 |
| EN 1836 (Europa) | 16 | 16 | 1,30 | 5,1 | 0,21 |

Além dessas diferenças, pode haver diferenças na execução do teste, pois apesar de Estados Unidos, Austrália e Nova Zelândia apresentarem as mesmas especificações da esfera e altura do teste, a norma estadunidense, assim como a brasileira, permite que o teste seja feito com as lentes soltas ou montadas na armação. Já a norma da Austrália e Nova Zelândia exigem que seja feita com as lentes na armação e esta esteja fixa a um suporte com a forma de uma cabeça humana, sendo que caso da lente se soltar os óculos são reprovados no teste. Porém, como o trabalho avalia a norma brasileira, isso não irá interferir no projeto desenvolvido.

1.5.1. Requisitos do Teste de Resistência ao Impacto da NBR15111(2004)

As especificações do teste de impacto das lentes dos óculos de sol no Brasil são da norma brasileira, NBR15.111:2004, consiste em uma esfera de aço de 1,59 cm de diâmetro, pesando 15,9 g ser solta de uma altura de 127 cm, sobre a superfície horizontal convexa da lente. A esfera deve atingir o alvo dentro de um círculo de 1,59 cm de diâmetro localizado em torno do centro geométrico da lente. A esfera pode ser guiada por um tubo que se estenda até aproximadamente 10,16 cm da lente, desde

que este não interfira na queda da esfera. As lentes podem estar na armação ou estarem soltas.

Para que a lente seja aprovada no teste, ela não pode deformar nem fraturar. A lente é considerada fraturada quando rachar por toda sua espessura e se rachar através de um diâmetro completo em dois ou mais pedaços, ou se qualquer material visível da lente visível a olho nu separar-se da lente. A deformação ocorre quando surgir uma impressão em um papel branco colocada no lado oposto àquele atingido pela esfera.

Para que tenhamos o Brasil incluído nos dados da Tabela 1, foi realizado o cálculo da energia de impacto sobre a lente de acordo com os parâmetros da norma brasileira NBR15111(2004).

1.5.2. Cálculo da Energia de Impacto sobre a Lente

Considerando que a queda livre ocorra sem interferências, foram calculados o tempo de queda, a velocidade final da esfera antes do impacto e a energia que a esfera irá transferir para as lentes de óculos solares. Através da teoria de física, sabe-se que através dos valores da altura e da gravidade, é possível calcular o tempo de queda (TIPPLER, P., MOSCA, G., 2009)

A equação 1 foi utilizada para calcular o tempo de queda:

$$h = g \cdot \frac{t^2}{2} \quad (1)$$

Onde h é a altura em metros, g é a aceleração da gravidade em m/s^2 e t é o tempo em segundos. Sabendo que a altura é de 1,27 m e considerando a aceleração da gravidade como $9,81 \text{ m/s}^2$, o tempo de queda obtido foi de 0,509 segundos.

A velocidade final pode ser calculada pela seguinte equação:

$$v_f = g \cdot t \quad (2)$$

Onde v_f é a velocidade final em m/s . Considerando os valores obtidos na equação 3.1, a velocidade final é de $4,99 \text{ m/s}$, aproximadamente $5,0 \text{ m/s}$.

A energia transferida da esfera para a lente é calculada utilizando a seguinte equação:

$$E = m \cdot \frac{v^2}{2} \quad (3)$$

Esta equação que representa a energia cinética antes do impacto, onde E é a energia em Joules, m é a massa em kg e v a velocidade em m/s. Sendo a massa de 16 g que equivale a 0,016 kg e a velocidade de 5,0 m/s, a energia transferida é de 0,2 J.

Portanto, quando a esfera atinge a lente, 0,2 J são absorvidos pela lente, essa absorção causa deformação que pode levar a fraturas quando esta não estiver dentro dos padrões de qualidade exigidos pela norma.

Os valores obtidos teoricamente foram confirmados pela tabela 1

2. Objetivo

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um sistema único com opções de operação manual ou automatizada para 10 lentes desmontadas, redução dos tempos de teste e maior eficácia em sua execução.

3. Materiais e Métodos

3.1 Protótipo para testes manuais

O sistema manual desenvolvido consiste em um suporte de ferro onde está colocado um suporte para fixar os óculos de sol e um suporte de esferas, com um eletroímã. Um botão do tipo “push-button” permite que o eletroímã seja momentaneamente desligado para que a esfera seja solta e o teste realizado. Uma fonte - 12 V/1 A - fornece tensão ao eletroímã para manter as esferas suspensas. Assim, este sistema manual é adequado para o teste de resistência ao impacto requerido pela norma. A figura 3 ilustra o circuito eletrônico do sistema manual desenvolvido.

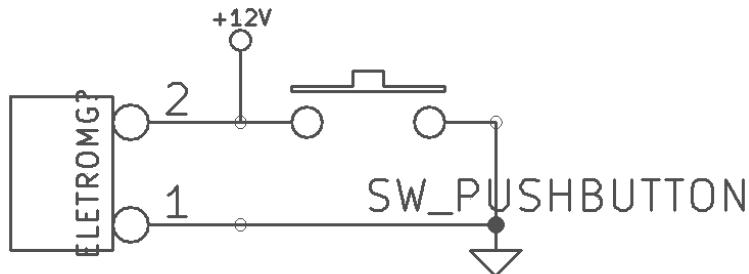


Figura 2: Circuito do Protótipo Manual

A norma brasileira NBR15111(2004) especifica as medidas da esfera de aço a ser utilizada no teste. Segundo a norma, a esfera deve ter 1,59 cm de diâmetro e pesar aproximadamente 15,9 g. Não havendo especificação do aço a ser utilizado na esfera pela norma, foi escolhido o aço AISI 440-C, muito embora os fabricantes e fornecedores das esferas aconselhem a utilização do aço cromo, que é normalmente utilizado nos testes de impacto. A experiência com esse tipo de material em trabalhos anteriores demonstrou que o material tende a enferrujar muito facilmente, o que compromete o teste. Porém, não foram encontradas as medidas específicas para esse tipo de aço, geralmente o peso ultrapassava aquele exigido pela norma. Para o trabalho foi considerado também o magnetismo presente no material, pois o uso do eletroímã para soltar a esfera da altura correta, não permite que o material seja pouco magnético.

O eletroímã utilizado, o modelo é o 3040 - Magtek. O ímã opera com uma tensão de 12V e corrente nominal de 170 mA, podendo suportar até 6 kg de peso. Experimentalmente foi verificado que o eletroímã mesmo desligado continuava a manter a esfera fixa, o que impedia o seu correto funcionamento. Esse fenômeno é conhecido como cargas residuais, que mantém cargas positivas na superfície do eletroímã, impedindo que a esfera seja solta. (HEWITT, P., 2002).

Por isso, foi necessário utilizar um material isolante que permitisse que a esfera permanecesse fixa ao eletroímã somente quando este estivesse ligado. O material utilizado foi um adesivo emborrachado, que por ter uma pequena espessura permitiu manter as esferas fixas com o eletroímã acionado.



Figura 3: Eletroímã Utilizado no Projeto.

3.2 Sistema automatizado

O sistema automático é composto por uma parte mecânica e outra eletrônica. O diagrama de blocos do sistema é mostrado na figura 4:

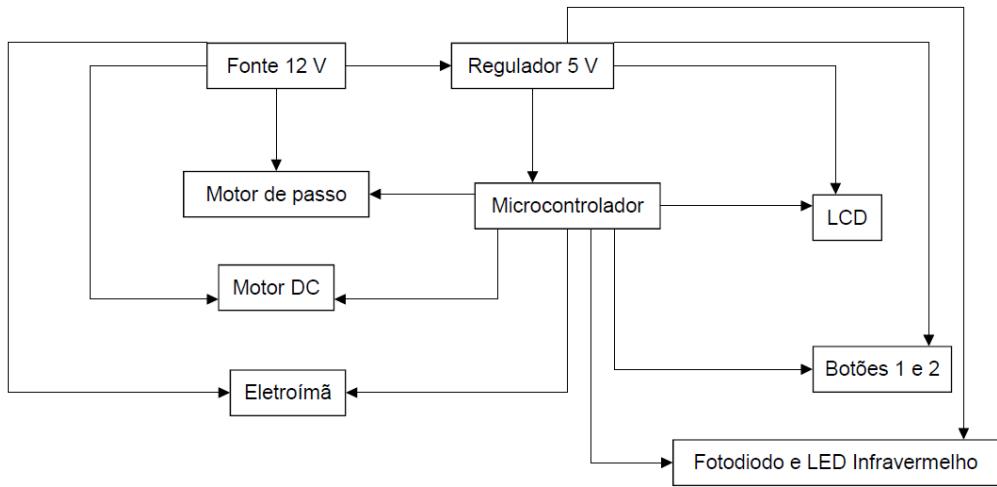


Figura 4: Diagrama de Blocos da Automação do Sistema

3.2.1 Parte Mecânica

Para a parte mecânica foi utilizado uma esteira rolante, responsável pela movimentação das lentes para o impacto. A esteira utilizada nesse projeto apresenta 10 cm de largura e 92 cm de comprimento. Como serão utilizadas no máximo 10 lentes para o teste, a esteira foi dividida em 10 espaços de 9,2 cm por chapas de alumínio de 1 mm de espessura. A divisão se mostrou necessária para evitar que a esfera utilizada em um impacto não atingisse as lentes anteriores ou posteriores ao impacto desta, o que invalidaria o teste.

O suporte para as esferas em forma cônica é a melhor disposição para que as esferas acondicionadas em grande número não travem ao serem conduzidas para a posição de serem liberadas. O eletroímã foi fixado nesse suporte de forma a permitir que apenas uma esfera seja solta por vez, como mostra a figura 8. O suporte tem capacidade para 50 esferas. Utilizando superfícies levemente inclinadas, foi possível construí-la de forma que a esfera sempre seja direcionada para o eletroímã, isso garante que o teste seja feito sem interrupções e reduzindo o tempo de teste. Como a esfera se mantém no suporte apenas quando o eletroímã está acionado, quando ele for desligado, é necessário colocar uma trava que evita que todas as esferas caiam, podendo danificar uma lente ou o superfície da esteira.



Figura 5: Suporte para as Esferas construído em forma cônica.

Para resolver problemas relativos à altura do suporte das esferas, pois devido à altura da queda, ao elevar a altura da base onde são posicionadas as lentes, eleva-se a altura do suporte, onde apenas pessoas mais altas poderiam recolocar as esferas no suporte. Porém, ao deixar a altura da base muito baixa, o operador não teria uma posição de trabalho confortável. Assim, foi projetado um sistema automático de reposição das esferas, através de uma helicóide fixada a um eixo e uma guia metálica que encaminha a esfera até o suporte, para melhor interface com o operador do sistema. A helicóide foi feito com um fio de cobre e a guia foi feita de alumínio, mostradas. O eixo é de alumínio e possui 1,8 m de altura e 1,9 cm de diâmetro externo. Assim, após a queda a esfera percorre até a helicóide que ao girar eleva a esfera até o suporte.

3.2.2 Parte Eletrônica

3.2.2.1 Atuadores

Os atuadores do sistema são o eletroímã, motor de passo e o motor DC. Pelas normas brasileiras, a esfera deve ser solta da altura exigida, sem influências que

possam alterar a velocidade e força, ou seja, deve obedecer a queda livre. A solução encontrada foi a utilização de um eletroímã para soltar as esferas. O eletroímã utilizado no sistema automatizado foi o mesmo utilizado no protótipo para o teste manual, assim suas especificações foram descritas anteriormente no item 3.1.

Para a movimentação da esteira foi utilizado um motor de passo, que apesar do motor de passo não apresentar um torque alto, apresenta precisão necessária para posicionar a esteira no momento do impacto. Um posicionamento incorreto acarretaria transtornos. O motor utilizado foi da Tamagawa Seiki. É um motor unipolar de 5 kgf.cm de torque. O modo de operação utilizado é o passo completo com 2 bobinas energizadas simultaneamente em cada passo. O motor possui passo de 1,8º e opera com 12 V de tensão e corrente máxima de 2,4 A, já que cada bobina opera com 6 V e 1,2 A. A figura 6 ilustra o motor acoplado ao sistema.

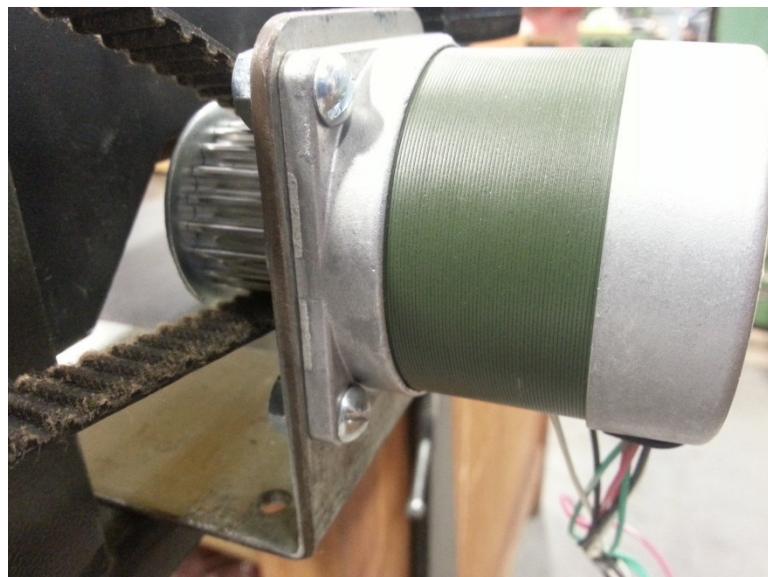


Figura 6: Motor de Passo Acoplado na Esteira

Para movimentação do eixo da helicóide foi utilizado um motor DC com redução. O motor utilizado funciona com 12 V e a corrente máxima é de 1,6 A. A caixa de redução presente no motor é de 1:72, a velocidade do motor sem carga mas, com a redução, é de 83 RPM, sendo o torque máximo de rendimento de 11,1 kgf.cm. Devido aos rolamentos presentes no eixo fixo à helicóide, o torque exigido para rotacionar a helicóide é pequeno, fazendo com que as características desse motor sejam suficientes para atender os requisitos do sistema.

A figura 7 ilustra o motor DC utilizado.



Figura 7: Motor de DC Utilizado no Projeto

3.2.2.2 Microcontrolador e Componentes Eletrônicos

Todo o sistema será controlado por um microcontrolador. Nesse projeto foi utilizado o PIC18F4550 da *Microchip* a pinagem do microcontrolador é apresentada na figura 8:

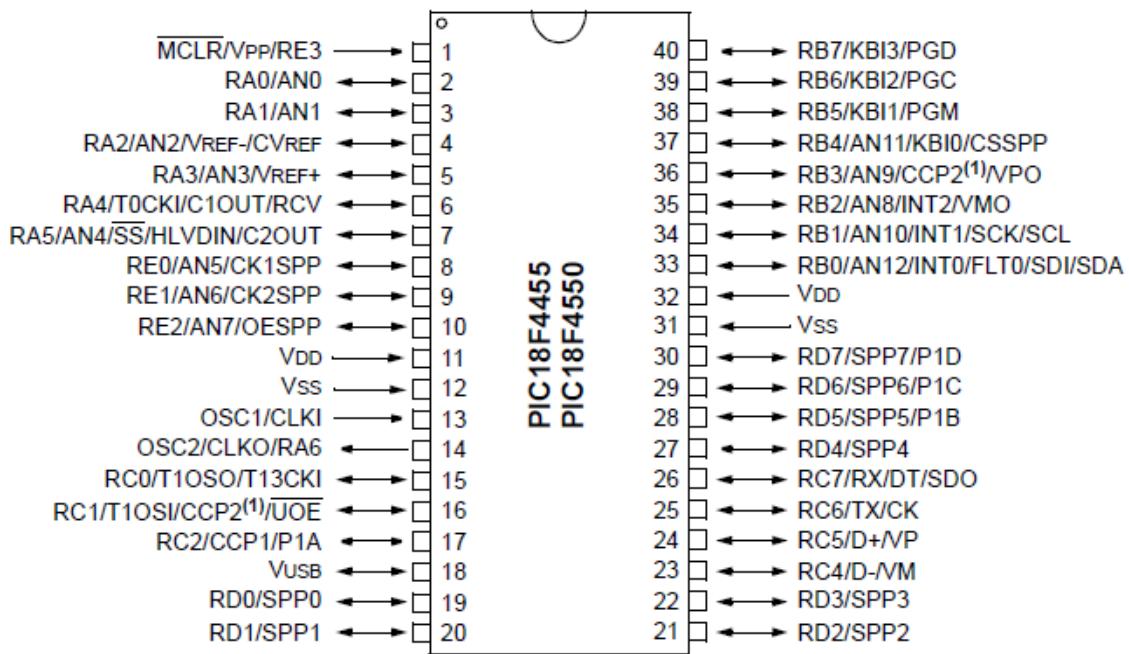


Figura 8: Esquematização da Pinagem do Microcontrolador

(Retirado de *MICROCHIP*, 2009)

O PIC18F4550 apresenta 40 pinos em encapsulamento *PDIP*. O oscilador de cristal utilizado no projeto é de 12 MHz. Sete pinos são essenciais para o funcionamento do microcontrolador: o *Master Clear* (pino 1), a tensão de alimentação (pinos 11 e 32), o aterramento de referência (pinos 12 e 31) e o oscilador (pinos 13 e 14).

Além da utilização desses pinos essenciais, foram utilizados outros pinos que serão descritos a seguir simultaneamente à descrição dos componentes eletrônicos associados a estes.

O posicionamento da esteira para que a lente fique exatamente abaixo do eletroímã poderia ser feito apenas por temporização. Entretanto, no caso de algum problema de fornecimento de energia ou do próprio sistema, esse posicionamento poderia ser descalibrado e deveria estar sempre verificando e, caso não estivesse calibrado, corrigindo. A fim de evitar esse tipo de problema, utilizou-se um fotodiodo receptor (pino 35) para atuar como sensor e assim se ter a certeza de que a posição da esteira está correta. O fotodiodo utilizado no projeto é mostrado na figura 9:



Figura 9: Fotodiodo Receptor Utilizado no Projeto

O fotodiodo apresenta alta resistência (não conduz) na ausência de luz e, quando sob a presença de luz, sua resistência é praticamente nula (conduz), no projeto ele foi montado junto com uma resistência de valor de 100 k Ω , como mostra a figura 10:

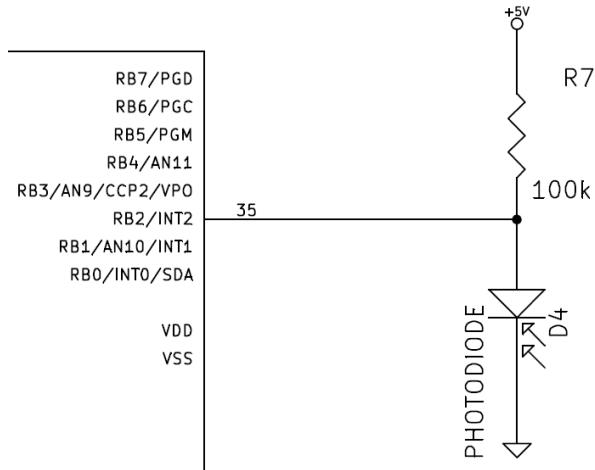


Figura 10: Ligações do Fotodiodo Receptor

O pino 35 é uma das três interrupções externas disponíveis no microcontrolador. No programa foi definido que a interrupção externa ocorre na subida de borda, sendo que a interrupção apenas altera o valor de uma *flag* que será verificada pelo programa principal quando a esteira estiver em movimento. Assim, não importando a posição do ponteiro no programa, quando o fotodiodo não receber luz, sua resistência será infinita (na ordem de $40\text{ M}\Omega$) e assim a tensão de 5 V irá para o pino do microcontrolador ocorrendo a subida de borda e alterando o valor da *flag*.

A luz que o fotodiodo receberá será fornecida por um LED infravermelho (pino 17) que é ligado em série com um resistor de $330\text{ }\Omega$ e aterrado. Logo, quando a saída do PIC estiver em nível alto, o LED se acenderá. Assim, o LED é posicionado de um lado da esteira enquanto o fotodiodo é posicionado do outro lado. Direcionando corretamente o LED e o fotodiodo, a passagem da luz infravermelha será interrompida toda vez que a divisão de alumínio entre os espaços da esteira passar entre o fotodiodo e o LED, assim a esteira será interrompida e o posicionamento estará sempre correto, já que as divisões na esteira são iguais

A interface com o usuário será feita por uma tela de LCD de quatro linhas e 20 colunas (20x4). O modelo utilizado foi o JHD204A. A tela de LCD irá informar as opções a serem escolhidas ou instruções para a utilização do sistema. A tela de LCD será conectada aos pinos de dados 37, 38, 39 e 40, que enviarão as informações que aparecerão na tela e aos pinos de controle 28, 29 e 30 que serão responsáveis pela leitura, escrita e habilitar ou não essas funções. Os outros pinos do LCD são relativos à alimentação do display (pinos 1, 2 e 3 do LCD) e à luz de fundo e contraste (pinos 15

e 16 do LCD). A figura 11 e 12 mostram a tela de LCD e as ligações feitas no LCD respectivamente:



Figura 11: Tela de LCD

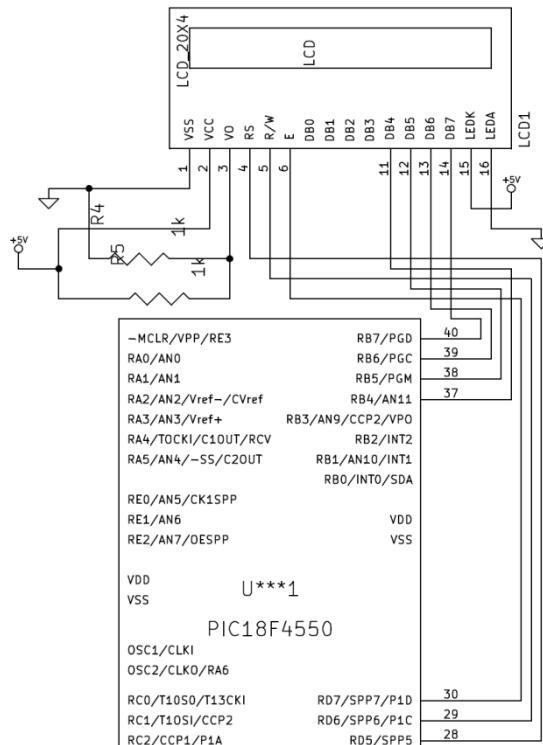


Figura 12: Ligações da Tela de LCD

Para a interface com o usuário, além da tela de LCD, estão presentes dois botões do tipo “push-button” que irão ter diferentes funcionalidades dependendo da parte em que se encontra o sistema. Todas as opções que o botão fornece serão mostradas na parte inferior da tela de LCD. Os botões foram conectados aos pinos 33 e 34, os dois pinos são utilizados pela interrupção externa, assim, como o fotodiodo, a interrupção irá alterar o valor de *flags*, será utilizado uma subida de borda também e cada botão está montado com resistências e capacitores que permitem que a interrupção ocorra apenas quando soltar o botão após pressioná-lo, isso evita que ruídos presentes ao apertar o botão interfiram na leitura do microcontrolador. O botão e o esquema dos botões é mostrado são mostrados respectivamente nas figuras 13 e 14:



Figura 13: Botão utilizado no sistema

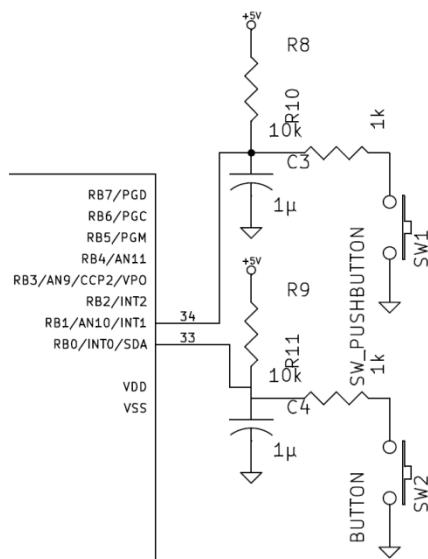


Figura 14: Ligações dos Botões

Para o *driver* do motor de passo foi utilizado o circuito integrado L298N, que pode ser utilizado tanto para motores de passo como motores DC. Para o motor de passo foi utilizada a conexão como descrita na folha de dados, houve necessidade de se utilizar diodos rápidos (*Schotky*) para evitar que a corrente no CI não fosse ultrapassada. Os pinos do L298N são mostrados na figura 15:

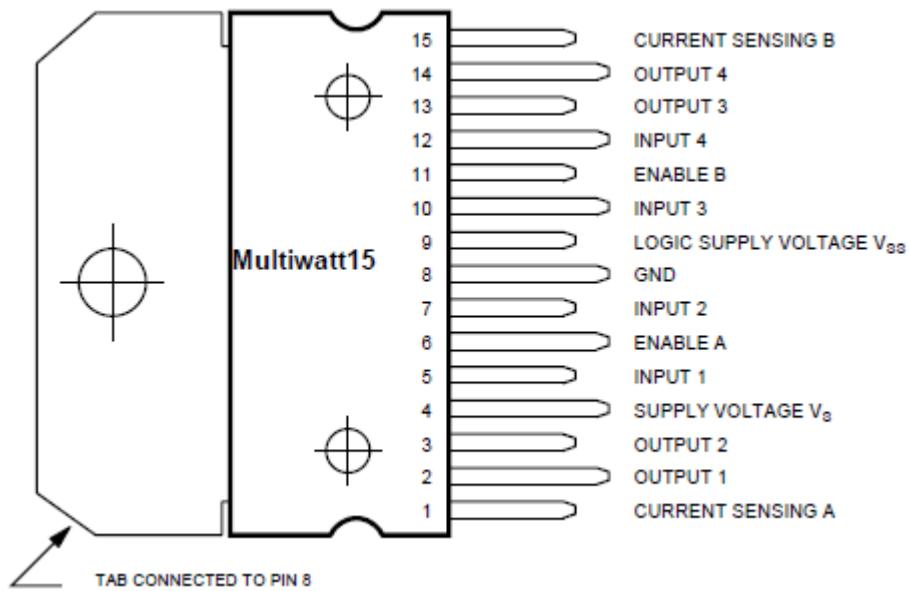


Figura 15: Esquemático do Driver do Motor de Passo
(Retirado de *STMICROELECTRONICS*, 2000)

Os pinos utilizados pelo microcontrolador como saída para o sinal dos passos são os pinos 19, 20, 21 e 22, que são ligados aos pinos 5, 7, 10 e 12 do L298N. O esquema da conexão com o microcontrolador e com o conector do motor de passo, que utiliza quatro fios relacionados a cada uma de suas bobinas, é mostrado na figura 16:

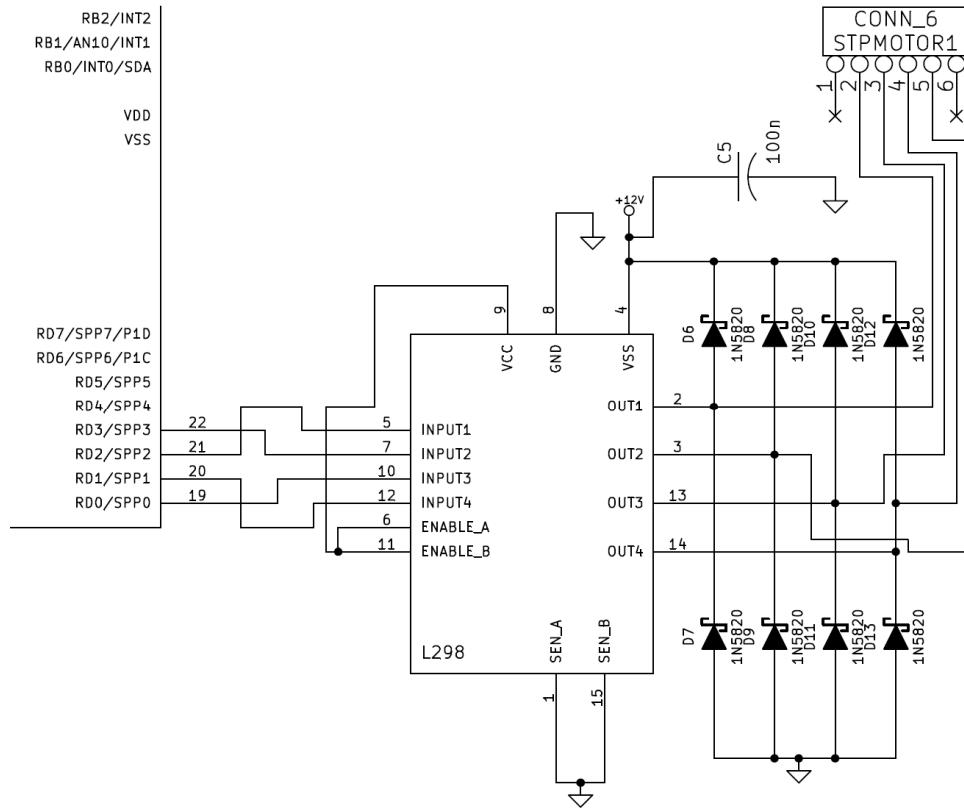


Figura 16: Ligações do Motor de Passo

A tensão necessária para o correto funcionamento do eletroímã é de 12 V. Porém a saída do microcontrolador fornece apenas 5 V. Para corrigir essa diferença, foi utilizado um transistor BC547 que eleva a tensão de 5 V para 12 V. O circuito implementado faz com que a corrente que passa pelo eletroímã seja de 170 mA, o que está dentro da faixa especificada de 100 a 200 mA, fornecido na folha de dados do fabricante. As ligações do eletroímã estão mostradas na figura 17.

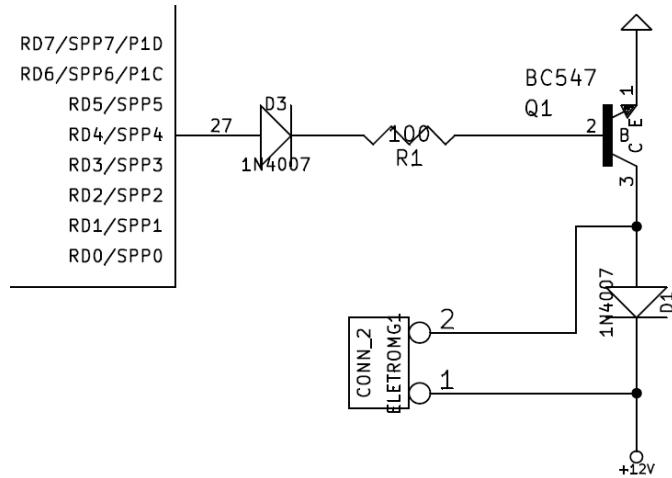


Figura 17: Ligações do Eletroímã

Utilizando o MOSFET IRF840A de encapsulamento TO-220, o motor DC pode ser controlado por uma das portas do microcontrolador. Para isso foi verificado na folha de dados do MOSFET – figura 18 - se a tensão da porta até a fonte (Gate-Source) a 5 V teria corrente suficiente (1,6 A) para o motor DC. Pela figura 18, considerando a temperatura a 25 ° C, para a tensão de 5 V, a corrente de 1,6 A está dentro da faixa de operação, logo o *MOSFET* é suficiente para que a tensão de 12 V seja obtida da saída do microcontrolador (5V) e o motor funcione adequadamente.

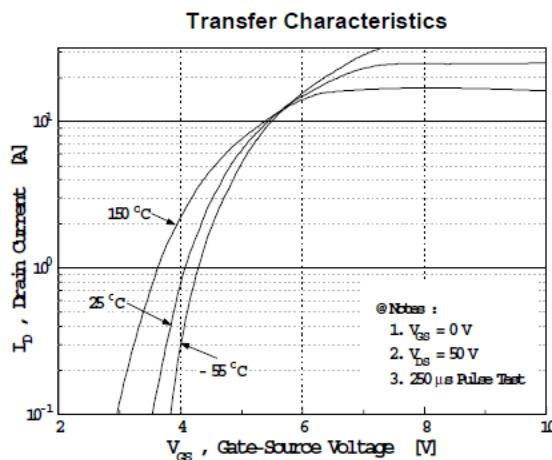


Figura 18: Gráfico da Corrente de Dreno x Tensão de Porta-Fonte da Folha de Dados
(Retirado de *FAIRCHILD SEMICONDUCTOR*, 1999)

O esquema da ligação do motor DC é mostrado na figura 19:

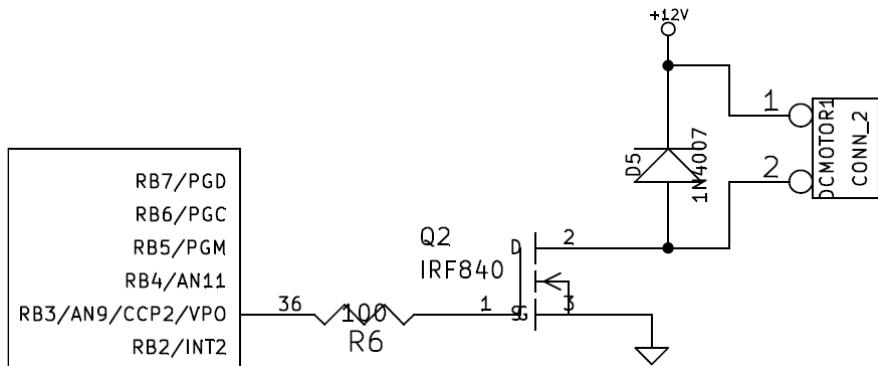


Figura 19: Ligações do Motor DC

3.2.3 Alimentação

O sistema é alimentado por duas tensões diferentes: para os atuadores a tensão necessária é de 12 V, enquanto que para o restante do circuito a alimentação é de 5 V. Para isso, foi utilizada uma fonte chaveada de 12 V e 5 A, ou seja, de 60 W de potência. A corrente necessária para alimentar o circuito foi obtida pela soma das correntes máximas de todos os atuadores e componentes do circuito. O motor de passo apresenta corrente máxima de 2,4 A; o motor DC de 1,6 A; e o eletroímã a corrente é de 170 mA. O restante do circuito apresenta menos de 0,6 A, sendo assim a corrente de 5 A é suficiente para alimentar todo o circuito.

Para alimentar o restante do circuito com 5 V, foi utilizado um regulador de tensão, o MC7805CT, em encapsulamento TO-220, com tensão de saída 5 V para valores de entrada entre 5 V e 30 V, de acordo com a folha de dados do fabricante. Assim, colocou-se na entrada do regulador, a tensão de 12 V fornecida pela fonte. Por ter uma corrente máxima de saída de 2,2 A, o regulador consegue fornecer a tensão necessária.

Na fonte de 12 V – figura 20 - foi colocado um botão on/off para ligar e desligar o aparelho sem a necessidade de se desconectar da fonte.



Figura 20: Fonte Chaveada Utilizada no Projeto

3.2.4 Software

A programação do PIC foi feita através do *software* da *Microchip*, o *MPLAB IDE* v8.85. A programação foi feita em linguagem C e a principal função foi baseada em diagrama de estados. Nesse diagrama, cada estado pode ser alterado dependendo da condição estipulada para essa mudança, porém, para diferentes estados, diferentes condições podem ser utilizadas. (WIDMER, N., TOCCI, R., 2011).

Logo, considerando os estados como as telas exibidas na LCD, foi feito uma programação para que o operador pudesse escolher entre um sistema manual, onde um dos botões ao ser pressionado libera uma esfera do eletroímã; ou alternativamente o automático que movimenta um espaço da esteira. Neste modo é necessário que as 10 lentes sejam previamente posicionadas na esteira. O fluxograma do programa é mostrado na figura 21:

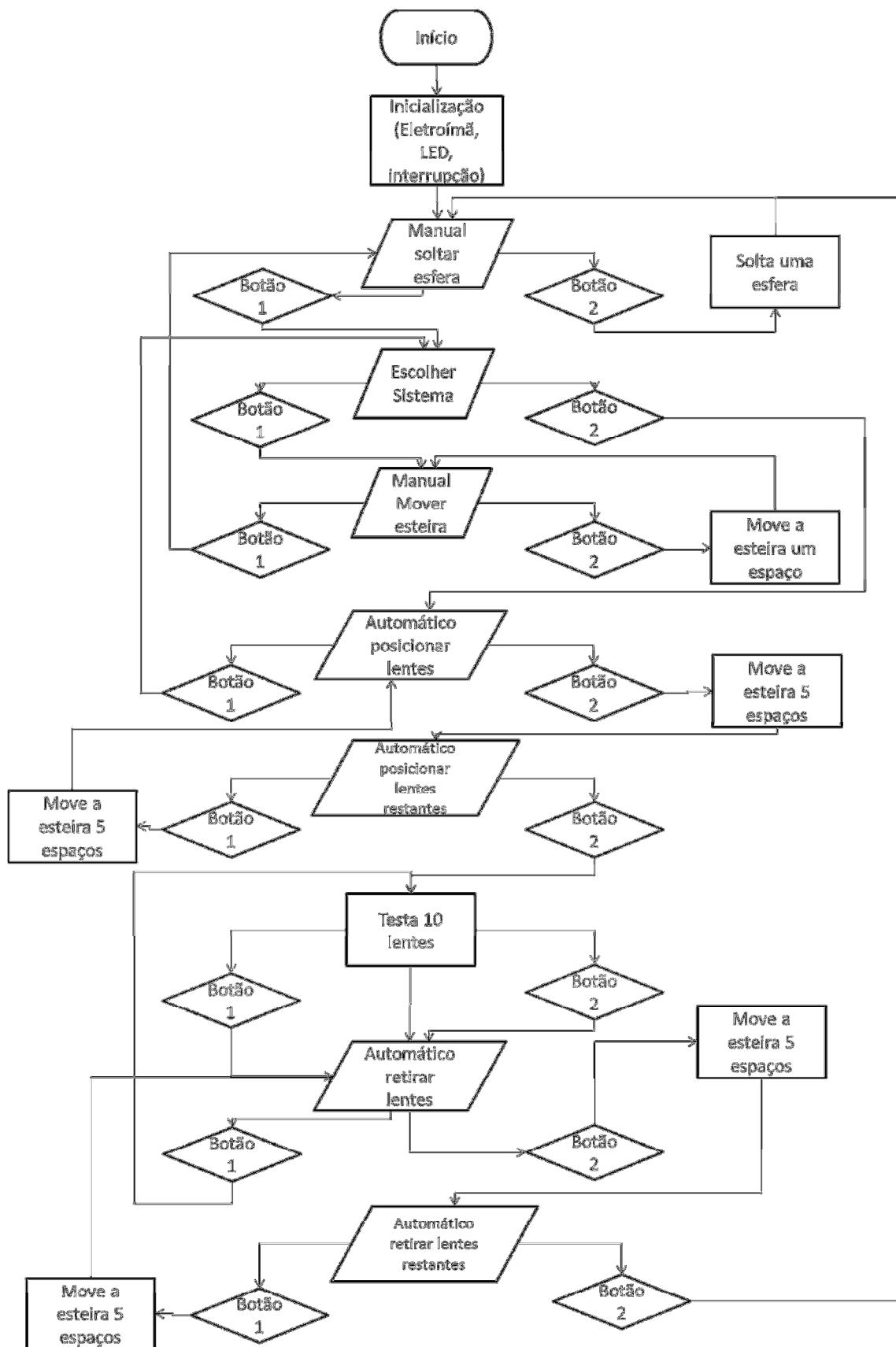


Figura 21: Fluxograma do Programa Desenvolvido

Observa-se pelo fluxograma que os botões têm diferentes funções em cada tela, quando o sistema automático está em funcionamento; os dois botões funcionam como um botão de emergência, e ao pressioná-lo o teste é interrompido. Para posicionamento e retirada das lentes, a esteira move 5 espaços após retiradas ou inserção das lentes da parte de cima da esteira, assim as lentes que se encontravam na parte de baixo da esteira ocupam a posição superior sendo possível manuseá-las.

Além do fluxograma, é mostrada uma figura com as telas de LCD, onde pode ser observada a descrição de cada botão na parte inferior da tela, assim como as mudanças de telas de acordo com os botões pressionados. O ciclo destas telas está mostrado na figura 22.

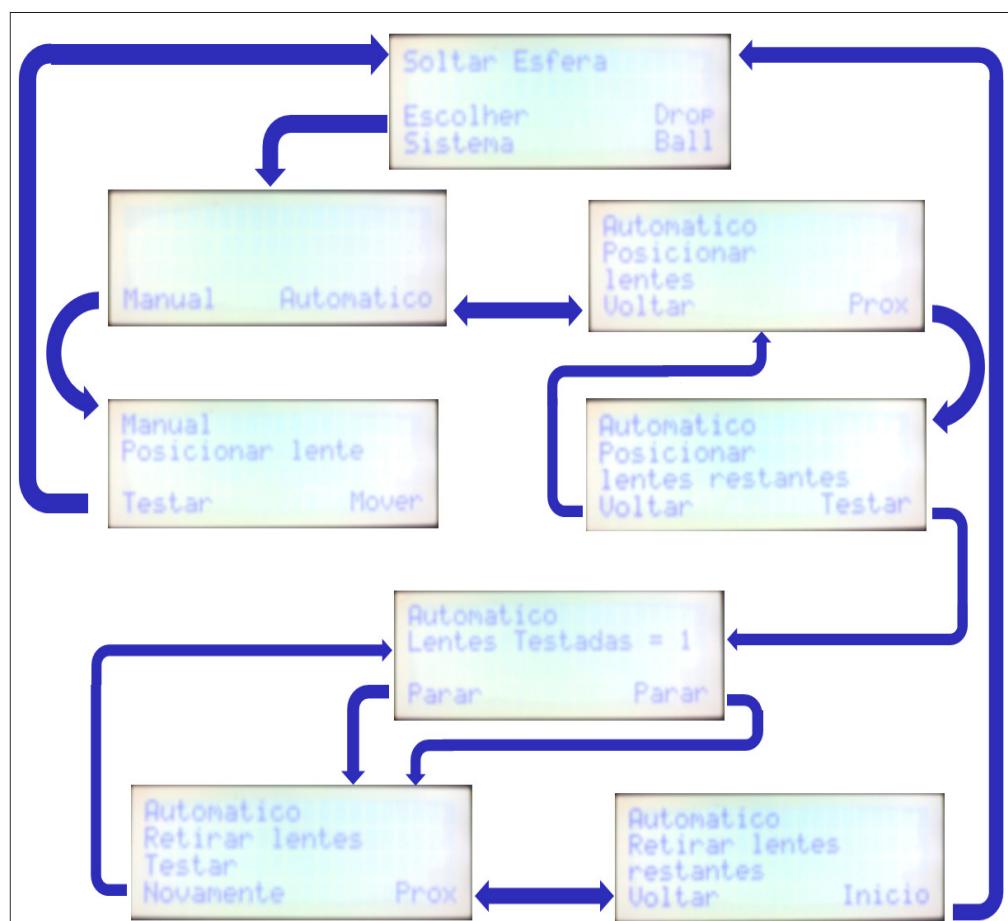


Figura 22: Ciclo das Telas do Programa

Na programação, foi utilizada a biblioteca *lcd_plus*, que possui funções prontas de escrita para a tela de LCD. A maioria das telas verifica continuamente se a *flag* das interrupções externas dos botões são alteradas, pois se forem alteradas ocorre a

mudança de tela e as ações correspondentes; ou apenas a mudança de tela; ou apenas as ações correspondentes. Logo, para verificação das *flags*, quando o sistema está em uma tela, geralmente permanece em um *loop* para verificação do valor da *flag*. Inicialmente, as funções de escrita da tela de LCD estavam dentro desse *loop*, porém, isso fazia com que visualmente as letras piscassem continuamente, pois cada vez que a escrita era feita, apagava-se a tela e todas as informações eram reescritas. Apesar de inserido um *delay* após a verificação das *flags*, as letras ainda piscavam, sendo que para se tornar visualmente imperceptível, o tempo do *delay* teria que ser muito maior, prejudicando o tempo de resposta do botão a ser pressionado. Por isso, a parte de escrita da LCD foi feita na condição de verificação da *flag* e mudanças do sistema, assim a escrita é feita uma única vez para cada tela, e as letras não são apagadas e reescritas, tornando as telas da interface visualmente mais agradáveis.

3.2.5 Placas

Os atuadores foram feitos em placas separadas, sendo o motor de passo em uma placa, e o motor DC e o eletroímã em outra placa. A terceira placa contém todo o restante do circuito, com o microcontrolador, fotodiodo receptor, LED infravermelho e tela de LCD. A divisão das placas foi feita para facilitar a verificação do funcionamento e manutenção de cada parte do sistema, pois caso um problema no motor seja detectado, e perceber que a tela de LCD está funcionando normalmente, primeiramente verifica a placa do motor, o que não seria possível se tudo fosse feito em uma só placa.

O projeto da placa foi feito pelo *freeware software* KICAD. Fez-se, o esquemático da parte eletrônica do sistema; foram, então, associados os componentes utilizados com o modelo da ilha para os conectores; e por fim organizadas as ilhas dos componentes, sendo as trilhas feitas manualmente. O esquemático do projeto, a visualização das 3 placas e a visualização em 3D pelo *software* são mostradas nas figura 23-25:

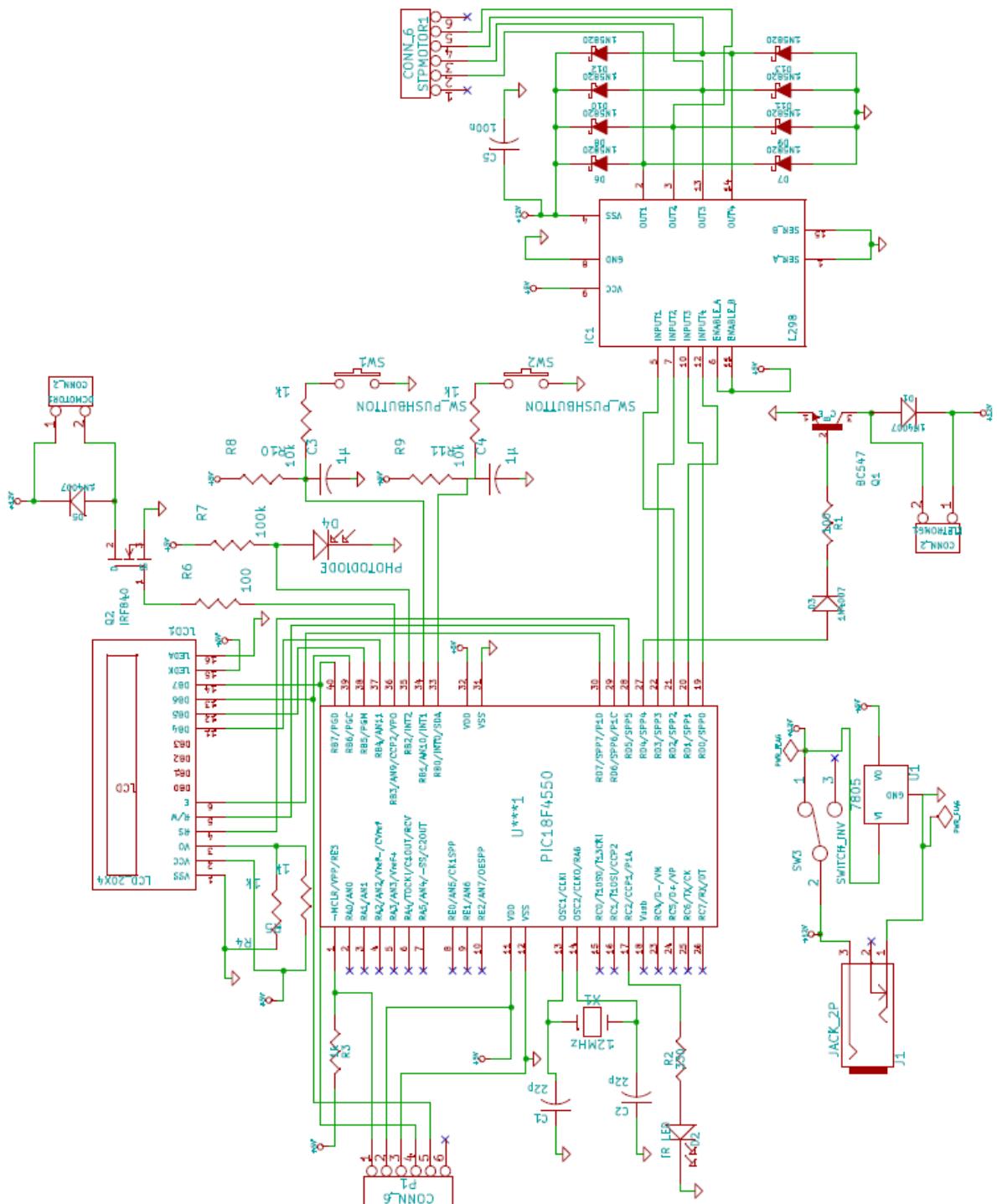


Figura 23: Esquemático da Parte Eletrônica

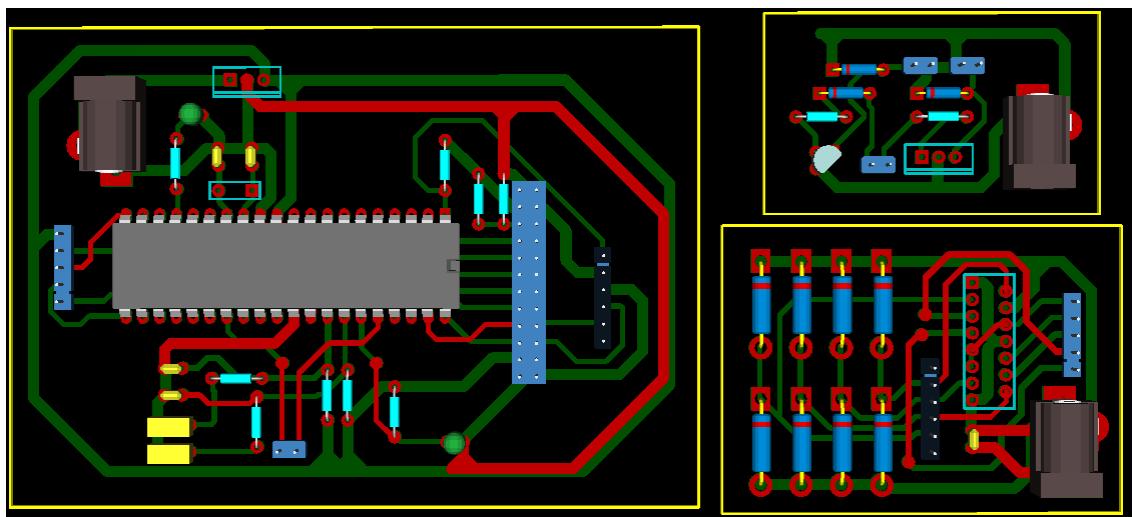


Figura 24: Visualização das Placas Projetadas

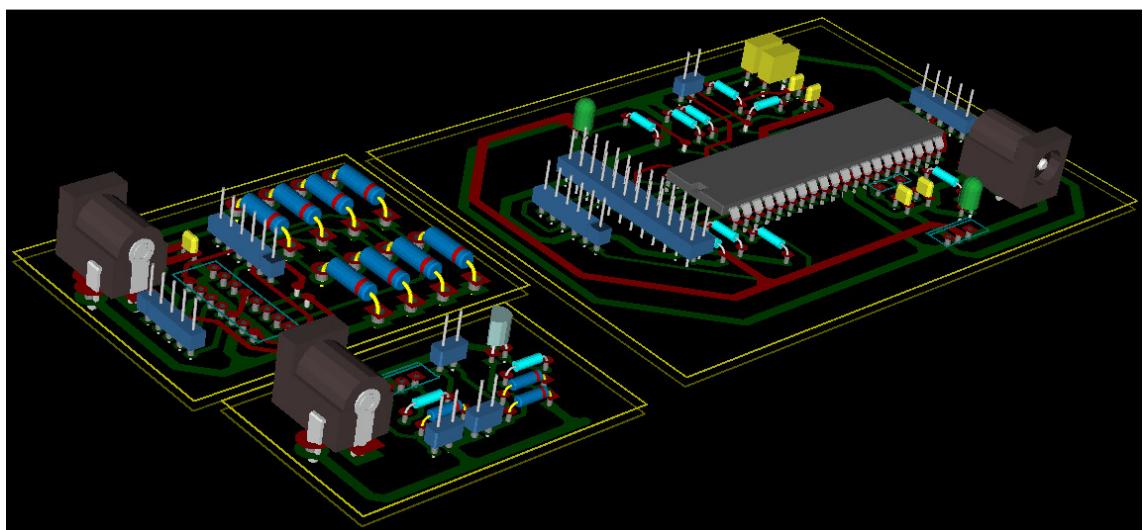


Figura 25: Visualização 3D das Placas Projetadas

Por ter 3 placas, a fonte de 12 V foi alterada para ter 3 saídas de conexão, assim cada saída alimentou uma placa.

4. Resultados

O sistema manual desenvolvido consistiu em atender aos parâmetros da norma. Um suporte para colocar os óculos posiciona a lente para ser testada, sendo necessário girar os óculos a 180º para testar a outra lente. As esferas são alocadas na parte superior em um suporte e se mantêm presas por um eletroímã, acionado por uma fonte de 12 V. Um botão tipo *push button* interrompe o eletroímã quando pressionado, assim a esfera é solta para o impacto na lente. O protótipo possui uma base metálica para se sustentar e não se mover durante os testes; um tubo metálico foi utilizado para guiar a esfera durante a queda, a fim de evitar a influência de parâmetros externos no teste. A foto do sistema está na figura 26.



Figura 26: Protótipo Manual

Uma vez construído o protótipo manual, foi projetado e construído o sistema de automação para testes de 10 lentes.

As figuras 27 – 31 ilustram partes da automação do sistema

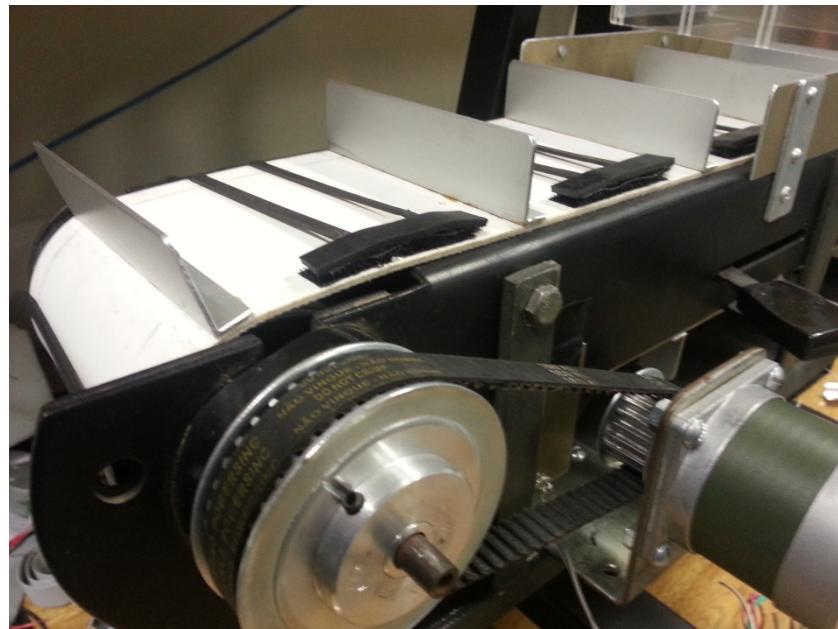


Figura 27: Esteira Automatizada

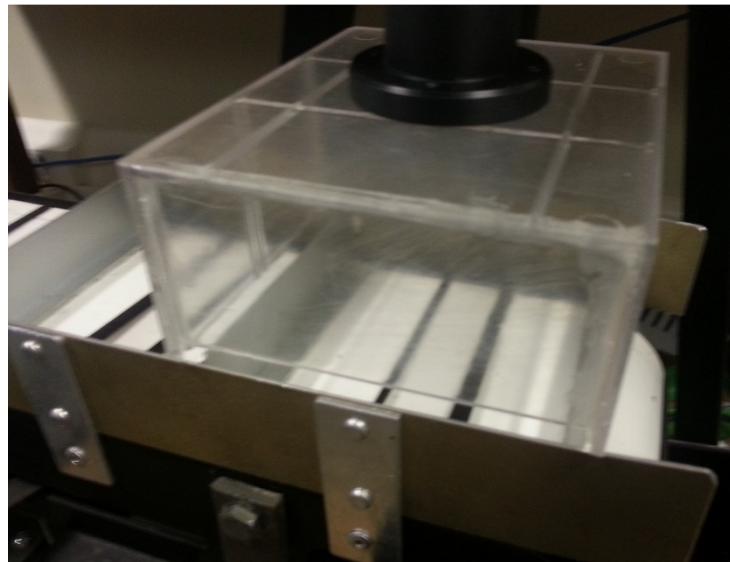


Figura 28: Região de Impacto da Esteira

As figuras 29 e 31 mostram o sistema de reposição das esferas, através de uma helicóide. A esfera é recolhida na extremidade da esteira, após o impacto, um recipiente de alumínio com uma camada de borracha na superfície inclinada e parede para amortecer a queda. O recipiente apresenta um orifício seguida de uma canaleta que leva a esfera para a parte inferior da helicoide que leva-a de volta ao suporte

através de outra canaleta de alumínio como mostra a figura 30. O eixo da helicóide funciona através de um motor DC que foi acoplado como mostra a figura 31.

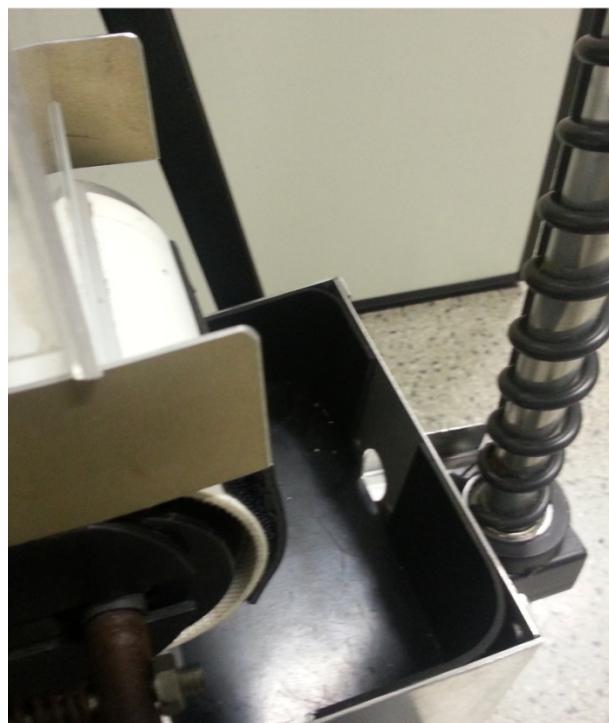


Figura 29: Parte Inferior do Sistema de Reposição das Esferas



Figura 30: Parte Superior do Sistema de Reposição das Esferas



Figura 31: Motor DC Acoplado ao Eixo da Helicóide

As placas projetadas foram confeccionadas e mostradas nas figuras 32 – 34.

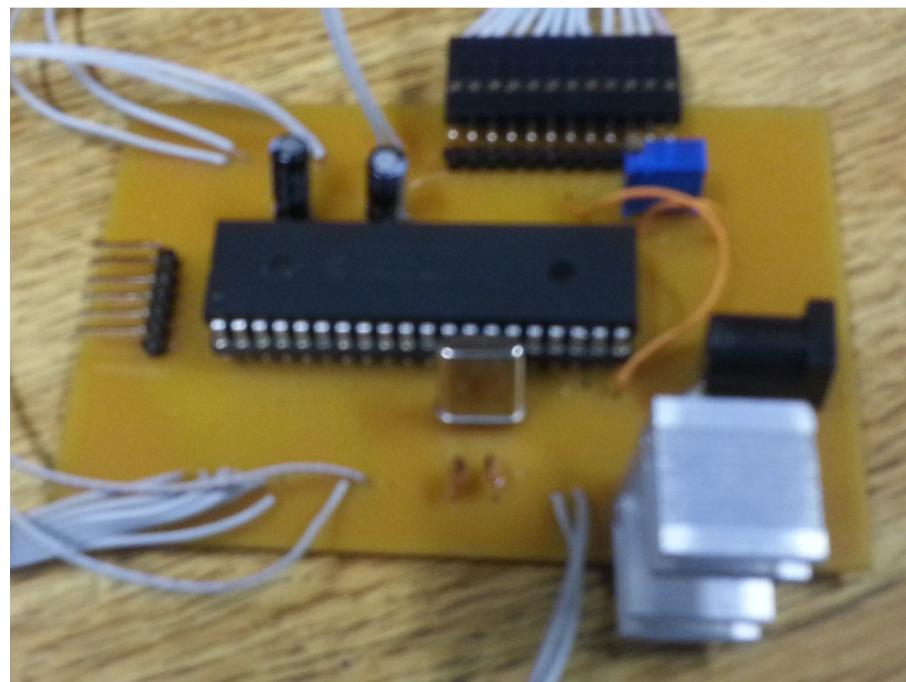


Figura 32: Placa do Microcontrolador com seus Periféricos

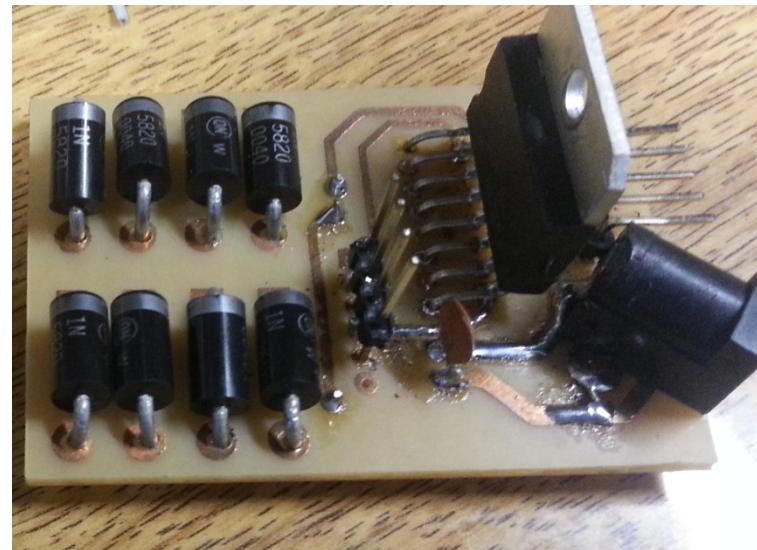


Figura 33: Placa do Motor de Passo

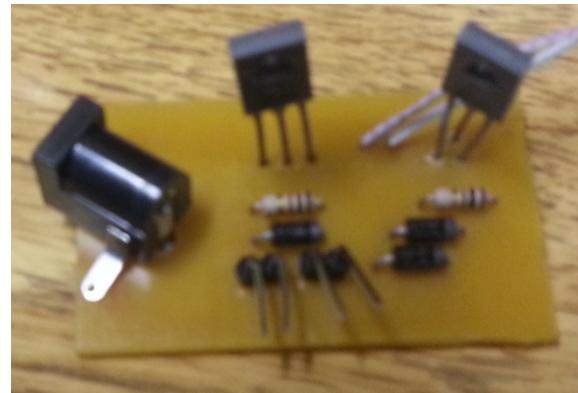


Figura 34: Placa do Motor DC e Eletroímã

A interface com o operador é feita pela tela de LCD e por dois botões, como mostra a figura 35.



Figura 35: Tela de LCD e Botões

O Sistema foi montado resultando no protótipo mostrado na figura 36:



Figura 36: Protótipo Automatizado

Após montagem foram feitos testes com 5 óculos de sol desmontados. Durante os testes foi medido o tempo total, incluindo a colocação das lentes, o tempo de execução a análise das lentes após os testes. A Figura 36 mostra o tempo total, em comparação, é mostrado o tempo de testes obtidos com o protótipo manual para 5 óculos de sol montados, no caso do teste automático, foi desconsiderado o tempo de retirada das lentes das armações..

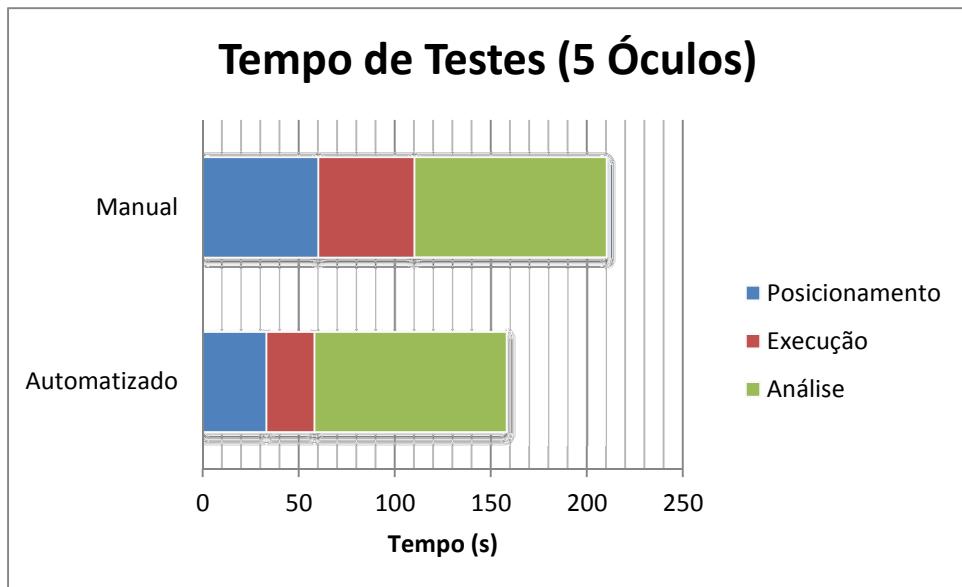


Figura 37: Tempo para Testes de 5 Óculos de Sol

Após os testes, as lentes foram analisadas e apenas duas lentes foram reprovadas, devido a uma fratura, ambas as lentes do mesmo óculos. Portanto dos cinco óculos testados apenas um foi reprovado. A tabela 2 mostra os resultados dos testes.

Tabela 2: Resultados dos Testes.

| Óculos de Sol | Lente Esquerda | Lente Direita | Resultado |
|---------------|----------------|----------------|-----------|
| 1 | Sem Alterações | Sem Alterações | Aprovado |
| 2 | Arranhão | Sem Alterações | Aprovado |
| 3 | Sem Alterações | Sem Alterações | Aprovado |
| 4 | Fratura | Fratura | Reprovado |
| 5 | Sem Alterações | Sem Alterações | Aprovado |

5. Discussão

É importante ressaltar que o projeto desenvolvido atende às necessidades da norma brasileira, sendo que atualmente não existe outro equipamento produzido na América Latina para esse fim. A parte relativa à automação diminui o tempo de testes e evita contratemplos, já que em alguns dos testes feitos no protótipo manual a esfera não era mantida no sistema após o impacto e a reposição era feita manualmente, o que demandava tempo e esforço.

Alguns óculos de sol apresentam lentes fixas, que não permitem separação. Esse tipo de lente não pode ser testada nesse sistema devido as limitações das divisões da esteira.

6. Conclusão

O desenvolvimento do protótipo manual e do sistema automatizado trouxeram importantes conhecimentos não só na parte de engenharia elétrica, pois esse projeto exigiu verificar conhecimentos da física mecânica, da economia atual de componentes eletrônicos e materiais utilizados na parte mecânica, e conhecimentos específicos de ferramentas utilizados na oficina mecânica para fabricar as peças do sistema. Os testes feitos até o momento identificaram óculos dentro dos parâmetros exigidos pela norma NBR15111(2004). O sistema automatizado pode fazer muitos mais testes em um tempo menor, podendo assim obter resultados que podem estatisticamente verificar a resistência das lentes de óculos solares no Brasil.

Algumas melhorias no sistema podem ser feitas futuramente. Primeiramente a dificuldade de manter a altura correta para diferentes formatos e tamanhos de lentes exigiriam um sensor que verificasse a altura, além disso seria necessário mover automaticamente a altura da esteira, ou do suporte, ou seja, outro motor de passo poderia ser utilizado. Outra melhoria importante para o sistema seria uma verificação do resultado automaticamente, pois pelo sistema desenvolvido a verificação depende do operador verificar se a lente apresentou alguma fratura ou deformação. Uma câmera poderia tirar uma foto antes e depois do impacto, porém isso continuaria exigindo uma verificação do operador. O ideal seria a utilização de uma câmera juntamente com um software de reconhecimento de imagem, que verificasse as diferenças automaticamente, sendo necessário ao operador apenas confirmá-las, sem a necessidade de verificação minuciosa a cada teste executado.

As propostas de melhoria surgirão com o tempo, pois os testes experimentais permitirão verificar com maior clareza as qualidades e defeitos do protótipo. Portanto o protótipo deve contribuir para futuras melhorias nesse sistema ou para novos projetos em relação a esse tipo de teste.

7. Referências Bibliográficas

BEZERRA, I., SOUZA, J., MADURO, R. (2009) "PROGRAMA DE ANÁLISE DE PRODUTOS: RELATÓRIO SOBRE ANÁLISE EM ÓCULOS DE SOL" – Disponível em http://repositorios.inmetro.gov.br/bitstream/10926/1564/1/oculos_sol11UV.pdf acessado em 20 nov. 2012

DAIN, S. (2003) "Materials for occupational eye protectors" – Disponível em <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1444-0938.2012.00704.x/pdf> acessado em 16 out. 2012

DAIN, S. (2003) "Sunglasses and sunglass standards" – Disponível em <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1444-0938.2003.tb03066.x/pdf> acessado em 16 out. 2012

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR "1N5820 - 1N5822", 2001

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR "Advanced Power MOSFET IRF840A", 1999

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

JHD "JHD 204 Series", 2000

MICRO COMERCIAL COMPONENTS "MC7805CT", 2009

MICROCHIP "MPLAB® IDE User's Guide with MPLAB Editor and MPLAB SIM Simulator", 2009

MICROCHIP "PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet", 2009

NBR15111/2004 - Proteção pessoal dos olhos - Óculos de sol e filtros de proteção contra raios solares para uso geral, 2004.

NEVES, R., CASANOVA, F. Seus Olhos: Cuidados e Informações Básicas Para a Saúde Ocular, Editora CLA, p. 21-25, cap. 3, 2004.

PURTIS, M., VASSALLO A., ALBERT, M. (1981) Ocular sports injuries: a review of cases on file in the Massachusetts Eye and Ear Infirmary Pathology Laboratory.

SÁNCHEZ, R., PIVCEVIC, D., LEÓN, A. E OJEDA, M. (2008) “Trauma Ocular” – Disponível em <http://mingaonline.uach.cl/pdf/cuadcir/v22n1/art13.pdf> acessado em 20 nov. 2012

SASIE NI LS. “The principles and practice of optical dispensing and fitting”. London: Hammond, Hammond & Co Ltd. 1962.

SILVERMAN, C. (2002) “Tinted Glasses Without UV Protection Cause More Harm Than Wearing No Glasses”. Disponível em: http://www.kmrpr.com/health/documents/Silverman_UV_Protection_Sunglasses_REL.pdf acessado em 6 jun. 2012.

STMICROELECTRONICS “L298 Datasheet”, 2000

TAMAGAWA “Size 23 HB type 0.9 º 1.8 º”, 2000

TIPLER, P. Física para Cientistas e Engenheiros - Volume 1, Editora LTC, cap. 2, 2009.

VENTURA, L. Apostila do Curso Introdução de Bioengenharia Ocular: O Olho Humano e as Ametropias Oculares, Laboratório de Instrumentação Oftalmica, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, p.2, 2005

WEILL, M., SILVEIRA, R. E JÚNIOR, N. (2005) “Trauma ocular aberto: características de casos atendidos no complexo Hospitalar Padre Bento de Guarulhos”” Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/%0D/abo/v68n4/v68n4a15.pdf> acessado em 20 nov. 2012.

WIDMER N., TOCCI, R. Sistemas Digitais - Princípios e Aplicações, Editora Prentice Hall, cap. 5, p.192, 2011.