

**LUIZ FERNANDO FRANZINI FERMINO DA ROCHA**

**RESPOSTA DA PUPILA HUMANA  
SUBMETIDA A VARIAÇÕES DE  
INTENSIDADE LUMINOSA E COR**

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  
Orientador: Prof. Dr. Adilson Gonzaga

São Carlos

2011



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

Rocha, Luiz Fernando Franzini Fermino da  
R672r Resposta da pupila humana submetida a variações de intensidade luminosa e cor / Luiz Fernando Franzini Fermino da Rocha ; orientador Adilson Gonzaga -- São Carlos, 2011.

Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica com ênfase em Eletrônica) -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2011.

1. Aquisição de imagens. 2. Diâmetro da pupila. 3. Espectro visível. 4. Visão computacional. 5. OpenCV. I. Título.



# FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome: Luiz Fernando Franzini Fermino da Rocha

Título: "Resposta da Pupila Humana Submetida a Variações de Intensidade Luminosa e Cor"

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado  
em 20 / 06 / 2011,

com NOTA 9,0 (Nove, Zero), pela comissão julgadora:

  
Profa. Dra. Maria Stela Veludo de Paiva - EESC/USP

  
Profa. Assistente Luizá Maria Romeiro Coda - EESC/USP

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



## **Dedico.....**

Dedico este trabalho a todos os amigos e familiares os quais me apoaram nessa caminhada, em especial: meus pais, Luiz Carlos da Rocha e Margareth Franzini, meu irmão, Matheus Vinicius e meu orientador, Professor Adilson Gonzaga.



## AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os professores da Escola de Engenharia de São Carlos que contribuíram para o meu desenvolvimento no ensino de graduação durante o período de 2006 até metade de 2011, em especial aos professores do Departamento de Engenharia Elétrica.

Agradeço também aos meus amigos Luis Holak, Thiago da Silva, Luiz Paulo Barbosa, Rodrigo Leite, Matheus Maia, Rafael Saia e Selma Franzini. Meus sinceros agradecimentos a todos os meus amigos durante o período de Iniciação Científica pelo ICMC – SC durante 2007 e 2008.



# **Sumário**

INDICE DE ILUSTRAÇÕES .....	12
RESUMO .....	14
ABSTRACT .....	15
1. INTRODUÇÃO.....	17
1.1    Objetivos .....	18
1.2    Justificativa.....	18
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS .....	19
2.1    Sistema ocular.....	19
2.2    Reflexo Consensual.....	21
2.3    Aplicação dos conceitos de Visão Computacional .....	22
2.4    Tecnologias e trabalhos acadêmicos desenvolvidos para o reconhecimento biométrico pela íris.....	25
2.5    Características biométricas da íris.....	27
2.6    Processamento de Imagens com OpenCV .....	30
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	35
3.1    Projeto e implementação do hardware .....	36
3.1.1)    Controle e Disposição dos leds .....	37
3.1.2)    Câmera de aquisição de imagem.....	40
3.2    Desenvolvimento do protótipo para aquisição de imagens .....	41
3.3    Desenvolvimento do Software .....	43

Gravação e conversão da imagem.....	43
3.4    Software para processamento da imagem.....	44
4.    RESULTADOS E CONCLUSÕES .....	48
4.1    Discussão.....	56
4.2    Conclusão .....	57
4.3    Sugestões de trabalhos futuros.....	57
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59
APÊNDICE A – VARIAÇÃO DO DIÂMETRO DA PUPILA PARA CADA VOLUNTÁRIO .....	62
APÊNDICE B – LUXÍMETRO MLM-1332 .....	78
APÊNDICE C – FUNÇÃO PARA DETECÇÃO DE CÍRCULO E GRAVAÇÃO DE DADOS .....	79

# **INDICE DE ILUSTRAÇÕES**

Figura 2-1 Anatomia do olho humano .....	19
Figura 2-2 Anatomia do olho com ênfase na íris e na pupila .....	21
Figura 2-3 O quiasma óptico é responsável pelo reflexo consensual no sistema óptico.	22
Figura 2-4 Paradigma de uma máquina apresentando o conceito de visão computacional .....	23
Figura 2-5 SaveGarde .....	25
Figura 2-6 Produtos da marca LG Iris Access.....	26
Figura 2-7 Pupila e iris descentralizadas.....	28
Figura 2-8 Algoritmo de Daugman detectando a iris e pupila .....	29
Figura 2-9 Exemplo da aplicação da técnica de <i>Smooth</i> .....	30
Figura 2-10 Cubo apresentado representando o espectro de cores .....	32
Figura 2-11 Um circulo qualquer no espaço x – y é mapeado pela Transformada de Hough em um único ponto ou em uma senóide no espaço de parâmetros .....	33
Figura 3-1 Proposta geral do trabalho para análise do olho humano.....	35
Figura 3-2 Projeto do sistema de aquisição de imagens .....	36
Figura 3-3 Controle dos leds é feito manualmente .....	37
Figura 3-4 Cada CI4066 é responsável por um espectro de cor .....	37
Figura 3-5 Detalhamento dos 4 chaveadores do CI4066 .....	38
Figura 3-6 A iluminação simétrica permite que todas as corem influenciem o olho de maneira equivalente .....	39
Figura 3-7 Câmera Philips SPC900NC acoplada no protótipo de testes .....	41

Figura 3-8 Modelo da base do protótipo .....	42
Figura 3-9 a)Protótipo desenvolvido para análise da pupila do voluntário b) Protótipo para análise da pupila e o circuito eletrônico de iluminação feito em <i>protoboard</i> .....	42
Figura 3-10 Interface do software VLounge para gravação da imagem do olho humano .....	44
Figura 3-11 Aplicação de <i>Smooth</i> e Conversão para escala de cinza .....	46
Figura 3-12 Transformada de Hough usada na detecção da pupila .....	46
Figura 3-13 – Imagem base de 10mm de diâmetro .....	47
Figura 4-1 Variação do diâmetro da pupila para um voluntário.....	49
Figura 4-2 Diâmetro pupila x frames; média dos valores a cada 25 frames .....	50
Figura 4-3 Variação do diâmetro da pupila para todos os voluntários durante iluminação com led de cor branca .....	54
Figura 4-4 Variação do diâmetro da pupila para todos os voluntários durante iluminação com led de cor vermelha .....	54
Figura 4-5 Variação do diâmetro da pupila para todos os voluntários durante iluminação com led de cor verde .....	55
Figura 4-6 Variação do diâmetro da pupila para todos os voluntários durante iluminação com led de cor azul .....	55

## **RESUMO**

Da Rocha, L. F. Resposta da Pupila Submetida à Variações de Intensidade Luminosa e Cor . Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

O trabalho desenvolvido é um sistema para aquisição de imagens do olho humano, tendo por objetivo analisar a variação do diâmetro da pupila quando esta é submetida a diferentes intensidades luminosas e diferentes cores do espectro visível. Este trabalho de formatura é uma continuação do trabalho "Sistema de aquisição de imagem do olho humano para avaliação da resposta da pupila submetida a estímulos luminosos" desenvolvido pelo aluno Gabriel Paschoal Ferrarezi.

As cores do espectro visível usados foram verde, azul, vermelho e branco. Para variar as intensidades de luz foi necessário o desenvolvimento de um circuito eletrônico de chaveamento, que aciona 16 leds fornecendo quatro níveis de intensidade luminosa em cada uma das quatro cores.

Parte do protótipo de captação da imagem já havia sido construído para o projeto citado anteriormente. Para este trabalho de Conclusão de Curso, o protótipo foi reconstruído, aproveitando-se apenas o suporte para acomodação do novo hardware desenvolvido.

Para a programação dos algoritmos desenvolvidos foi utilizado o software Microsoft Visual C++ 2008 Express Edition o qual faz a detecção da variação do diâmetro da pupila em diferentes intensidades e cores do espectro visível. A biblioteca OpenCv foi usada para implementar técnicas de visão computacional, as quais irão processar a imagem para obter valores quantitativos do diâmetro.

Com os dados coletados de cada usuário foi possível obter análises quantitativas da relação entre a intensidade luminosa, cor do espectro e o diâmetro da pupila.

Palavras-chave: Aquisição de imagens, diâmetro da pupila, espectro visível, Visão Computacional, OpenCV.

## **ABSTRACT**

Da Rocha, L. F. Response Submitted to variations of Intensity and Color Luminosity. Engineering School of São Carlos, University of São Paulo, São Carlos, 2011.

The developed work is an image acquisition system of the human eye which has the goal of assessing the variation of the pupil's diameter to different light intensities as well as different colors of the visible spectrum. This graduation essay is a continuation of "Image acquisition system of the human eye to assess the response of the pupil submitted to light stimulation" developed by Ferrarezi, G. P.

The colors of the visible spectrum used were green, blue, red and white. A digital circuit controls the light intensity, switching on 16 leds and providing four levels of luminous intensity for each of the four colors.

Part of the prototype of acquiring images has already been built for the project previously mentioned. In this Completion of Course Work, the prototype was rebuilt, just reusing the support for accommodation of the new developed hardware.

For the development of the algorithms it was used the software Microsoft Visual C++ 2008 Express Edition which will detect the variation of the pupil diameter to different intensities and color light of the visible spectrum. The OpenCv library was used to implement computational vision techniques which will process the image, therefore acquiring quantitative data of the pupil diameter.

In possession of the collected data, of each user, was possible to obtain specific results of the relationship between light intensity and the pupil diameter.

**Keywords:** Image Acquisitions, Pupil diameter, Visible spectrum, Computational Vision, OpenCV.



# CAPÍTULO 1

---

## 1. INTRODUÇÃO

A Biometria [(bio)vida + (metria)medida] é uma ciência que possibilita o reconhecimento e autenticação segura de determinada pessoa, sendo baseada em dois tipos de características(SANTOS, 2007):

- Características físicas: relacionadas ao corpo do ser humano, como impressão digital pelas características da face ou da íris, DNA, etc.
- Padrões de comportamento: relacionados ao comportamento da pessoa , como o ritmo de digitação e freqüência da voz.

Novas e mais seguras tecnologias tem surgido em todas as áreas onde é possível relacionar parâmetros de um determinado individuo para identificá-lo em um grupo específico. Empresas e instituições tem implementado estas tecnologias para uma maior facilidade e rápida identificação de pessoas.

Para ser considerada uma característica biométrica esta deve satisfazer aos 6 parâmetros abaixo (MAGNUSON, 2009):

- Universalidade: cada ser humano deve possuir a característica
- Unicidade: cada ser humano deve apresentar um valor mensurável diferente daquela característica em relação a outro ser humano
- Durabilidade: a característica deve perdurar por um determinado tempo

- Coletabilidade: deve ter um grau aceitável para se medir quantitativamente
- Aceitabilidade: ter um grau de aprovação por uma determinada tecnologia
- Evasão: possibilidade de obter outra parte do corpo para medir a mesma característica caso a primeira parte esteja deficitária

A unicidade da íris faz com que ela seja amplamente usada na biometria. Após o primeiro ano de vida de um ser humano, a íris não sofre mais alteração (exceção de raríssimos casos que tem a íris danificada) e também ela é única quanto a textura e forma para cada indivíduo.

## **1.1 Objetivos**

O objetivo específico deste trabalho projetar um hardware de aquisição de imagens e um software usando técnicas de Visão Computacional para medir o diâmetro da pupila quando submetida a diferentes estímulos luminosos controlando a intensidade e a cor dentro do espectro da luz visível.

## **1.2 Justificativa**

A implementação das técnicas de Visão Computacional no reconhecimento de características biométricas do ser humano é um conceito novo e abrangente para diversos setores de aprendizado, portanto é um despertar de curiosidade que influenciou no presente trabalho.

Como a íris humana possui em sua estrutura músculos capazes de se movimentarem quando submetidos a estímulos luminosos, as características visuais geradas por estes músculos (diâmetro da pupila, textura da Iris, etc) também se alteram de maneira diferente a cada indivíduo, (COSTA, 2009) e (COSTA;GONZAGA, 2009). Logo, os diferentes tamanhos do diâmetro pupila para cada indivíduo contribuem para o reconhecimento biométrico.

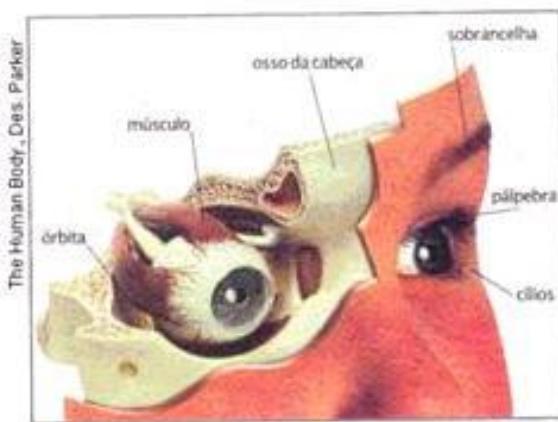
# CAPÍTULO 2

---

## 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### 2.1 Sistema ocular

O sistema humano de visão é composto pelo olho e parte do cérebro que processa sinais neurais do olho. Juntos, eles convertem informações ópticas para a percepção de cenas. O olho é considerado a câmera do sistema visual, convertendo informação visual em impulsos nervosos usados pelo cérebro. (LEVINE, 2005)



**Figura 2-1 Anatomia do olho humano**

Fonte <[http://publico.soblec.com.br/index.php?system=news&news\\_id=428&action=read&eid=239](http://publico.soblec.com.br/index.php?system=news&news_id=428&action=read&eid=239)>

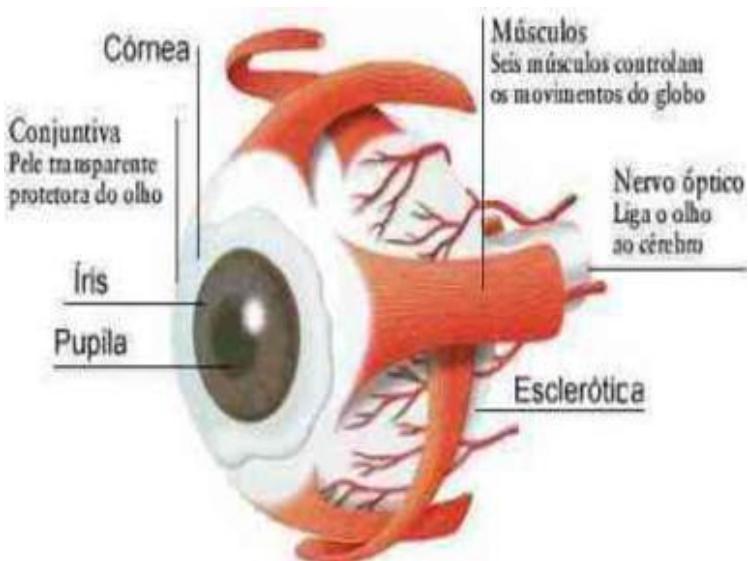
O olho humano é o órgão responsável pela visão nos seres humanos, ele recebe o nome de globo ocular por ter a forma de um globo o qual fica acondicionado dentro de uma cavidade óssea e protegido pelas pálpebras, conforme mostra a Figura 2-1. Seis músculos externos são os

responsáveis pelos seus movimentos e sua composição é feita por três camadas concêntricas aderidas entre si com as funções de visão, nutrição e proteção (HENDRICKSON; YOUDELIS, 1984).

Na camada interna situam-se a pupila e a retina. A pupila é definida como uma abertura a qual permite a entrada de luz, sua cor é preta por causa dos pigmentos de absorção na retina (METZELAAR; VALVERDE, 2001) e (OGDEN, 1989).

As repostas da pupila a serem analisadas neste trabalho ocorrem devido aos processos de miose (contração) e midríase (expansão) que se manifestam de acordo com a luminosidade do ambiente. Quanto maior a claridade, menor o campo de visão, pois a pupila está em miose e a alta quantidade de luz estimula os cones. Quanto menor a claridade, maior o campo de visão, pois a pupila está em midríase e a pouca quantidade de luz estimula os bastonetes (DOME, 1995). A função da pupila e da íris não é apenas o controle da luminosidade incidente, mas também regular a profundidade de foco. Para focalizar objetos distantes o seu diâmetro diminui, e para objetos próximos o diâmetro aumenta involuntariamente (CURCIO; HENDRICKSON, 1991).

Na camada intermediaria encontra-se a íris que tem como uma das funções controlar o tamanho da pupila de acordo com a intensidade luminosa. A cor do olho é devida a uma quantidade variável de pigmentos, produzidos pelas células melanócitos. (METZELAAR; VALVERDE, 2001). Outra característica a respeito da íris é sua reação a emoções. Suponha que seja mostrado a uma pessoa uma foto de uma cena de assassinato. Instantaneamente a íris controla a dilatação da pupila devido a curiosidade existente em descobrir do que se trata a foto. Quando a pessoa percebe a cena, a íris rapidamente contrai a pupila pela sensação de horror da cena (MANN, 1964). A Figura 2-2 mostra de maneira clara a posição da íris e da pupila.



**Figura 2-2 Anatomia do olho com ênfase na íris e na pupila**

Fonte <<http://www.clinorp.com.br/>>

Na camada externa situa-se a córnea, superfície transparente que recobre tanto a pupila e a íris, sendo uma lente poderosíssima do sistema óptico possibilitando a formação de imagens nas células fotorreceptoras da retina. O poder de vergencia da córnea é da ordem de 44 Dioptria (METZELAAR; VALVERDE, 2001). Primeiramente a luz atravessa córnea seguido da pupila e finalmente atinge o cristalino, o qual atua como uma lente de focalização, fazendo todos os raios convergirem em um ponto na retina. A retina é composta por milhões de células fotossensíveis que podem ser de dois tipos: os bastonetes e os cones. Os bastonetes são responsáveis pela percepção de claro e escuro e os cones respondem pela percepção das cores. É na retina que os estímulos de luz são convertidos em impulsos eletroquímicos, que serão transmitidos ao cérebro pelo nervo óptico. No cérebro, o córtex visual recebe os impulsos dos dois olhos, faz o processamento e completa a sensação visual. A informação enviada pelos dois olhos processada simultaneamente dá a percepção de profundidade (KANSKI, 2007).

## 2.2 Reflexo Consensual

A integridade do reflexo consensual à luz é testada ao se dirigir um feixe luminoso para um olho e verificar se a pupila do outro também se contrai (CAMPOS; CARVALHO; COELHO, 1996).

Esse reflexo é possível porque o nervo óptico do olho humano direito e esquerdo se conectam em uma região denominada quiasma óptico, conforme a Figura 2-3. Desta forma

reflexos a estímulos aplicados em um dos olhos serão apresentados também no outro, facilitando assim a análise de dilatação da pupila.



**Figura 2-3 O quiasma óptico é responsável pelo reflexo consensual no sistema óptico**

Fonte

<[http://www.med.ufro.cl/Recursos/neuroanatomia/archivos/14\\_vias\\_aferentes\\_archivos/Page397.htm](http://www.med.ufro.cl/Recursos/neuroanatomia/archivos/14_vias_aferentes_archivos/Page397.htm)>

### **2.3 Aplicação dos conceitos de Visão Computacional**

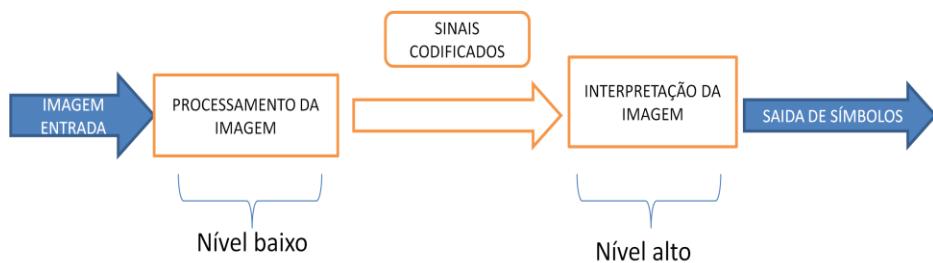
Visão Computacional é o conjunto de transformações, através de métodos e técnicas, das imagens de uma câmera fotográfica ou de vídeo para uma representação de dados quantitativos. Os algoritmos que o computador utiliza para extrair dados das imagens estão correlacionados com o processo de aquisição de imagens e da percepção visual do homem (CARVALHO, 2008). O aperfeiçoamento das técnicas de Visão Computacional faz com que esta ciência tenha objetivos cada vez mais abrangentes para tornar-se um modelo padrão para representação da visão biológica.

Visão Computacional é a ciência que faz as máquinas enxergarem (CIPOLLA; BATTIATO; FAVRINELLA, 2010). Está relacionada à teoria, *design* e implementação de algoritmos que podem processar dados visuais para o reconhecimento, mapeamento e recuperação da sua forma e *layout*.

De acordo com Shapiro e Stockman (2001) a Visão Computacional pode ser definida como a imagem real passando por cinco processos até se tornar uma imagem digital. As cinco etapas são descritas abaixo:

1. Aquisição de imagem: a imagem digital é adquirida por sensores fotodetectores. Estes incluem câmeras sensíveis a luz, sensores de alcance, aparelhos de tomografia, radares,etc. A transformação resulta na representação da imagem original a partir de números binários que podem corresponder a intensidade de cinza ou colorido, profundidade da cor, absorção , refletância, entre características da imagem .
2. Pré-processamento: esta etapa analisa os dados obtidos da aquisição da imagem e o coloca em amostras definidas para serem processadas.
3. Extração de características: extrai as características da imagem as quais realmente serão estudadas ou verificadas. Exemplo: linhas na imagem, bordas, círculos, pontos de interesse,etc.
4. Detecção/Segmentação: Segmenta e separa as regiões de interesse para o processamento posterior. Exemplo: segmentação de uma região que contem um objeto de interesse.
5. Processamento em alto-nível (Reconhecimento e interpretação): após serem definidos os dados a serem estudados nos níveis anteriores, no processamento são aplicadas as transformadas com diversos parâmetros para interpretação dos dados de entrada e mostrar o resultado desta interpretação na saída.

De acordo com Levine (2005) a Visão Computacional gerencia a análise de imagens a fim de alcançar resultados similares aqueles obtidos pelo homem. Um paradigma da máquina simplificado é mostrado na Figura 2-4.



**Figura 2-4 Paradigma de uma máquina apresentando o conceito de visão computacional**

Fonte: Martin de Levine, **Vision in Man and Machine**, 2005

Os conceitos desta ciência implicam em aplicações práticas na vida do ser humano, seja com o objetivo de entretenimento, segurança, comodidade no dia-a-dia ou saúde. A seguir são

apresentados alguns exemplos que utilizam os conceitos de Visão Computacional para obter respostas das imagens (BAXES, 1994):

Pesquisa biológica: laboratórios biomédicos usam técnicas digitais para visualmente analisar componentes de amostras biológicas. Em alguns casos, técnicas de processamento digital provêem sistemas totalmente automáticos para análise de espécies.

- Aumento da imagem – técnicas para aumentar a visibilidade de características que não são visíveis ou claras na imagem original, como o balanceamento do contraste e reconhecimento de bordas
- Análise de osso, tecido e células – classificação e contagem automática de estruturas de células e outras características prescritas.
- Tipo de DNA – análise, classificação, e comparação do DNA

Inteligência militar – os militares têm feito largo uso de técnicas de processamento de imagens digitais para várias aplicações. Agências de defesa e inteligência do Estados Unidos e outras nações tem colocado enormes recursos em pesquisa e implementação de tecnologia.

- Reconhecimento e interpretação de fotos – interpretações automatizadas de imagens a partir de satélites a fim de localizar alvos sensíveis ou ameaças militares a aeroportos, navios, lançadores de mísseis ou instalações militares
- Direção e aquisição de alvos – reconhecimento e rastreio de alvos em tempo real em sistemas *smart-bomb e missile-guidance*

Processamento de Documentos – aquisição e processamento de documentos e desenhos tem ajudado a automatizar muitas indústrias as quais eram classicamente conduzidas a papel, como bancos e créditos-seguros.

- *Scanners* e transmissão – convertendo documentos de papel em imagem digital, compressão de imagem ou salvando imagens em mídias móveis

Distribuição de programação de vídeo – métodos para reduzir o tamanho de arquivos aumentaram a capacidade de processamento para gravação e transmissão de arquivos. As indústrias de distribuição de programas de TV, como TV a cabo, TV por satélite e filmes podem se beneficiar amplamente das vantagens de processamento de imagem.

- Gravação e transmissão de vídeo – remoção de informações redundantes de imagens digitais ou seqüência de imagens; isto reduz o tamanho do arquivo, fazendo as transmissões mais rápidas, gravações mais eficientes e ambos os processos mais baratos

Análise Forense – agências de investigação processam enormes quantidades de imagens de assassinatos, evidências e impressão digital. Diferentes formas de processamento da imagem como aumento, gravação e classificação são partes da operação moderna.

- Análise de impressões digitais – classificação e identificação automatizadas
- Reconhecimento de DNA – análise de material biológico entre várias amostras

#### **2.4 Tecnologias e trabalhos acadêmicos desenvolvidos para o reconhecimento biométrico pela íris**

Como apresentado no tópico 2.3, há diversas implementações possíveis de se utilizar em equipamentos a fim de reconhecer características biométricas da íris e da pupila. A seguir serão apresentadas duas tecnologias as quais apresentam, atualmente, os melhores e mais sofisticados algoritmos para o reconhecimento da íris.

##### **SAVEGARDE**

O equipamento SaveGarde é um dos mais precisos e rápidos quanto ao reconhecimento da íris como característica biométrica. Desenvolvido pela IrisGuard Incorporated, ele é o equipamento de reconhecimento biométrico de maior aplicação no mundo em segurança doméstica e bancária. Possui mais de 30 milhões de usuários registrados e mais de 40 trilhões de comparações feitas. A Figura 2-5 mostra o SaveGarde.



**Figura 2-5 SaveGarde**

Fonte: <<http://www.irisguard.com>>

O algoritmo utilizado pelo SaveGarde é o algoritmo de Daugman, demonstrado em Daugman (2004) e o mais utilizado para este tipo de reconhecimento biométrico. O tempo de resposta é de apenas 2 segundos, sendo feitas 580.000 comparações neste intervalo. A câmera faz o reconhecimento da íris mesmo em usuários que estejam de lentes ou óculos e na aplicação para segurança bancária, o usuário não precisa encostar o rosto no suporte, evitando possíveis doenças transmissíveis. A metodologia do aparelho não analisa o DNA do ser humano, não emite radiação e é 10 vezes mais precisa do que o reconhecimento por impressão digital.

#### LG IRIS ACCESS 4000

Desenvolvido pela LG, os produtos da marca LG Iris Access 4000 apresentam especificações tecnológicas de altíssima qualidade, sendo também um dos conjuntos de produtos mais buscados pelo consumidor. O algoritmo utilizado para o reconhecimento da íris é novamente o algoritmo de Daugman. A Figura 2-6 mostra os equipamentos.

Utilizado na segurança de empresas, registros bancários e reconhecimento policial (*forensics*) o equipamento apresenta um tempo para cadastro no banco de dados de 2 minutos e o tempo de resposta é de 2 segundos. A comparação é feita primeiramente em nível onde se possui um conjunto de íris similares a íris procurada e posteriormente compara-se com as íris do banco de dados deste conjunto. Como características gerais para o usuário estes equipamentos oferecem um aumento na versatilidade e flexibilidade nas aplicações práticas.



**Figura 2-6 Produtos da marca LG Iris Access**

Fonte: <<http://www.lgiris.com/ps/products/irisaccess4000.html>>

Assim como o equipamento SaveGarde os produtos Iris Access não apresentam qualquer tipo de radiação além de não analisarem o DNA do ser humano e impressão digital para o reconhecimento do indivíduo.

Durante a realização deste trabalho foram pesquisados artigos e teses para a elaboração da teoria apresentada neste documento e também para o auxilio do desenvolvimento do hardware e do software. A seguir serão descritos estes trabalhos.

O trabalho desenvolvido por Carreira (2009) demonstra todas as etapas para o reconhecimento da íris, desde o pré-processamento da imagem do olho humano até a segmentação da parte compreendida pela textura da íris. No trabalho é descrito também vários algoritmos para segmentação da íris e reconhecimento de características dela, como por exemplo o algoritmo de Daugman, apresentado em Daugman (2004), e os algoritmos de Richard P. Wildes e Zhaofeng He. As etapas de reconhecimento são divididas em Segmentação da íris, normalização, extração de características e comparação destas características com um banco de dados.

Em Castelano (2006), o reconhecimento da íris é feito através da Transformada Wavelet Contínua, Discreta e *Packet*. A comparação com a base de dados é feita pelo método de Consulta por Similaridade. No algoritmos de segmentação pode-se dividi-lo em 5 etapas:

1. Equalização da imagem
2. Localização da pupila
3. Aumento do contraste da imagem
4. Localização da Borda Externa da íris
5. Extração da íris

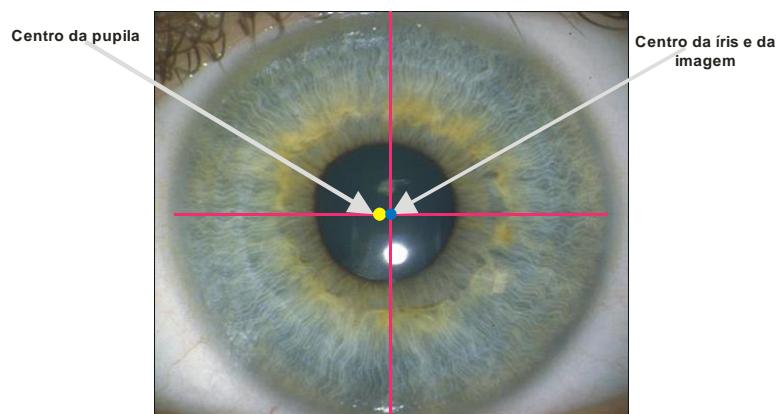
## 2.5 Características biométricas da íris

A íris é visível a olho nu como um mosaico de textura. Isto é que é visto quando o espectro visível de luz a ilumina. Quando a luz infravermelha é usada, “características do estroma (tecido que conecta uma célula, um tecido ou um órgão) vagarosamente moduladas são vistas para delimitar e definir a íris”. Devido a incidência do infravermelho é possível obter a imagem a partir de uma câmera monocromática CCD, desta forma para um usuário ter a sua Iris capturada ele precisa olhar para uma câmera e receber *feedback* da luz infravermelho (PAUL REID, 2004). A análise da íris como característica biométrica é um forte e confiável traço biométrico a ser mensurável. No procedimento de aquisição de imagem do reconhecimento biométrico pela íris faz-se necessário a utilização de iluminação infravermelha devido à clareza de maiores detalhes de textura. Com a imagem adquirida é possível aplicar algoritmos específicos, os quais localizam a íris e extraem as informações necessárias para criar uma amostra biométrica.

Nas etapas para leitura da íris pode-se citar:

- Detecção do olho na imagem
- Delimitar as fronteiras da Iris
- Exclusão das pálpebras
- Determinar um sistema de coordenadas 2D o qual mapeia o padrão da Iris para geração do código
- Armazenagem do código em base hexadecimal para posterior comparação e validação com a íris capturada de outros usuários

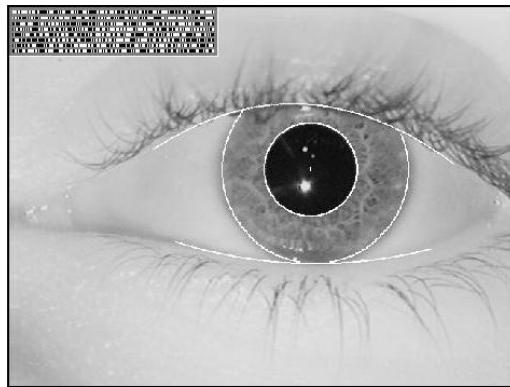
No processo de segmentação da íris é necessário localizar os raios dela, da pupila e das coordenadas no centro da imagem. De acordo com Carvalho e Junior (2008) o centro da pupila não é necessariamente o centro da íris, podendo ocorrer variação de até 0,8mm, conforme mostra a Figura 2-5.



**Figura 2-7 Pupila e iris descentralizadas**

Fonte <<http://www.google.com.br/imgres?imgurl=http://www.bbc.co.uk/portuguese/especial/images/14>>

Atualmente há diversos algoritmos os quais aplicam métodos para codificação da Iris e posterior análise de característica biométrica, entretanto todos eles têm como base o algoritmo de John Daugman, engenheiro da Universidade de Cambridge. O algoritmo de Daugman utiliza *Wavelets 2D* de Gabor (2.1), que reconhece a íris por vetores e adquire as informações relevantes da imagem, como orientação, freqüência espacial e posicionamento. Com essas informações é possível segmentar a Iris e mapear seu código. A Equação 2.1 estima o código de uma íris e a imagem da Figura 2-8 é uma representação pictórica de um código de íris (DAUGMAN, 2004).



**Figura 2-8 Algoritmo de Daugman detectando a íris e pupila**

Fonte: < <http://cnx.org/content/m12495/latest/> >

$$h_{\{Re,Im\}} = \operatorname{sgn}_{\{Re,Im\}} \int_{\rho} \int_{\Phi} I(\rho, \Phi) e^{-i\omega(\theta_0 - \Phi)} \cdot e^{\frac{-(r_0 - \rho)^2}{\alpha^2}} \cdot e^{\frac{-(\theta_0 - \Phi)^2}{\beta^2}} \cdot \rho d\rho d\Phi \quad \text{Equação 2.1}$$

Na qual:

- $h\{Re,Im\}$  é um bit que representa um valor complexo, real ou imaginário pertencente ao conjunto  $(0, 1, -1)$ , dependendo do sinal da integral.
- $I( )$  é a imagem no sistema de coordenadas pseudo-polar
- $\alpha$  e  $\beta$  são parâmetros da *wavelet* 2D multi-escala e
- $w$  é a freqüência da *wavelet*.

Da Costa (2009) analisou 12 características dinâmicas da íris para o Reconhecimento Biométrico. Estas características são medidas durante a contração e dilatação da pupila.

- Circularidade da pupila
- Diâmetro da pupila
- Tempo para contração/dilatação da pupila
- Taxa de contração/dilatação da pupila
- Mdia dos níveis de cinza da Iris segmentada
- Desvio padrão dos níveis de cinza da Iris segmentada
- Coeficiente de variação dos níveis de cinza da Iris segmentada
- Correlação
- Segundo momento angular (SMA)
- Entropia
- Contraste

- Momento de diferença inverso (MDI)

## 2.6 Processamento de Imagens com OpenCV

OpenCV é uma biblioteca que possibilita a implementação de ferramentas da Visão Computacional. Ela é escrita em C ou C++ e opera nos sistemas Linux, Windows e Mac OS X. Um dos objetivos da OpenCV é proporcionar uma infra estrutura simples de Visão Computacional que ajude as pessoas a implementar rapidamente diversas técnicas na imagem ou vídeo de entrada. (BRADSKI; KAEHLER,2008).'

Algumas técnicas de interesse dessa biblioteca para este trabalho serão mencionadas a seguir.

### SMOOTHING

Suaviza a imagem para reduzir ruídos de alta freqüência. A lógica de implementação consiste em calcular o valor médio dos pixels que estejam na vizinhança de um pixel o qual está sendo analisado. Caso o valor do pixel analisado seja muito diferente do valor médio dos pixels vizinhos, ele é interpretado como ruído e seu valor é corrigido. A eliminação de ruídos através da técnica de *Smooth* facilita a aplicação de algoritmos de segmentação e reconhecimento posteriores (BRADSKI; KAEHLER, 2008). A Figura 2-9 mostra um exemplo da função *Smooth* sendo aplicada em uma imagem.



**Figura 2-9 Exemplo da aplicação da técnica de *Smooth***

Fonte: Bradski e Kaebler, **OPENCV**, pg 111

No OpenCV existe a seguinte função de *Smooth*:

```
cvSmooth(image,out,CV_GAUSSIAN,3 3);
```

Na qual:

- *image* é imagem de entrada do sistema
- *out* é imagem de saída, após realizada a operação de *smoothing*
- CV\_GAUSSIAN é o tipo de metodologia empregada no processo
- os últimos dois parâmetros são os valores de altura e largura da janela do filtro

## THRESHOLDING

*Thresholding* é um processo de segmentação de partes de interesse da imagem onde se seleciona um determinado objeto ou parte de uma cena, e portanto pode ser considerada uma operação com alto nível de importância no processamento de imagens.

*Threshold* é um valor limite o qual é usado em um critério de seleção. Cada pixel de uma imagem é comparado a esse critério e são alterados conforme a necessidade (BRADSKI; KAEHLER,2008). Um exemplo de aplicação do limiar é comparar todos os pixels a um valor limite e caso sejam maiores não alterar seu valor, caso contrario igualar a zero. Desta maneira destaca-se uma região da imagem.

Comumente a operação de *thresholding* gera imagens binárias ou em níveis de cinza. Conforme a aplicação, qualquer outro tipo de destaque da região de interesse pode ser usado para aplicar cores diferentes. Essa operação pertence à etapa de segmentação do processamento de imagens. No OpenCV tem-se a seguinte função de *Threshold*:

```
Double cvThreshold(  
    CvArr*src,  
    CvArr*DST,  
    Double threshold,  
    Double Max_value,  
    Int threshold_type);
```

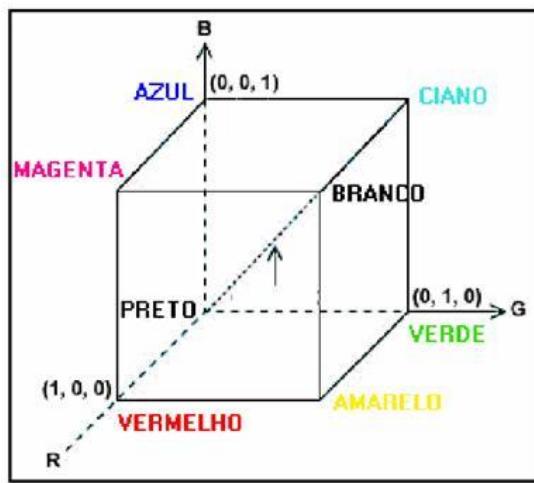
Na qual:

- os dois primeiros índices referem-se a imagem de entrada e saída do sistema, respectivamente
- o terceiro e quarto índices referem-se aos valores de *threshold*
- e por último, tem-se o tipo de metodologia de *thresholding*, podendo ser cinco diferentes tipos para o OpenCV:
  1. CV\_THRESH\_BINARY
  2. CV\_THRESH\_BINARY-INV

3. CV\_THRESH\_TRUNC
4. CV\_THRESH\_TOZERO\_INV
5. CV\_THRESH\_TOZERO.

### CONVERSÃO RGB PARA A ESCALA DE CINZA

No modelo RGB, cada cor é representada pelos componentes espectrais primários (vermelho verde e azul). Este modelo é baseado no sistema de coordenadas cartesianas mostradas na Figura 2-10 (GONZALEZ; WOODS, 2008).



**Figura 2-10 Cubo apresentado representando o espectro de cores**

Fonte: <<http://www6.ufrgs.br/engcart/PDASR/formcor.html>>

Desta forma no espaço RGB cada pixel é representado por um vetor de 3 dimensões. Entretanto, funções de processamento de imagem ficam extremamente complexas e dispendiosas quando se considera estas três dimensões. Para facilidade e eficácia faz-se necessário a conversão do espaço RGB em escala de cinza ou binária.

De acordo com Lyu e Farid (2003), existem diversas maneiras para converter imagens RGB em escala de cinza. O conceito principal é somar valores proporcionais de cada uma das componentes de cor para obter o valor da luminância de um pixel. A expressão apresentada para determinar o nível de luminância é dada por (2.1).

$$Y = 0,299R + 0,587G + 0,114B \quad \text{Equação 2.1}$$

Onde  $Y$  representa o nível de luminância para a escala de cinza. Uma função do OpenCV para conversão de escala de cor é a:

```
Void cvCvtColor( const CvArr*src,CvArr*DST,int code);
```

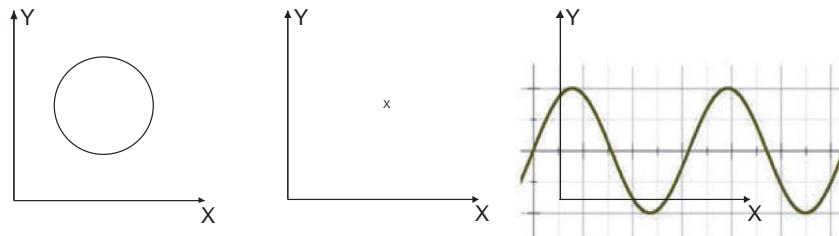
Na qual:

- *src* é a imagem de entrada na qual será realizado a conversão
- *dst* é a imagem de saída "destination"
- *code* é o tipo de conversão que será realizado – de RGB para escala de cinza, utiliza-se CV\_RGB2GRAY

## ■ TRANSFORMADA DE HOUGH

A Transformada de Hough (TH) é um método para encontrar linhas, círculos ou outras formas parametrizáveis (BRADSKI; KAEHLER,2008). Ela é comumente aplicada a imagens as quais passaram anteriormente pela operação de detecção de bordas.

O conceito principal da TH é o mapeamento entre o espaço da imagem e o espaço de parâmetros. Cada forma no espaço imagem é transformada em um único ponto ou em uma senóide no espaço de parâmetros. Assim um círculo na imagem é definido como um único ponto ou uma senóide no espaço de parâmetros da transformada. A Figura 2-9 mostra este conceito.



**Figura 2-11 Um círculo qualquer no espaço x – y é mapeado pela Transformada de Hough em um único ponto ou em uma senóide no espaço de parâmetros**

Como o formato da pupila é quase circular, a transformada de Hough será usada para detecção de círculos na imagem do olho. O algoritmo aplicado para a realizar a Transformação de Hough é mostrado em <http://www.ppgia.pucpr.br/~facon/Hough/Hough-Circulo.pdf>.

No OpenCV tem-se a seguinte função para a transformada Circular de Hough:

```
CvSeq* cvHoughCircles(  
    CvArr* image,  
    void* circle_storage,  
    int method,  
    double dp,
```

```
double min_dist,  
double param1,  
double param2,  
int min_radius,  
int max_radius);
```

Na qual:

- *image* é a imagem na qual será realizado a TH
- *circle\_storage* é a alocação de memória para armazenar os círculos
- a variável método é sempre colocada como CV\_HOUGH\_GRADIENT
- *dp* é uma resolução para a detecção dos círculos
- *min\_dist* é a distância mínima que deve existir entre dois círculos para que o algoritmo os considere círculos distintos
- *param1* e *param2* são parâmetros de threshold da transformada
- *min\_radius* e *max\_radius* são os valores mínimos e máximos dos raios dos círculos os quais serão detectados

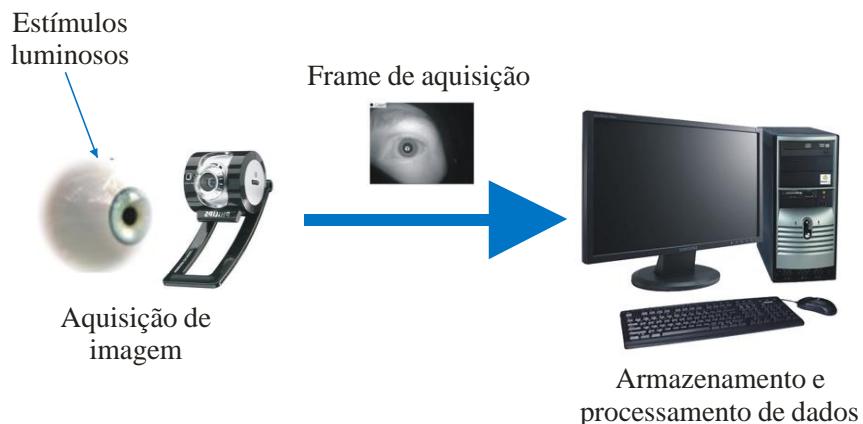
# Capítulo 3

---

## 3. MATERIAL E MÉTODOS

O objetivo deste trabalho foi avaliar a variação do diâmetro da pupila em função das cores vermelho, verde, azul e branco do espectro de luz visível e variando-se a intensidade de luz de cada cor. A aquisição de imagens para analisar a variação do diâmetro da pupila foi feita com uma câmera para posterior implementação das técnicas de Visão Computacional.

A proposta geral do trabalho é apresentada na Figura 3-1.

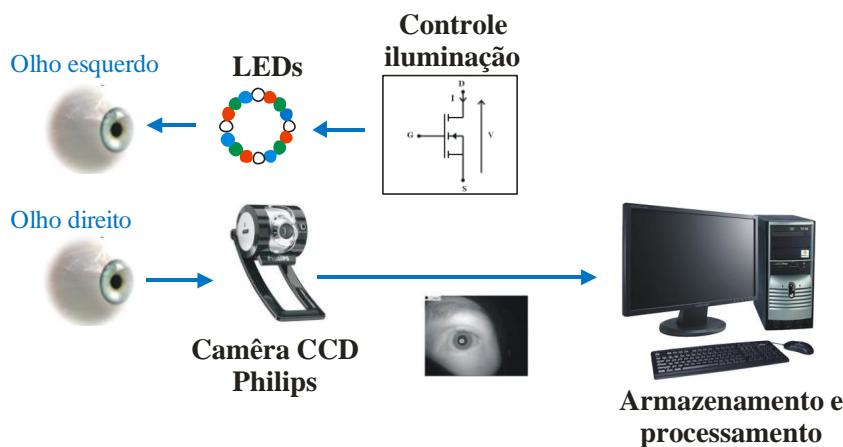


**Figura 3-1 Proposta geral do trabalho para análise do olho humano**

São aplicados estímulos luminosos no olho esquerdo da pessoa enquanto a câmera captura a imagem do olho direito, considerando-se o Reflexo Consensual. No computador essa imagem digital é processada utilizando as técnicas de Visão Computacional calculando-se o diâmetro da pupila. Os programas desenvolvidos utilizam bibliotecas, compiladores e os

ambientes de desenvolvimento livre OpenCV e Microsoft Visual Studio 2008. O hardware desenvolvido para este projeto refere-se ao sistema de aquisição de imagem, ao circuito lógico de controle dos LEDs, a plataforma para posicionamento dos olhos e ao micro computador.

O projeto de montagem do sistema para aquisição de imagem do olho humano e posterior análise da resposta da pupila quando contraposta a estímulos luminosos é demonstrado na Figura 3-2, o software no microcomputador tem a finalidade de utilizando técnicas de Visão Computacional obter o diâmetro da pupila em função dos estímulos luminosos dos leds.



**Figura 3-2 Projeto do sistema de aquisição de imagens**

No olho esquerdo foi colocado um suporte com 4 Leds de cada cor (vermelho, azul, verde, branco) e devido ao reflexo consensual onde estímulos luminosos aplicados independe em qual olho, os dois olhos irão se comportar de maneira semelhante, dilatando-se ou contraindo-se a pupila em relação à retirada ou aplicação do estímulo luminoso. Portanto com uma câmera provida de iluminação NIR (Near Infra Red) a qual possibilita obter imagens do olho sem a presença de luz visível, evitando reflexos excessivos na córnea, é possível capturar a imagem para avaliar a resposta da pupila humana com variação de intensidade e cor e implementar as técnicas de Visão Computacional.

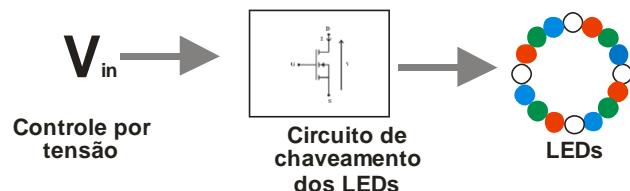
### 3.1 Projeto e implementação do hardware

Para a implementação do trabalho foi necessário instalar a câmera de captura da imagem com iluminação infravermelha e projetar um circuito de LEDs no qual o controle liga/desliga foi feito manualmente. Ambos os hardwares foram acoplados em uma base de madeira totalmente vedada a entrada de luz. Esta base é a mesma desenvolvida no projeto de Ferrarezi (2010).

### 3.1.1) Controle e Disposição dos leds

Para fornecer os estímulos luminosos ao olho humano e observar a resposta da pupila, foi desenvolvido um sistema de iluminação composto por leds acionado por um circuito de chaveamento e controlado manualmente.

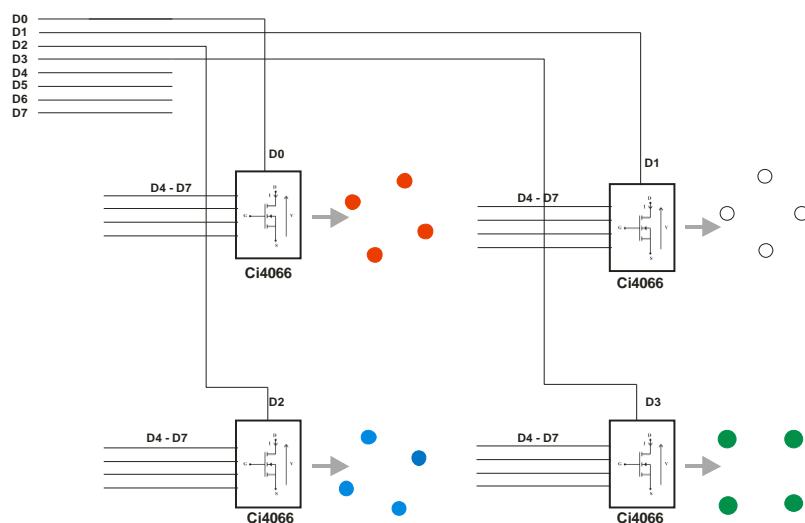
A Figura 3-3 representa o esquema geral do sistema.



**Figura 3-3 Controle dos leds é feito manualmente**

O sistema de iluminação consiste em acender primeiramente apenas os leds da cor branca, em ordem crescente de intensidade (1 led branco, 2 leds brancos, 3 leds brancos e finalmente 4 leds brancos). Para cada intensidade será necessário que a câmera de aquisição de imagem capture o diâmetro da pupila. O processo deve se repetir para as outras três cores. Portanto para cada usuário será adquirido um total de 16 respostas da pupila (4 intensidades diferentes para os 4 tipos de cores).

O circuito mostrado na Figura 3-4 exemplifica o chaveamento de cada cor. Os bits D0 - D3 selecionam a cor, e os bits D4 - D7 selecionam quantos (intensidade) LEDs da cor serão acesos.

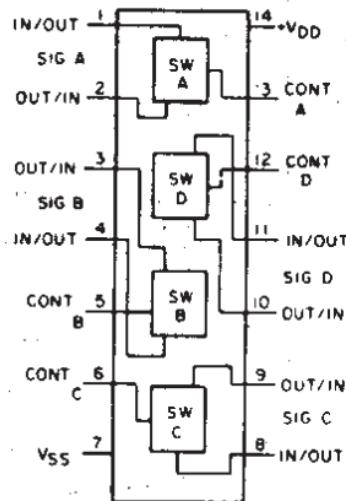


**Figura 3-4 Cada CI4066 é responsável por um espectro de cor**

O CI4066 é um integrado produzido sob tecnologia CMOS, composto por 4 independentes chaves bilaterais para a transmissão ou multiplexação de sinais analógicos ou digitais. Um único sinal é requerido por chave para mudá-la entre os estados on/off.

O CI4066, apresentado na Figura 3-5, tem as seguintes características:

- Resistência no estado "on" de  $125\Omega$  constante para uma tensão de alimentação típica de 15V
- Resistência do estado "off" da ordem de  $10^{12}\Omega$
- Intervalo das tensões de alimentação:  $-0,5 < V_{DD} < +20$  [V],  $-0,5 < V_{SS} < +20$  [V]
- Temperatura de operação ( $T_A$ ): -55 até +125 [°C]
- Baixa corrente de chaveamento  $I_B$
- Resposta rápida devido aos transistores MOSFET



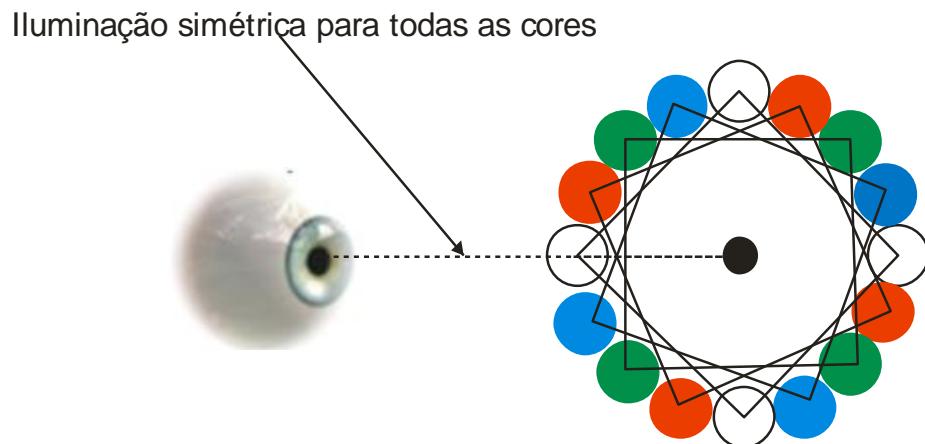
**Figura 3-5 Detalhamento dos 4 chaveadores do CI4066**

Fonte: <<http://www.alldatasheets.com/CI4066.html>>

O controle de cada uma das quatro chaves do integrado é feito pelos pinos  $V_{CONT}$ . Se  $V_{CONT} = V_{DD}$  a chave SW está fechada, se  $V_{CONT} = V_{SS}$  a chave SW está aberta. No trabalho apresentado as tensões escolhidas foram  $V_{DD} = 5V$  e  $V_{SS} = 0V$ .

A disposição do sistema de iluminação foi realizada de modo que os quatro LEDs de cada cor estejam situados nos vértices de um quadrado, conforme mostra a Figura 3-6. Como o olho esquerdo do usuário ficará posicionado de maneira que a pupila fique no centro dos LEDs,

a configuração em quadrante possibilita uma iluminação em simetria para os quatro espectros de cores. A distância entre a posição do olho e o centro do aparato de iluminação é de 10 cm.



**Figura 3-6 A iluminação simétrica permite que todas as cores influenciem o olho de maneira equivalente**

Para medir a intensidade resultante de cada led em cada cor e da associação de 1, 2, 3 e 4 leds, foi utilizado um Luxímetro. O APÊNDICE B apresenta os dados técnicos deste aparelho.

Para que não ocorressem grandes diferenças entre os níveis de intensidade medidos, o protótipo do experimento foi completamente vedado com pano preto e as luzes do ambiente apagadas visando diminuir possíveis interferências. O sensor do luxímetro foi posicionado aproximadamente a 10cm de distância do conjunto dos leds (mesma distância do olho humano) e para cada espectro de cor com suas diferentes intensidades foram coletadas 10 amostras, obtendo-se assim uma média aritmética em LUX. A Tabela 3-1 mostra a média de intensidades para cada espectro e intensidade.

**Tabela 3-1 Valor médio de intensidades luminosas para cada led**

	<b>1 led [LUX]</b>	<b>2 leds [LUX]</b>	<b>3 leds [LUX]</b>	<b>4 leds [LUX]</b>
<b>Branco</b>	25	35	54	65
<b>Vermelho</b>	23	48	50	63
<b>Verde</b>	24	45	54	68
<b>Azul</b>	18	35	43	73

### **3.1.2) Câmera de aquisição de imagem**

A etapa de aquisição da imagem é o mais importante na montagem do hardware, uma vez que a ocorrência de falhas nele ocasiona uma análise imprecisa dos dados nos processos seguintes.

Como o olho direito (olho que será obtido a imagem de aquisição) do indivíduo não foi iluminado com nenhum espectro visível, foi necessário iluminá-lo com iluminação infravermelho para obter a imagem do olho. Entretanto, um sistema que detecte luz infravermelho não foi a única característica técnica relevante na escolha da câmera de aquisição, as outras características são descritas a seguir:

1. Quadros por segundo: a quantidade de quadros que a câmera pode capturar em cada segundo é identificada como FPS. Quanto mais alto for o número de FPS, maior será a taxa de aquisição do vídeo para imagens em movimento
2. Tamanho: o tamanho da câmera é importante dependendo da aplicação a ser utilizada
3. Câmera com LEDs fotodetectores para gerar a iluminação NIR, permitindo a aquisição de imagem nesta faixa de frequência
4. Como foi citado anteriormente, a câmera deve reconhecer a luz infravermelha. Portanto foi necessário que ela tivesse embutido um Sistema NIR (Near Infrared)
5. Circuito CCD (charged-coupled device – circuitos integrados de estado sólido) da câmera e captura de imagens com resolução de 320 x 240 pixels

Com esta análise de características definida e a partir de diferentes modelos dos fabricantes optou-se pelo modelo SPC900NC da Philips para integrar o sistema de aquisição de imagem. A Tabela 3-2 mostra os principais dados técnicos da câmera requeridos no projeto.

**Tabela 3-2 Dados técnicos da câmera SPC900NC**

<b>Marca</b>	<b>Philips</b>
<b>Modelo</b>	<b>SPC900NC</b>
<b>Sensor</b>	<b>CCD</b>
<b>Resolução</b>	<b>1.3 Mpixel</b>
<b>Formato Vídeo</b>	<b>VGA</b>
<b>Quadros por Segundo</b>	<b>29 fps</b>
<b>Conexão</b>	<b>USB 2.0</b>

Para a iluminação infravermelha NIR foi acoplado à câmera SPC900NC um suporte com leds infravermelhos como mostrado na Figura 3-7.



**Figura 3-7 Câmera Philips SPC900NC acoplada no protótipo de testes**

### **3.2 Desenvolvimento do protótipo para aquisição de imagens**

Tendo como referência os produtos descritos em 2.4 e outras tecnologias no ramo de identificação biométrica adotou-se como qualidades essenciais no desenvolvimento do Protótipo do Projeto:

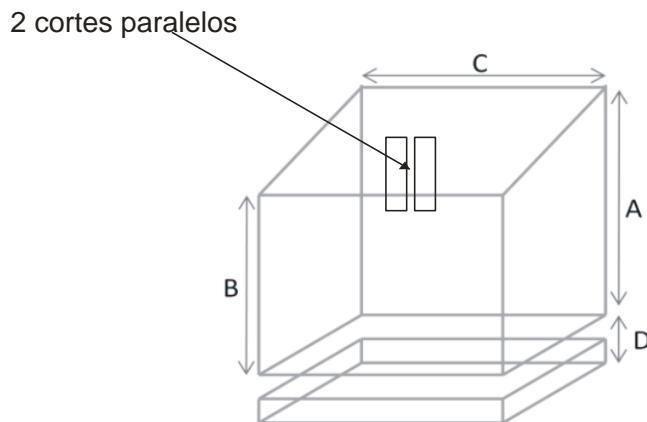
- Mobilidade;
- Ergonomia para facilitar a análise em diferentes tipos de rostos
- Possibilidade de otimização em projetos posteriores

Como citado anteriormente, o protótipo utiliza os seguintes componentes eletrônicos:

- Câmera CCD SPC900NC da Philips, com leds IR acoplados
- Sistema de iluminação com 16 leds

Para a montagem de todo o sistema foi utilizado uma base de madeira com as seguintes características (FERRAREZI, 2010):

- Madeira de 3mm
- Dimensões – A=18cm, B=12cm, C=30cm e D=5cm,
- Tecido preto para isolamento da iluminação ambiente
- Base de óculos – tamanho único para adultos
- 2 cortes na parte traseira da base para a passagem dos condutores dos leds



**Figura 3-8 Modelo da base do protótipo**

Utilizando-se da base do protótipo anteriormente desenvolvida, instalou-se o sistema de leds para iluminar o olho esquerdo e a câmera de aquisição para capturar imagens do olho direito. Conforme mostra as Figura 3-9 a) e b).



**Figura 3-9 a) Protótipo desenvolvido para análise da pupila do voluntário b) Protótipo para análise da pupila e o circuito eletrônico de iluminação feito em *protoboard***

A iluminação de um olho e a captura da imagem do outro olho baseia-se no conceito explicado anteriormente de Reflexo Consensual. Desta forma foi possível ilumina-se, então, apenas o olho esquerdo e captura-se a imagem do olho direito para análise da resposta da pupila.

O protótipo mostrado na Figura 3-9 a) foi interfaceado pelos *drivers* da câmera na plataforma Windows 7 instalada no computador. O controle de iluminação dos leds foi realizado pelo circuito de chaveamento detalhado em **3.1.1**) e a imagem capturada pela câmera do olho direito foi gravada no formato *.mpg* e convertida para o formato *.avi*

O software utilizado para compilar as ferramentas de Visão Computacional que fazem o processamento da imagem foi o Microsoft Visual C++ 2008 Express Edition, com a biblioteca OpenCv.

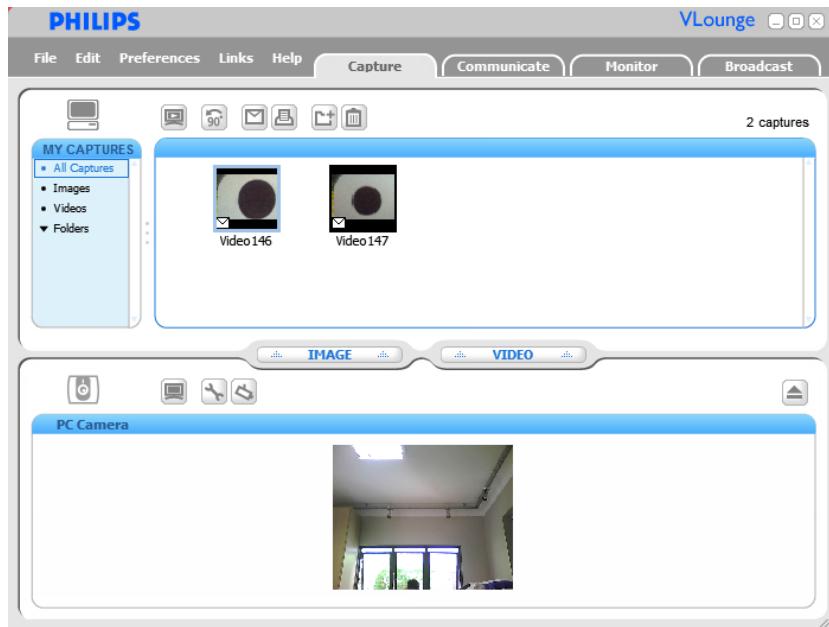
### **3.3 Desenvolvimento do Software**

No trabalho de Rogério et al. (2010) foi implementada a Transformada Circular de Hough para a detecção das formas circulares do olho, como a íris e a pupila. A motivação para o uso dessa técnica baseia-se no fato da transformada ser uma ferramenta facilmente implementada em linguagem C++ e possuir parâmetros que possibilitam selecionar a pupila de maneira eficiente e satisfatória para o projeto. Com base neste trabalho, decidiu-se implementar esta mesma transformada para o atual projeto de reconhecimento da pupila e posterior cálculo do diâmetro.

#### **Gravação e conversão da imagem**

A imagem capturada pela câmera e digitalizada pelo microcomputador foi, inicialmente, gravada no formato *mpg*.

A gravação da imagem foi realizada pelo próprio software da câmera Philips 900NC, o VLounge. A Figura 3-10 mostra a interface do software para gravação de imagens.



**Figura 3-10 Interface do software VLouge para gravação da imagem do olho humano**

Após o processo de gravação foi necessário converter a imagem do formato .mpg para o formato .avi. O conversor utilizado foi o CODEC INTEL, possibilitando uma perda nula na qualidade do vídeo, porém com um tamanho maior do arquivo de vídeo.

### 3.4 Software para processamento da imagem

O programa desenvolvido para este trabalho implementa os seguintes procedimentos:

- Abertura da imagem a ser processada
- Criação de um arquivo .txt para armazenamento dos valores do diâmetro da pupila
- Aplicação de técnicas de Visão Computacional para tratamento da imagem
- Reconhecimento da pupila
- Cálculo do diâmetro
- Gravação dos valores do diâmetro no arquivo.txt

O programa completo com comentários específicos foi colocado no APÊNDICE C. Desta forma será feito apenas uma explicação geral do funcionamento do código seguindo os passos do algoritmo acima.

A primeira função básica do software de processamento é abrir a imagem gravada pela câmera. Para tanto o OpenCV disponibiliza as estruturas *CvCapture* e *IplImage* e as funções *cvCreateFileCapture* e *cvQueryFrame*.

#### Pseudo-código para gravação da imagem

```
CvCapture* capture;  
IplImage* frame;  
Capture = cvCreateFileCapture("Endereço do vídeo gravado");  
Frame = cvQueryFrame(capture);
```

Na qual:

- CvCapture define uma estrutura de vídeo "capture", que contem todas as informações do vídeo a ser processado
- IplImage define uma estrutura de imagem "frame", que contem todas as informações da imagem (como resolução e escala de cor)
- cvCreateFileCapture é a função que abre o vídeo ".avi" gravado e o armazena na estrutura "capture"
- cvQueryFrame é uma função a qual converte a estrutura de vídeo "capture" para frames que são alocados na estrutura "frame", sendo então possível a aplicação das técnicas de Visão Computacional em cada um destes frames

Na seqüência foi criado o arquivo .txt através da função *fopen*. Posteriormente a gravação dos valores do diâmetro da pupila serão gravados neste arquivo.

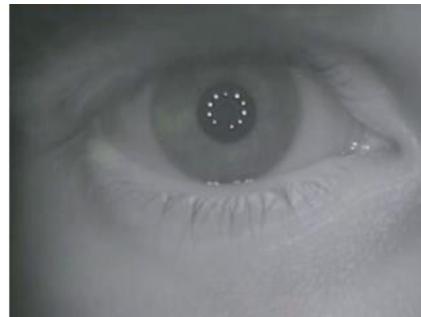
#### Pseudo-código para geração do arquivo de texto para gravação dos resultados

```
Char usuario[50];  
strcat(usuario,"txt");  
FILE* f = fopen(usuario,"wt");
```

Na qual:

- strcat é uma função que concatena a string "usuario" com a terminação ".txt"
- fopen é uma função a qual define uma estrutura de arquivo "f" com o nome definido em "usuario" no formato ".txt"

Para tratamento da imagem do olho do usuário foram utilizadas duas técnicas de Visão Computacional: *Smooth* e Conversão para escala e cinza. O resultado é mostrado na Figura 3-11.

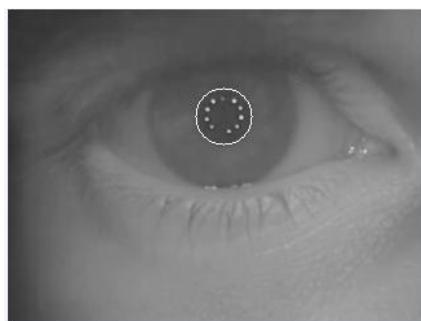


**Figura 3-11 Aplicação de *Smooth* e Conversão para escala de cinza**

Após o tratamento da imagem é necessário detectar a pupila. Como a sua forma é próxima a um círculo, utiliza-se a transformada circular de Hough para a sua detecção. A função *cvHoughCircles* utiliza diversos parâmetros para a detecção de círculos, onde os valores de *Threshold* foram definidos empiricamente. A função gera uma seqüência de círculos, onde cada círculo apresenta três parâmetros:

- $p[0]$  e  $p[1]$  representam o ponto central do círculo
- $p[2]$  representa o raio do círculo

A Figura 3-12 mostra a imagem do olho com a detecção da pupila feita por meio da Transformada de Hough.



**Figura 3-12 Transformada de Hough usada na detecção da pupila**

O parâmetro  $p[2]$  (raio do círculo de Hough) gerado pela função *cvHoughCircles* é utilizado para o cálculo do diâmetro. Para converter  $p[2]$  e obter o valor correto do diâmetro em milímetros, é necessário converter os valores obtidos.

Neste projeto foi utilizada a mesma conversão proposta por Ferrarezi (2010). Ela foi feita a partir de uma imagem base que possui círculo de 10mm de diâmetro, como mostrado na Figura 3-13 e a partir dela calculado a conversão de todos os outros valores, conforme mostra a Equação 3.1.

$$Diâmetro = \frac{Raio\_Houg\ h \times 10}{19,21 \times 3} \quad \text{Equação 3.1}$$

A Equação 3.1 é simplesmente obtida a partir da proporção entre as escalas de saída do diâmetro, representado pelo parâmetro `p[2]`, e a escala em milímetros da imagem da Figura 3-13.

Todos os valores do diâmetro da pupila foram gravados no arquivo .txt criado anteriormente. A função de gravação de dados é `fprintf`. Dessa maneira, foi construída uma base de dados para cada usuário para analisar graficamente a resposta do diâmetro da pupila em função da luminosidade.



**Figura 3-13 – Imagem base de 10mm de diâmetro**

# Capítulo 4

---

## 4. RESULTADOS E CONCLUSÕES

Para análise dos resultados foram gravados 64 vídeos dos 4 voluntários, 16 para cada usuário. Com isso obteve-se 64 arquivos no formato *.txt*, dos quais, a partir dos softwares *Matlab* e *Excel* foi possível plotar gráficos e montar tabelas mostrando dados quantitativos quanto a resposta da pupila de cada voluntário. A Tabela 4-1 mostra as características do olho de cada usuário.

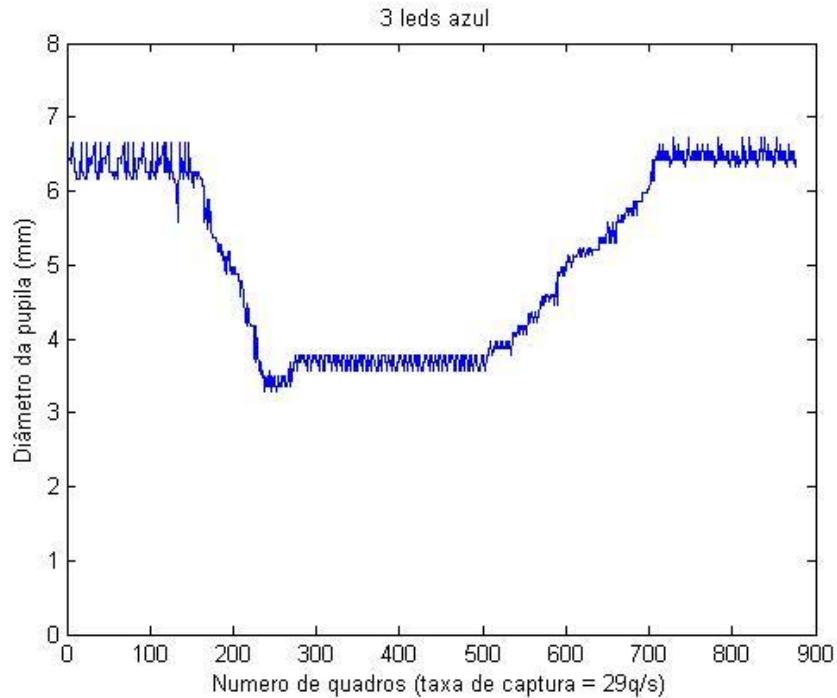
**Tabela 4-1 Dados dos voluntários**

	<b>SEXO</b>	<b>IDADE</b>	<b>COR DA IRIS</b>	<b>DISTURBIO VISUAL</b>
<b>Voluntário 1</b>	Feminino	23	azul claro	4' miopia, 0,25' astigmatismo
<b>Voluntário 2</b>	Feminino	24	marrom escuro	0,5' miopia, 0,5 astigmatismo
<b>Voluntário 3</b>	Masculino	22	preto	-
<b>Voluntário 4</b>	Masculino	22	verde claro	0,5' miopia, 0,5 astigmatismo

Neste trabalho foram extraídas 5 características da pupila para formar um banco de dados para a analise biométrica de cada individuo:

- 1 Diâmetro médio da pupila
- 2 Tempo de contração
- 3 Tempo de dilatação da pupila
- 4 Taxa de contração
- 5 Taxa de dilatação da pupila

O diâmetro da pupila foi obtido a partir do software desenvolvido, gerando assim arquivos .txt com os valores do diâmetro. Um exemplo de gráfico para um voluntário gerado no *Matlab* a partir dos arquivos .txt é apresentado na Figura 4-1.



**Figura 4-1 Variação do diâmetro da pupila para um voluntário**

Cálculo das características da pupila:

Calcula-se a média do diâmetro da pupila a cada 25 frames;

O frame onde os leds são ligados é o 150 (aproximadamente 5 segundos) após o inicio do vídeo.

O **Tempo de contração**,  $\Delta$ frames *contração* (em frames), da pupila é calculado a partir de dois pontos: do frame 150 até o frame cujo diâmetro seja mínimo.

A **Taxa de contração** é calculada a partir do tempo de contração:

$$Taxa\ contração = \frac{Diâmetro\ (frame\ 150) - Diâmetro\ mínimo}{\Delta frames\ contração}$$

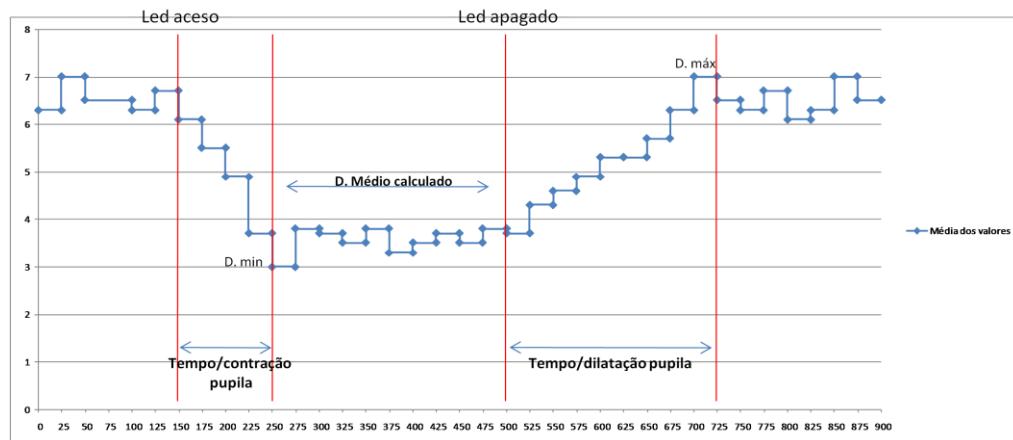
O frame de desligamento do led é o de número 500 (aproximadamente 17 segundos)

O **Tempo de dilatação**,  $\Delta$ frames *dilatação* (em frames), é calculado a partir de dois pontos: do frame 500 até o frame cujo diâmetro seja máximo.

A **Taxa de dilatação** é calculada a partir do tempo de dilatação:

$$Taxa\ de\ dilatação = \frac{Diâmetro\ máximo - Diâmetro\ (frame\ 500)}{\Delta frames\ dilatação}$$

O gráfico da Figura 4-2 mostra as 3 características analisadas:



**Figura 4-2 Diâmetro pupila x frames; média dos valores a cada 25 frames**

A partir do limite dos frames definido se obteve o **Diâmetro médio da pupila** conforme mostra a Figura 4-2.

Os gráficos da resposta da pupila para os 4 voluntários com relação ao espectro luminoso e a variação de intensidade são mostrados no APÊNDICE B.

No APÊNDICE A são mostrados os 16 gráficos de cada voluntário (v1, v2, v3, v4), dos quais podem-se obter as seguintes conclusões:

O valor do diâmetro da pupila para cada voluntário é variável. Por exemplo, para v3 e v4 o diâmetro da pupila é aproximadamente 6mm, enquanto que para v2 é 4mm e v1 é 7mm.

Durante os períodos de iluminação e sem iluminação nota-se uma pequena oscilação do diâmetro da pupila em torno de um valor. Desta forma conclui-se que a pupila possui uma resposta oscilatória quando iluminada com intensidade constante.

Analizando-se a variação do diâmetro para uma mesma intensidade de luz, conclui-se que a resposta da pupila varia conforme muda o espectro luminoso. Por exemplo, observa-se que para cada voluntário, a resposta com intensidade luminosa de 1 led é diferente entre os quatro tipos de espectro luminoso.

Os gráficos mostram um padrão de resposta da pupila entre os indivíduos quanto à intensidade luminosa e ao espectro de cores, indicando a possibilidade do uso de características biométricas para o reconhecimento dos indivíduos.

Juntamente com os gráficos, foram construídas tabelas com características quantitativas da pupila, como por exemplo, o diâmetro médio e a taxa/tempo de contração/dilatação. Os resultados são mostrados nas Tabelas 4-2 a 4-5.

Tabela 4-2 – Características quantitativas da pupila do voluntário 1 (olho azul claro) quando submetida às intensidades luminosas

	BRANCO				VERMELHO				1 LED
	1 LED	2 LEDs	3 LEDs	4 LEDs	1 LED	2 LEDs	3 LEDs	4 LEDs	
<b>Diâmetro máx (mm)</b>	7,09	7,09	7,09	7,38	7,09	7,09	7,09	7,09	6,94
<b>Diâmetro min (mm)</b>	5,27	3,38	2,68	2,43	4,72	3,53	3,14	2,74	4,45
<b>Variação máx do diâmetro</b>	1,82	3,71	4,41	4,95	2,37	3,56	3,95	4,35	2,49
<b>Tempo para contração da pupila (n.frames)</b>	41	64	67	68	47	57	65	72	49
Taxa para contração da pupila	0,034	0,047	0,052	0,056	0,030	0,046	0,048	0,052	0,033
<b>Tempo para dilatação da pupila (n.frames)</b>	100	210	240	252	120	185	191	201	110
Taxa para dilatação da pupila	0,014	0,014	0,014	0,015	0,012	0,014	0,016	0,019	0,015
<b>Diâmetro médio calculado durante iluminação (mm)</b>	5,3	3,71	3,24	2,87	5,28	4,07	3,58	2,94	5,09

Tabela 4-3 - Características quantitativas da pupila do voluntário 2 (olho marrom escuro) quando submetida às intensidades luminosas

	BRANCO				VERMELHO				1 LED
	1 LED	2 LEDs	3 LEDs	4 LEDs	1 LED	2 LEDs	3 LEDs	4 LEDs	
<b>Diâmetro máx (mm)</b>	4,66	4,21	4,22	4,07	4,28	4,28	4,28	4,28	4,26
<b>Diâmetro min (mm)</b>	2,15	1,78	1,64	1,34	1,709	1,61	1,31	1,1	2,15
<b>Variação máx do diâmetro</b>	2,51	2,43	2,58	2,73	2,571	2,67	2,97	3,18	2,11
<b>Tempo para contração da pupila (n.frames)</b>	50	52	55	62	69	70	75	77	42
Taxa para contração da pupila	0,033	0,041	0,043	0,045	0,032	0,035	0,036	0,038	0,041
<b>Tempo para dilatação da pupila (n.frames)</b>	148	157	163	168	111	220	259	270	131
Taxa para dilatação da pupila	0,011	0,013	0,015	0,017	0,020	0,011	0,010	0,011	0,013
<b>Diâmetro médio calculado durante iluminação (mm)</b>	2,54	2,07	1,81	1,4	1,96	1,71	1,5	1,22	2,47

**Tabela 4-4 - Características quantitativas da pupila do voluntário 3 (olho preto) quando submetida às intensidades luminosas**

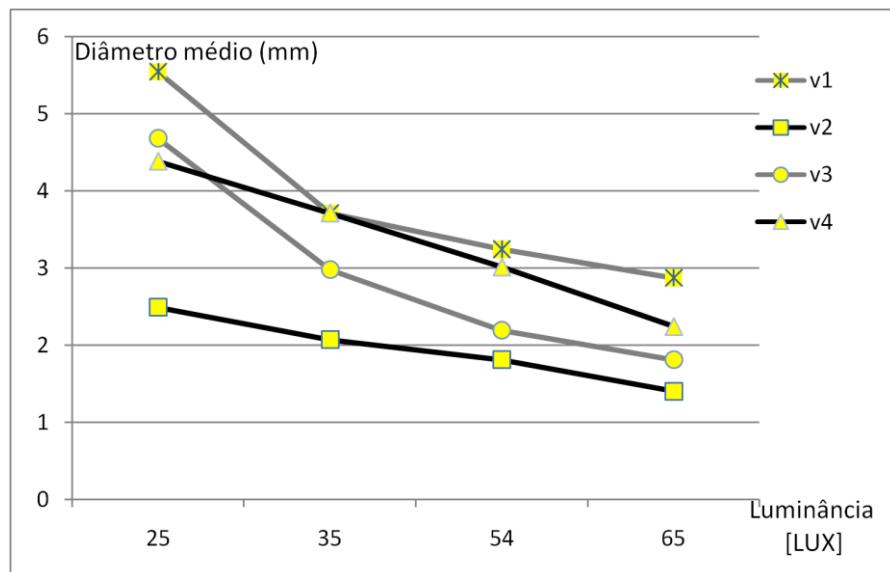
	BRANCO				VERMELHO				<b>1 LED</b>
	<b>1 LED</b>	<b>2 LEDs</b>	<b>3 LEDs</b>	<b>4 LEDs</b>	<b>1 LED</b>	<b>2 LEDs</b>	<b>3 LEDs</b>	<b>4 LEDs</b>	
<b>Diâmetro máx (mm)</b>	6,38	6,26	6,26	6,26	6,84	6,84	6,59	6,64	6,38
<b>Diâmetro min (mm)</b>	<b>4,04</b>	<b>2,82</b>	<b>2,04</b>	<b>1,51</b>	<b>5,035</b>	<b>4,18</b>	<b>3,02</b>	<b>2,24</b>	<b>5,01</b>
<b>Variação máx do diâmetro</b>	2,34	3,44	4,22	4,75	1,805	2,66	3,57	4,4	1,37
<b>Tempo para contração da pupila (n.frames)</b>	<b>55</b>	<b>104</b>	<b>120</b>	<b>128</b>	<b>43</b>	<b>56</b>	<b>63</b>	<b>74</b>	<b>43</b>
<b>Taxa para contração da pupila</b>	0,028	0,031	0,034	0,035	0,027	0,035	0,044	0,053	0,025
<b>Tempo para dilatação da pupila (n.frames)</b>	<b>158</b>	<b>192</b>	<b>241</b>	<b>255</b>	<b>228</b>	<b>245</b>	<b>251</b>	<b>259</b>	<b>104</b>
<b>Taxa para dilatação da pupila</b>	0,010	0,017	0,017	0,017	0,005	0,008	0,011	0,015	0,010
<b>Diâmetro médio calculado durante iluminação (mm)</b>	<b>4,68</b>	<b>2,98</b>	<b>2,19</b>	<b>1,81</b>	<b>5,09</b>	<b>4,28</b>	<b>3,45</b>	<b>2,34</b>	<b>5,17</b>

**Tabela 4-5 - Características quantitativas da pupila do voluntário 4 (olho verde claro) quando submetida às intensidades luminosas**

	BRANCO				VERMELHO				<b>1 LED</b>
	<b>1 LED</b>	<b>2 LEDs</b>	<b>3 LEDs</b>	<b>4 LEDs</b>	<b>1 LED</b>	<b>2 LEDs</b>	<b>3 LEDs</b>	<b>4 LEDs</b>	
<b>Diâmetro máx (mm)</b>	6,56	6,33	6,33	6,33	6,34	6,34	6,34	6,34	6,34
<b>Diâmetro min (mm)</b>	<b>4,11</b>	<b>3,7</b>	<b>2,87</b>	<b>2,35</b>	<b>5,08</b>	<b>4,18</b>	<b>3,48</b>	<b>3,026</b>	
<b>Variação máx do diâmetro</b>	2,45	2,63	3,46	3,98	1,26	2,16	2,86	3,314	
<b>Tempo para contração da pupila (n.frames)</b>	<b>58</b>	<b>63</b>	<b>74</b>	<b>84</b>	<b>32</b>	<b>53</b>	<b>56</b>	<b>63</b>	
<b>Taxa para contração da pupila</b>	0,035	0,040	0,044	0,048	0,036	0,037	0,046	0,050	
<b>Tempo para dilatação da pupila (n.frames)</b>	<b>162</b>	<b>212</b>	<b>265</b>	<b>296</b>	<b>149</b>	<b>168</b>	<b>241</b>	<b>300</b>	
<b>Taxa para dilatação da pupila</b>	0,013	0,012	0,012	0,014	0,008	0,012	0,011	0,011	
<b>Diâmetro médio calculado durante iluminação (mm)</b>	<b>4,19</b>	<b>3,71</b>	<b>3,01</b>	<b>2,24</b>	<b>5,1</b>	<b>4,28</b>	<b>3,68</b>	<b>3,08</b>	

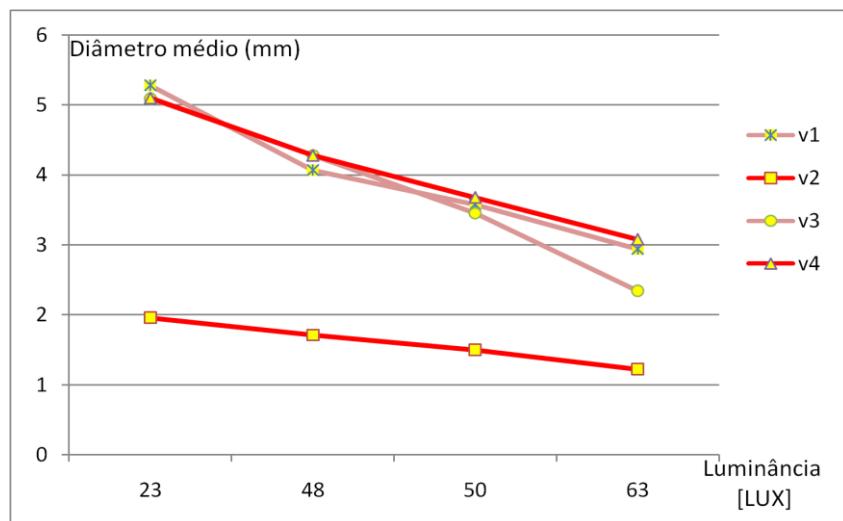
Nos gráficos das Figura 4-3 a Figura 4-6 são mostrados os diâmetros médios da pupila para cada cor em função da intensidade luminosa dos leds.

#### Cor Branca



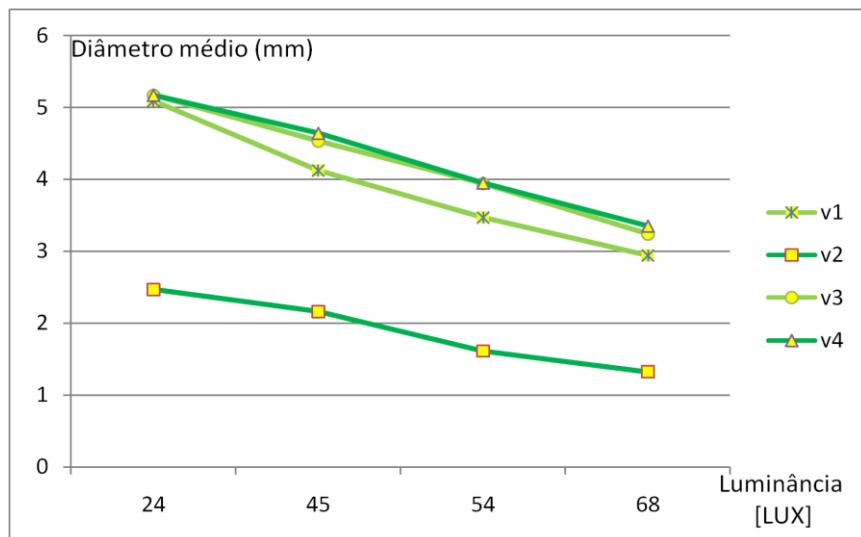
**Figura 4-3 Variação do diâmetro da pupila para todos os voluntários durante iluminação com led de cor branca**

#### Cor Vermelha



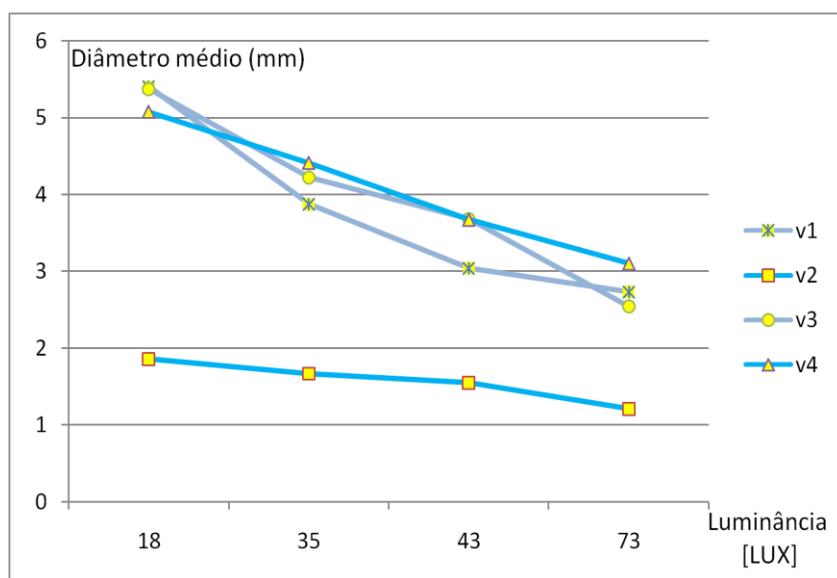
**Figura 4-4 Variação do diâmetro da pupila para todos os voluntários durante iluminação com led de cor vermelha**

 Cor Verde



**Figura 4-5 Variação do diâmetro da pupila para todos os voluntários durante iluminação com led de cor verde**

 Cor Azul



**Figura 4-6 Variação do diâmetro da pupila para todos os voluntários durante iluminação com led de cor azul**

Pela analise das Tabela 4-2 até a Tabela 4-5, verifica-se que os voluntários de olho claro (v1 e v4) apresentam, para todos os espectros, uma *taxa de contração* da pupila mais elevada do que os demais voluntários. Pode-se concluir que existe uma maior sensibilidade à luz de um olho com íris de cor clara quando comparada com as íris de cor escura.

Observando-se as Tabelas 4-2 a 4-5 e as Figuras do APENDICE A é possível concluir que o voluntário 2 que tem iris na cor marrom escuro, apresenta pequena variação do diâmetro da pupila, quando estimulada por qualquer das cores e em todas as intensidades testadas. Por exemplo, v2 apresenta uma variação de diâmetro máxima de 3,19mm, enquanto que v1, v3 e v4 apresentam, respectivamente, 4,95, 4,80 e 3,95mm.

Nota-se que o diâmetro da pupila de v2 é o menor entre todos os voluntários, desta forma a curva de contração não apresenta um coeficiente angular alto, resultando numa resposta mais suave com relação ao aumento da intensidade.

#### 4.1 Discussão

O protótipo desenvolvido mostrou-se eficiente para se atingir os objetivos propostos de análise da resposta da pupila. Submetida a diferentes intensidades luminosas e diferentes cores do espectro visível. Um resultado que se pode observar, da pesquisa realizada, é que a pupila apresenta, para cada usuário, padrões de resposta a estímulos luminosos que podem se caracterizar como características biométricas.

O software desenvolvido para o processamento da imagem para obter o diâmetro do olho humano foi continuamente refinado e está apresentado no APÊNDICE A. O reconhecimento da pupila a partir da Transformada Circular de Hough só foi possível devido a forma geométrica da pupila ser muito próxima a de um circulo. Em pessoas com distúrbios visuais acentuados e de maneira que a forma da pupila não seja semelhante a um circulo, é necessário outro tipo de processamento para identificação da pupila. Um modelo de processamento para detecção da pupila seria a partir da segmentação por área. Inicialmente seria necessário realizar os processos de *equalização* e *threshold* na imagem para delimitar a borda da pupila, e então conectar as regiões pela maior área encontrada, neste caso a pupila.

O sistema de iluminação é controlado manualmente. Desta forma os tempos de ligamento e desligamento dos leds não são exatos. Uma maneira mais otimizada de controlar os leds de iluminação seria incluir, junto do código de processamento da imagem, um código de controle dos leds através de conexão via USB.

## **4.2 Conclusão**

Com o protótipo proposto e implementado neste projeto de conclusão de curso foi possível atingir os objetivos estabelecidos. Ou seja, a resposta da pupila do olho humano quando submetida a diferentes intensidades luminosas e diferentes cores do espectro visível, apresenta comportamento diferente para diferentes indivíduos. Isso nos leva a crer que um sistema mais eficiente de reconhecimento biométrico da iris humana, deve ser investigado principalmente devido ao fato que é possível eliminar fraudes no reconhecimento pois o olho vivo responde aos estímulos luminosos em contraposição a imagens estáticas que eventualmente pudessem ser empregadas para iludir a segurança de um dispositivo de reconhecimento biométrico. Os gráficos de resposta da pupila gerados pelo software mostram resultados **pois** era de se esperar que olhos mais claros fossem mais sensíveis à intensidade luminosa do que olhos com iris de coloração escura.. Desta forma o objetivo de calculo do diâmetro da pupila e levantamento de características do olho humano foi atingido.

Como trabalho inicial neste assunto, esta pesquisa abre um campo de estudo maior. Os dados obtidos mostram comportamentos diferentes apenas do diâmetro da pupila. Nossa espaço amostral é muito pequeno e não nos permite concluir estatisticamente sobre este comportamento em uma população maior. No entanto, as variações obtidas nos levam a crer que novas investigações devem ser realizadas com caracterização inclusive médica de possíveis problemas de saúde anotados para que se possa ter uma melhor visão dos resultados obtidos.

## **4.3 Sugestões de trabalhos futuros**

- Trocar o controle manual de iluminação por um controle digital via USB, com o código de controle embarcado no código de processamento da imagem
- Alteração na forma de gravação da imagem, podendo ser feita um processamento *online* do usuário no mesmo momento em que ele coloca o olho para análise
- Aumentar a base de voluntários para obter dados estatísticos
- Saturação máxima da pupila quando submetida a maiores intensidades luminosas, desta forma pode-se calcular o diâmetro limite em que a pupila pode alcançar
- Investigar aplicações em oftalmologia e ou neurologia por meio da resposta da pupila a estímulos luminosos.

- Avaliar outras características além do diâmetro da pupila, que sofram variações quando submetidas a diferentes intensidades luminosas

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- BAXES, G. A. **Digital Image Processing: Principles and Applications**. ed.John Wiley & Sons, Inc, pg.7, 1994.
- BRADSKI, G; KAEHLER, A. **Learning OpenCV – Computer Vision with the OpenCV Library**. First Edition. Ed. United States: O'Reilly Media, Inc, 2008.
- CAMPOS, J. M; CARVALHO, A. P; COELHO, G. D. **MEDICINA RESGATADA - UMA INTRODUÇÃO A PRAXIS VERTEBRALIS**. Ed. Pensamento, 2<sup>a</sup> edição, 1996.
- CARREIRA, R. P. O. **Concepção de um Sistema Alternativo de Reconhecimento de íris cooperativo**. Departamento de Informática. Universidade de Beira Interior. Ago. 2009
- CARVALHO, L. A. D; JUNIOR, A. P. **Resultados preliminares de um Sistema Computadorizado e estereoscópico para pupilometria in vivo**. Arquivos Brasileiros de Oftalmologia, v. 71, p. no.6, Nov.2008.
- CASTELANO, C. R. **Estudo Comparativo da Transformada Wavelet no reconhecimento de Padrões da íris humana**, 2006.
- CIPOLLA, R; BATTIATO, S; FARINELLA, G. M. **Computer Vision: Detection, Recognition and Reconstruction**. 1<sup>a</sup> edição. Ed.Springer. 2010.
- CURCIO, C. A; HENDRICKSON, A. E. Organization and development of the primate photoreceptor mosaic. v. 10, pg. 89-120, 1991.
- DA COSTA, R. M. **Nova abordagem para reconhecimento biométrico baseado em características dinâmicas da íris humana**. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos. 2009.
- DA COSTA, R.; GONZAGA, A. **Extraction and selection of dynamic features of the human iris**, Out.2009.
- DAUGMAN, J. How iris recognition works. International Conference on Image Processing, v. 1, p. 33-36, 2004.

DOME, E. F. **Estudo do olho humano aplicado a Optometria.** 3<sup>a</sup> edição. Ed. SENAC- SP, pg 45, 1995.

FERRAREZI, G. G; Sistema de aquisição de imagem do olho humano para avaliação da resposta da pupila submetida a estímulos luminosos. Trabalho de Conclusão de Curso, EESC-USP, Junho, 2010. Disponível em <[www.tcc.usp.br](http://www.tcc.usp.br)>

GILLUWE, F.V. **The Undocumented PC: A Programmer's Guide to I/O, CPUs, and Fixed Memory Areas**, pg. 703, 1994.

GONZALEZ, R. C; WOODS, R. E. **Digital Image processing.** 3<sup>a</sup> edição, Ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 2008.

HENDRICKSON, A.E; YOUDELIS, C. **The morphological development of the human fovea.** Ophthalmology , v.91, pg. 603-612, 1984.

KANSKI, J. J. **Clinical Ophthalmology: A Systematic Approach.** 5<sup>a</sup> edição, Ed. Butterworth-Heinemann, 2007.

LEVINE, M. Vision in Man and Machine. ed.McGraw Hill, 2005.

MAGNUSON, S. **Defense department under pressure to share biometric data,** 2009. Disponível em: <<http://www.NationalDefenseMagazine.org>>.

MANN, I. **The development of the human eye.** Ed.Grune and Stralton, New York, 1964.

METZELLAR, J.A.W; VALVERDE, P. Gross Anatomy Eye. Disponível em <<http://webvision.med.utah.edu/anatomy.html>>. Acesso em: Abril 2011.

OGDEN, T.E. **Retina: Basic Science and inherited retinal disease.** The CV Mosby Co. St. Louis. , v.1, 1989.

REID, P. **Biometrics for Network Security.** Ed. Pearson Education, Inc, 2004)

ROGÉRIO, J. G; PEREIRA, A. S; MARRANGHELLO, N; BERNARDES, A. A; ARAÚJO, A. F; NASCIMENTO JR, A.J. **Utilização de crescimento por watershed e Transformada de Hough para localização da íris.** Fonte: Disponível em <[http://www.enacomp.com.br/cd/artigos/resumidos/enacomp2010\\_19.pdf](http://www.enacomp.com.br/cd/artigos/resumidos/enacomp2010_19.pdf)> Acesso em: abril 2011

SANTOS, A. L. **Gerenciamento de Identidades**. 1<sup>a</sup> edição. Ed. Brasposrt Livros e Multímidia, Ltda, 2007.

SHAPIRO, L. G; STOCKMAN, G. C. **Computer Vision**. Ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 2001

## APÊNDICE A – VARIAÇÃO DO DIÂMETRO DA PUPILA PARA CADA VOLUNTÁRIO

Voluntário 1

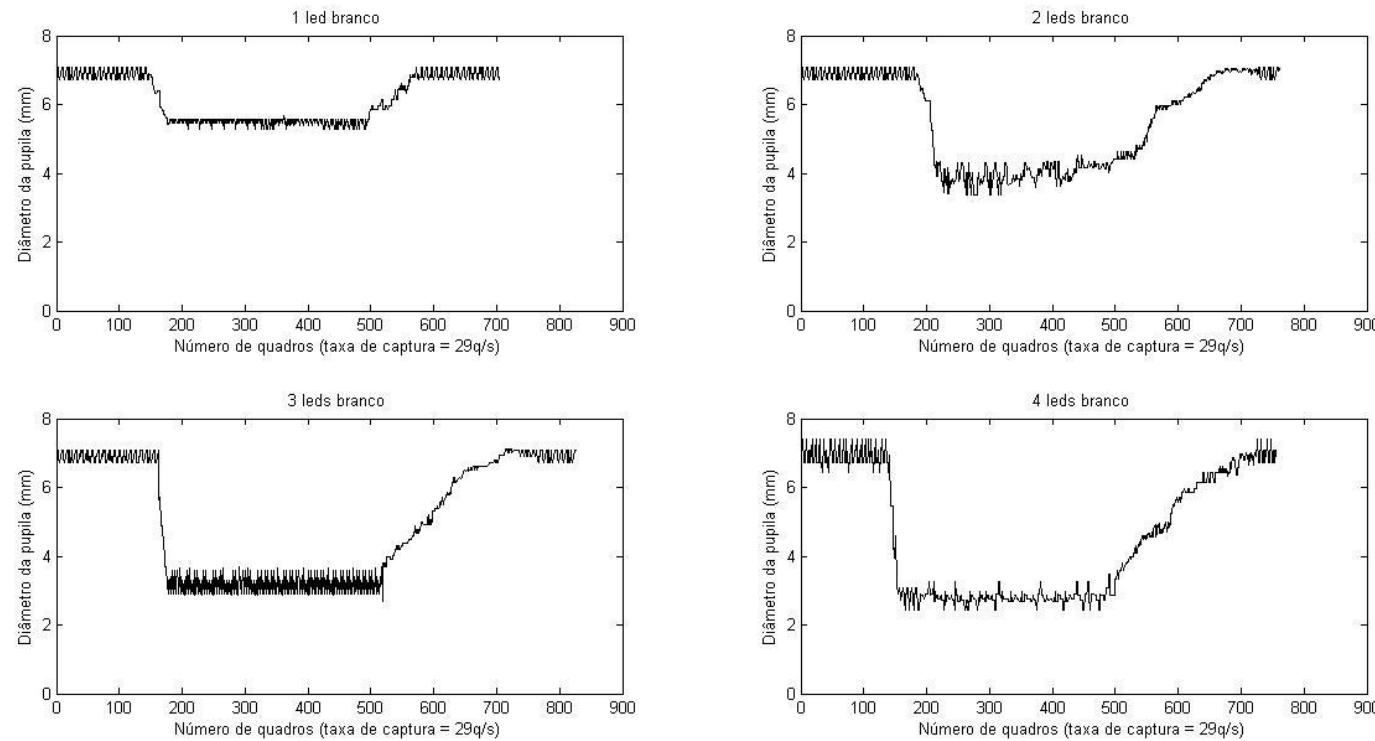
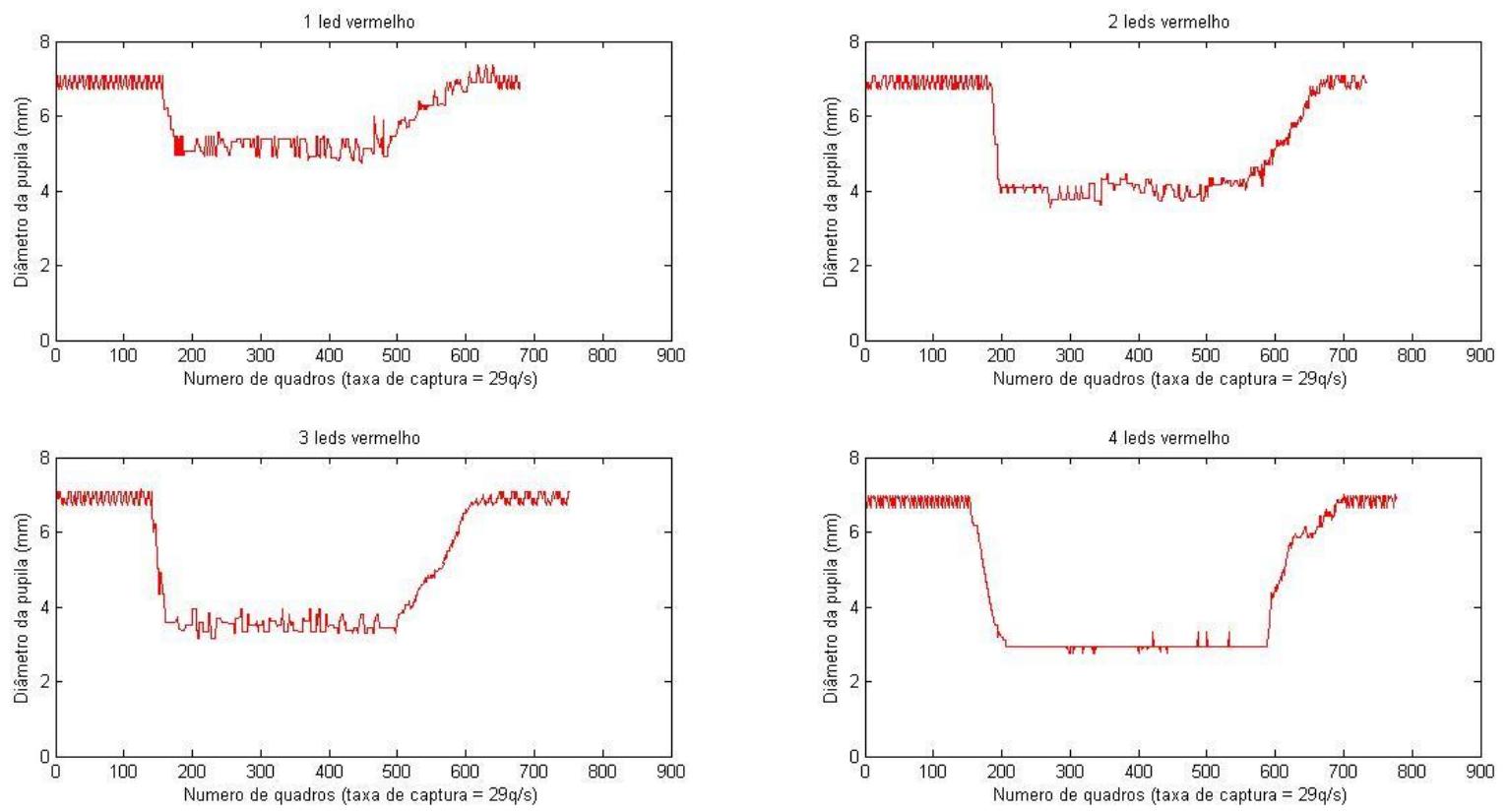
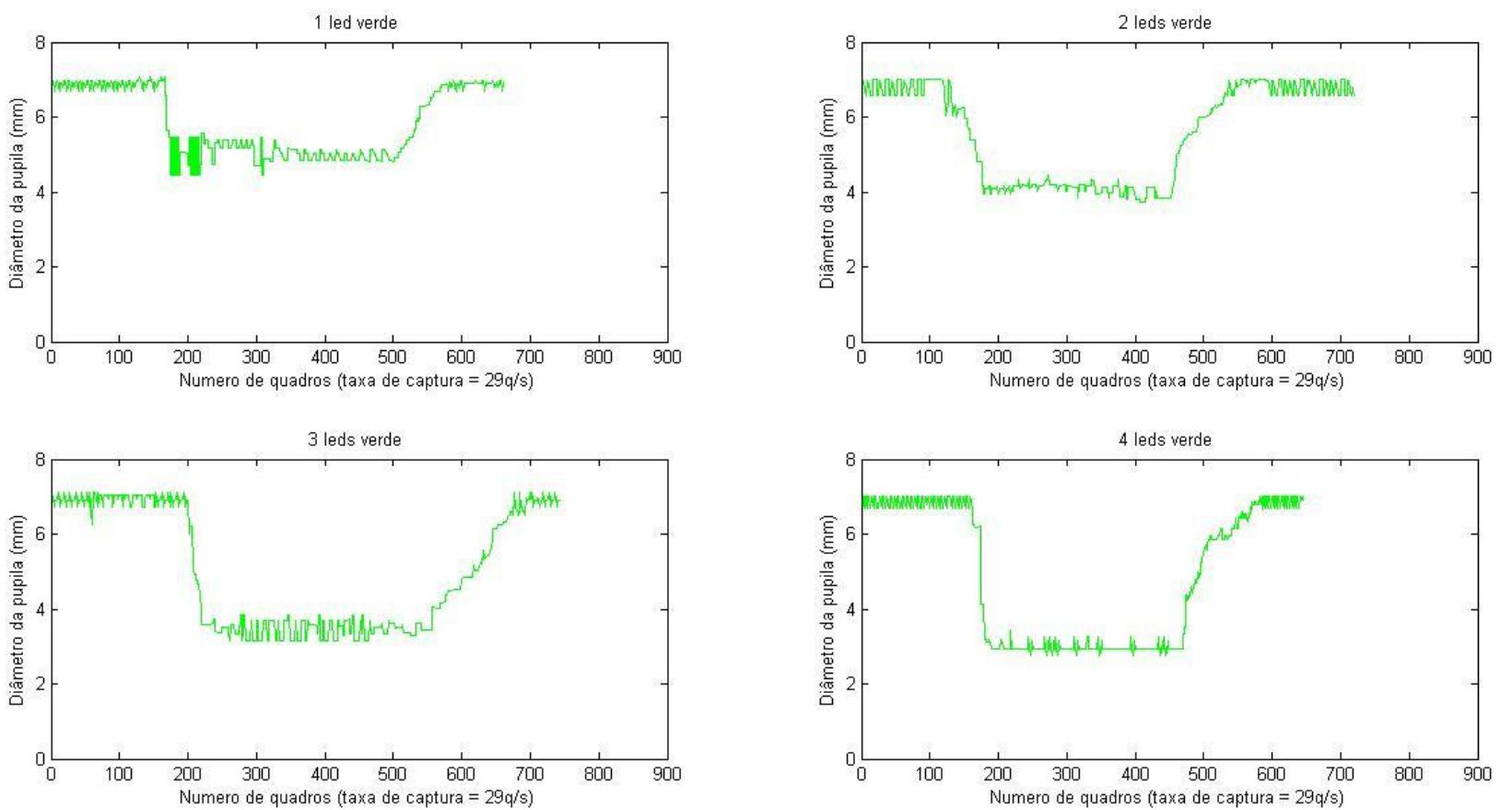


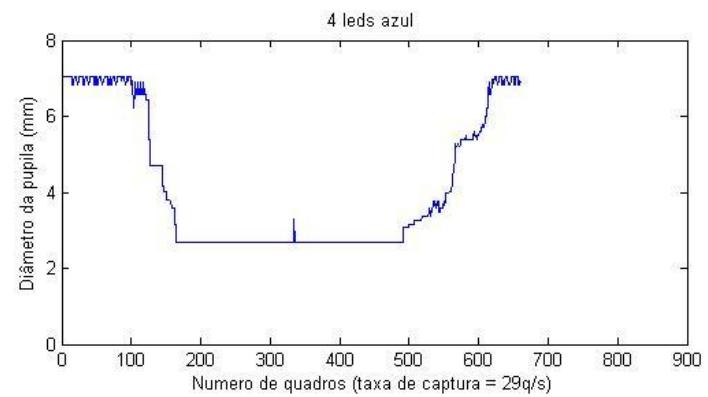
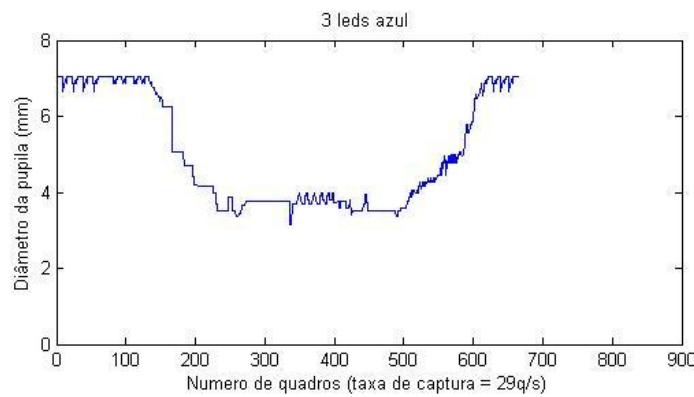
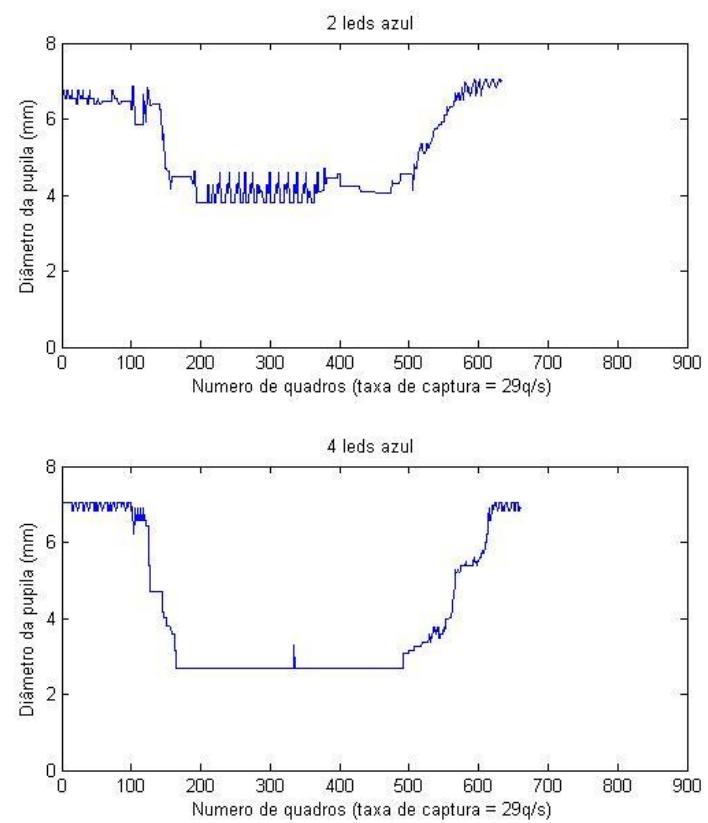
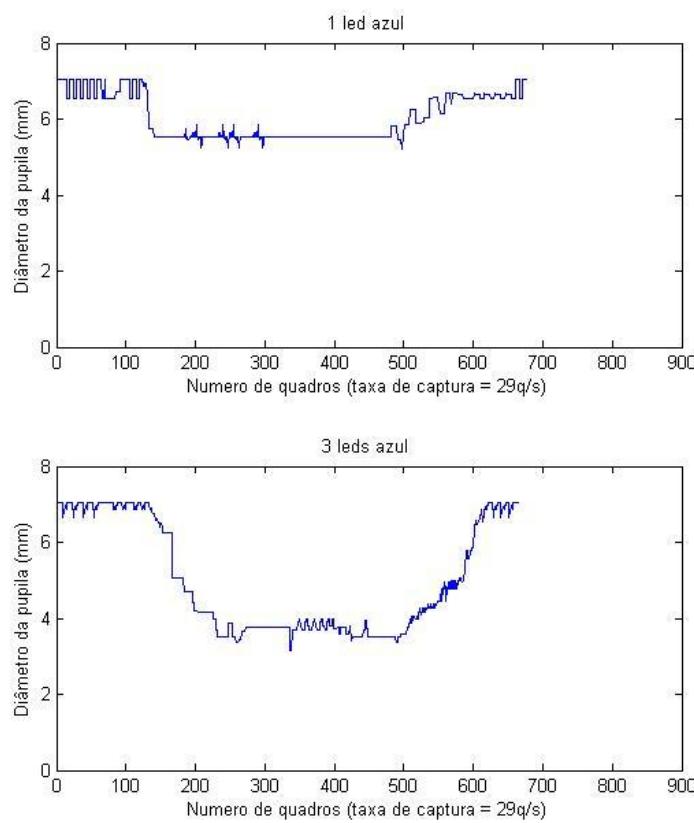
Figura - Resposta da pupila do voluntário 1 – cor branca



**Figura - Resposta da pupila do voluntário 1 – cor vermelha**



**Figura - Resposta da pupila do voluntário 1 – cor verde**



**Figura - Resposta da pupila do voluntário 1 – cor azul**

Voluntário 2

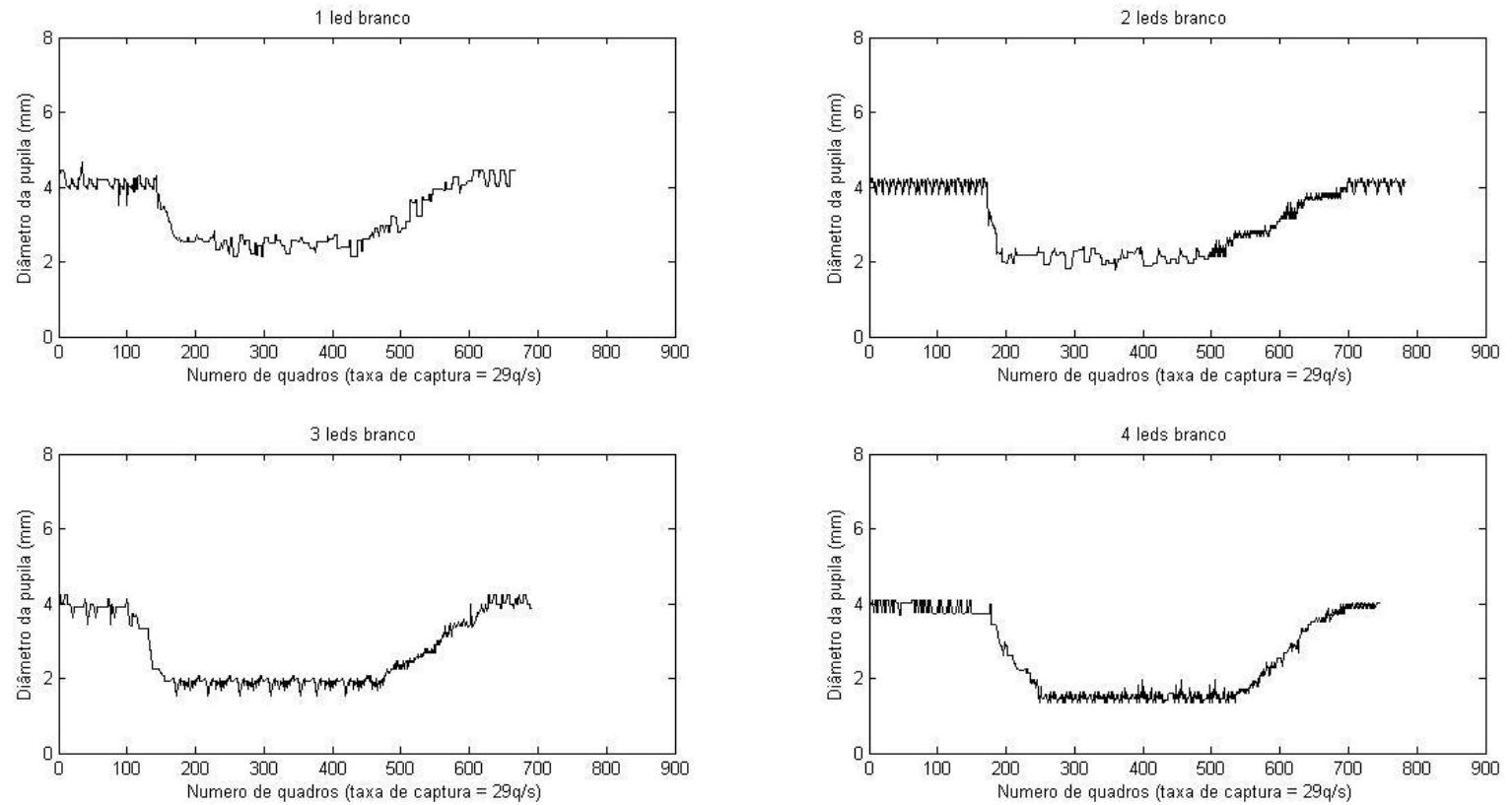
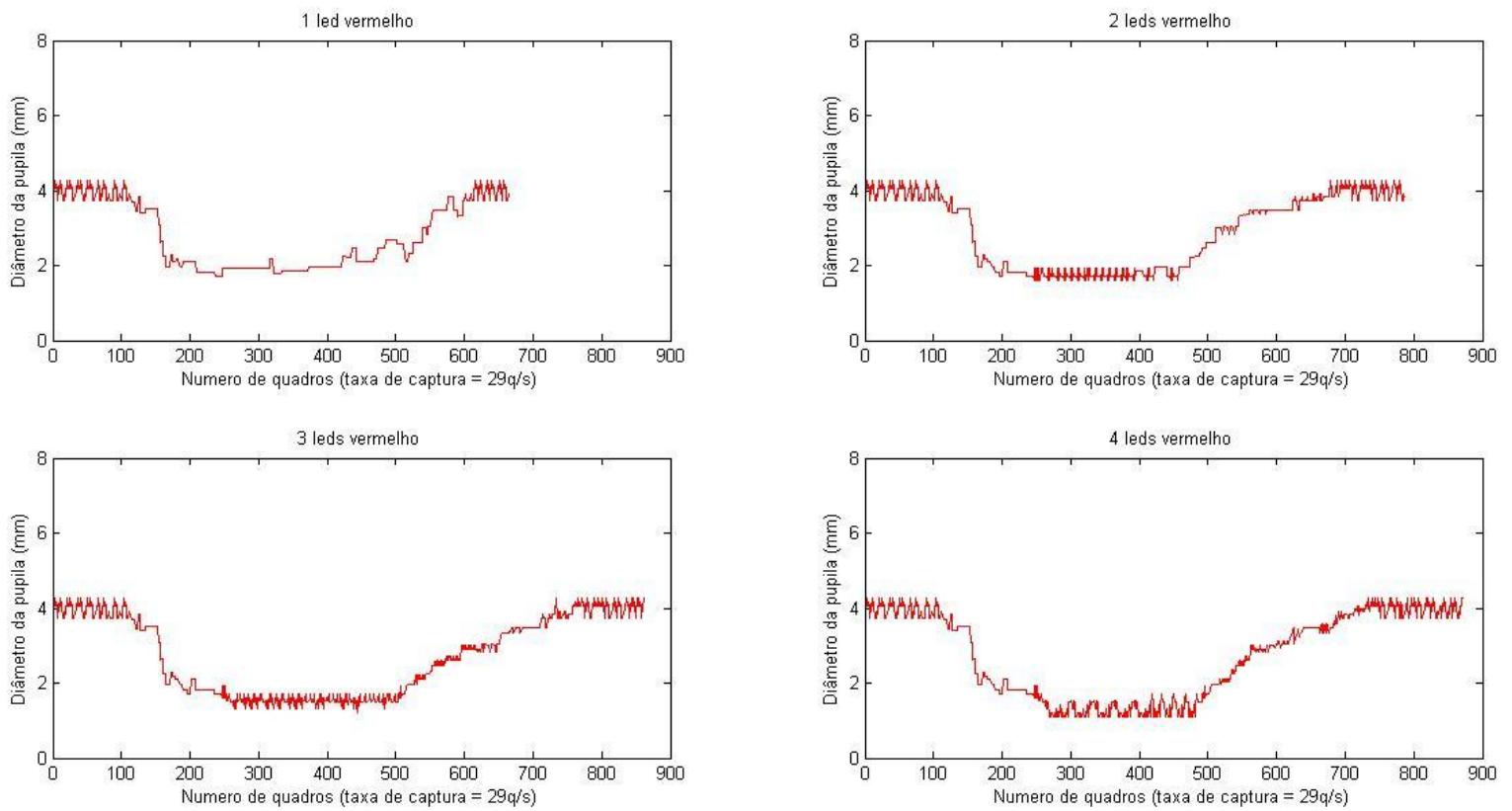
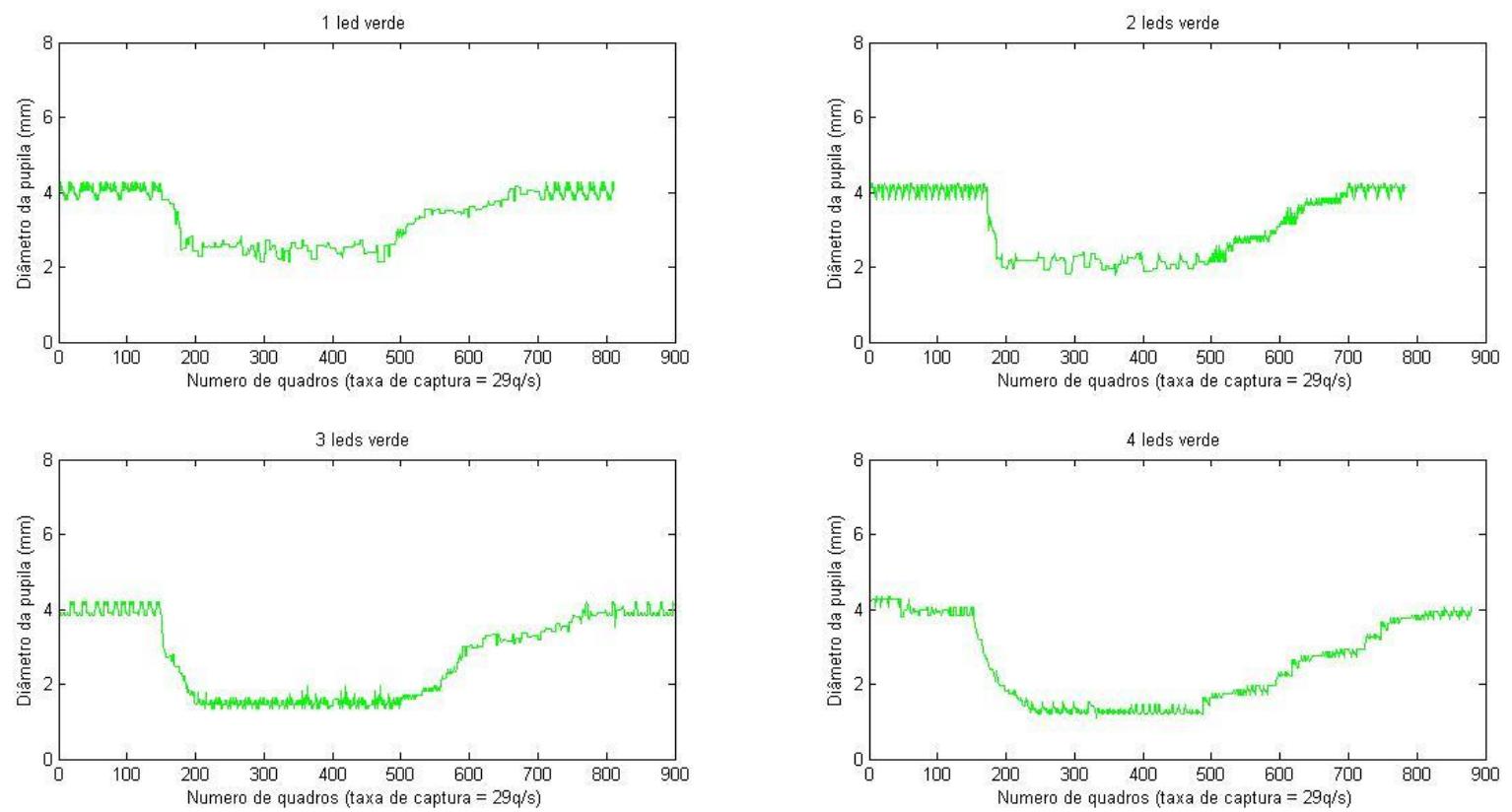


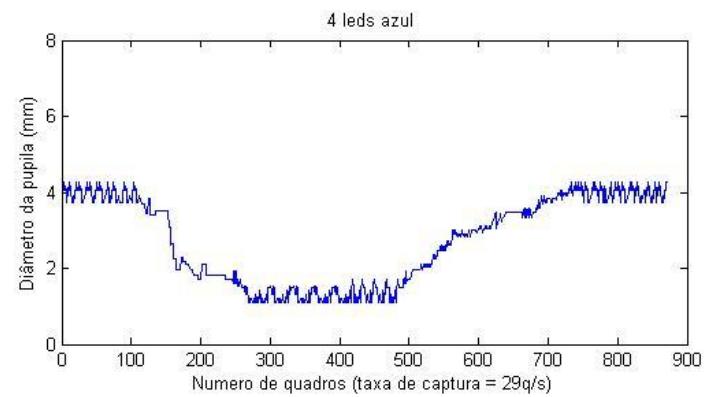
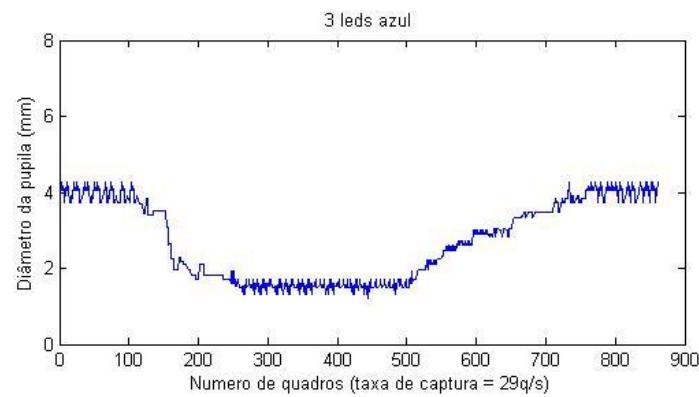
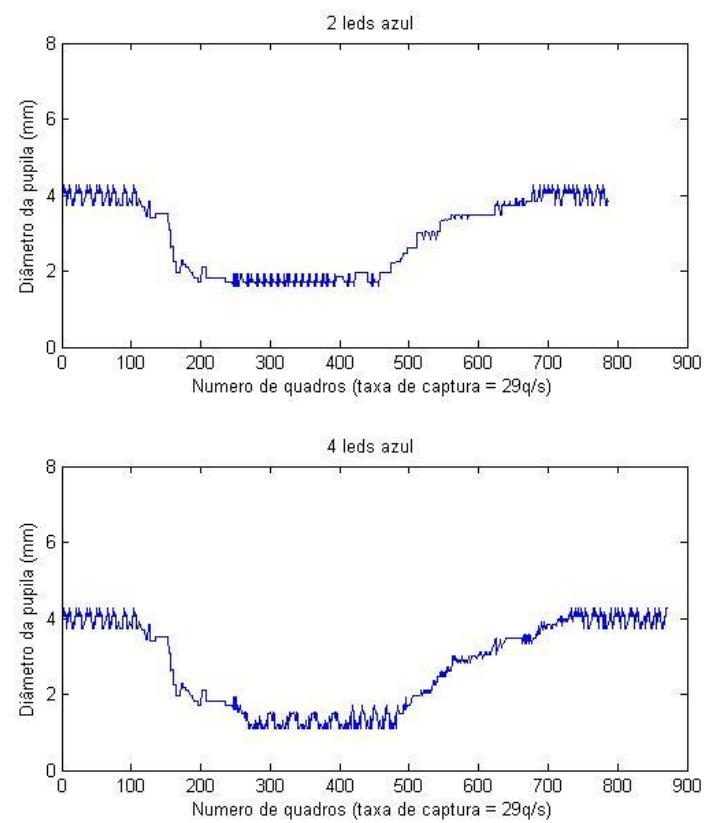
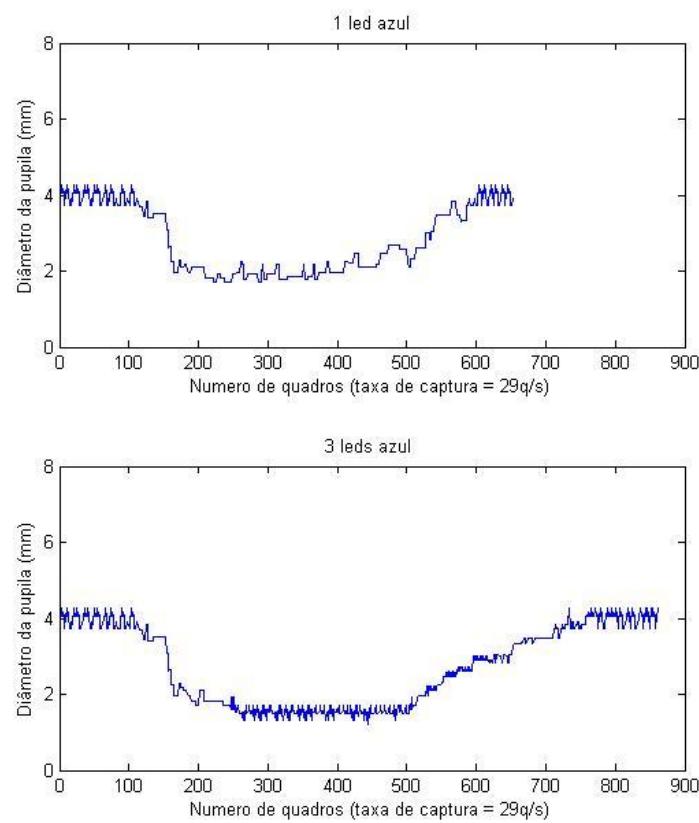
Figura - Resposta da pupila do voluntário 2 – cor branca



**Figura - Resposta da pupila do voluntário 2 – cor vermelha**



**Figura - Resposta da pupila do voluntário 2 – cor verde**



**Figura - Resposta da pupila do voluntário 2 – cor azul**

Voluntário 3

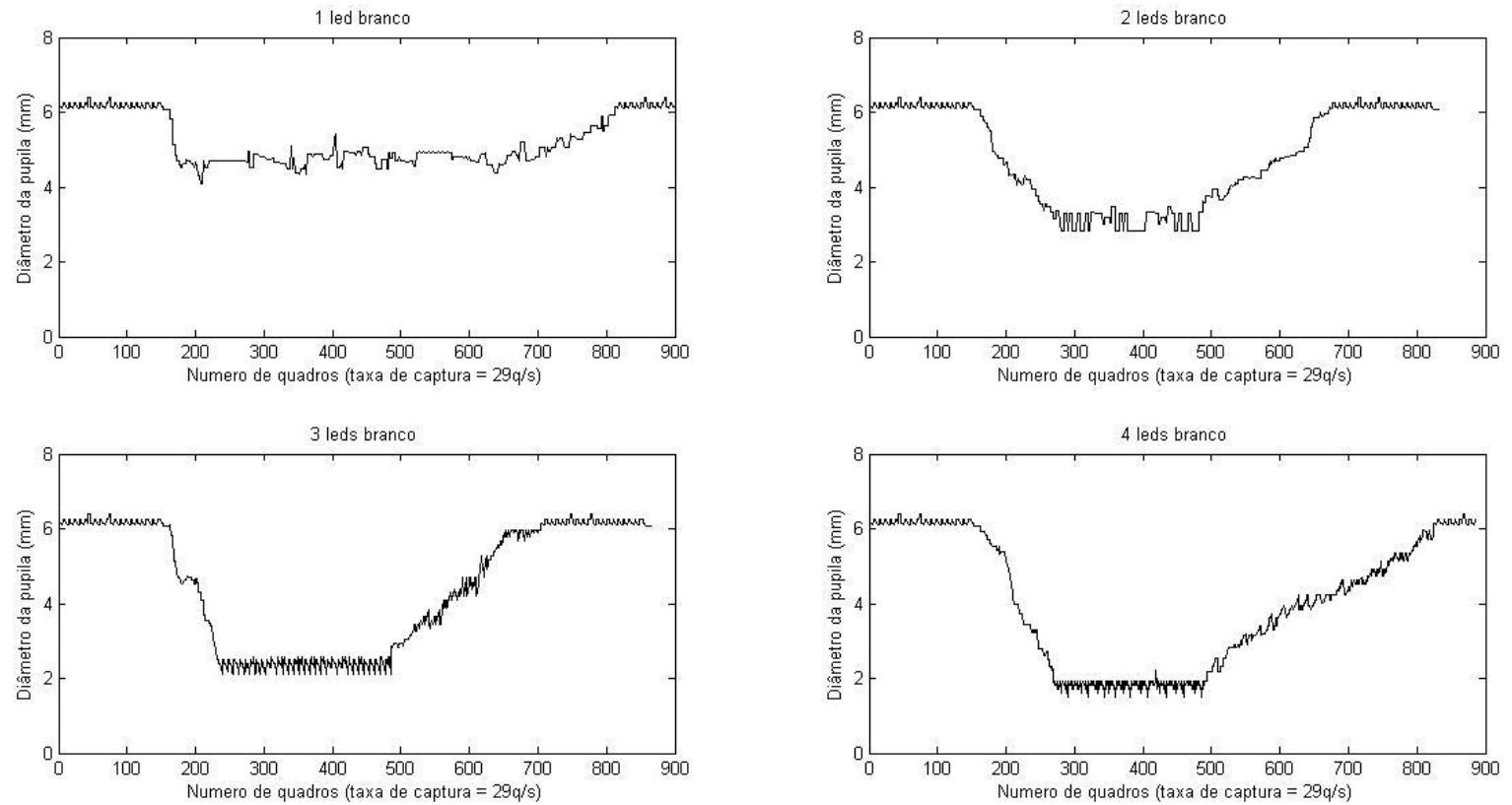
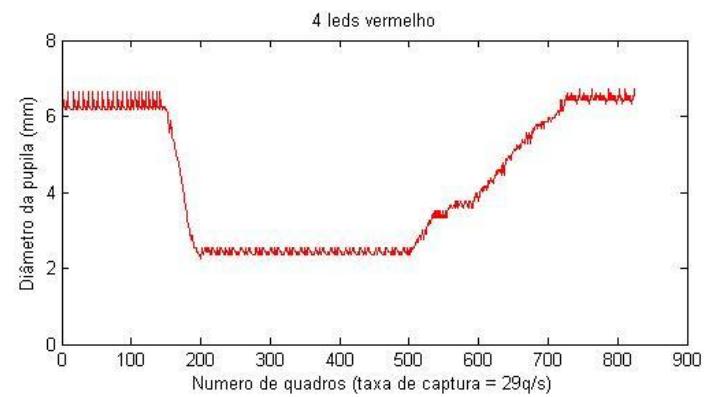
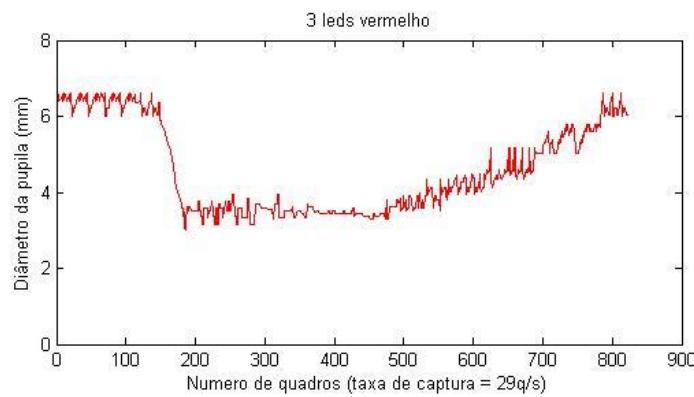
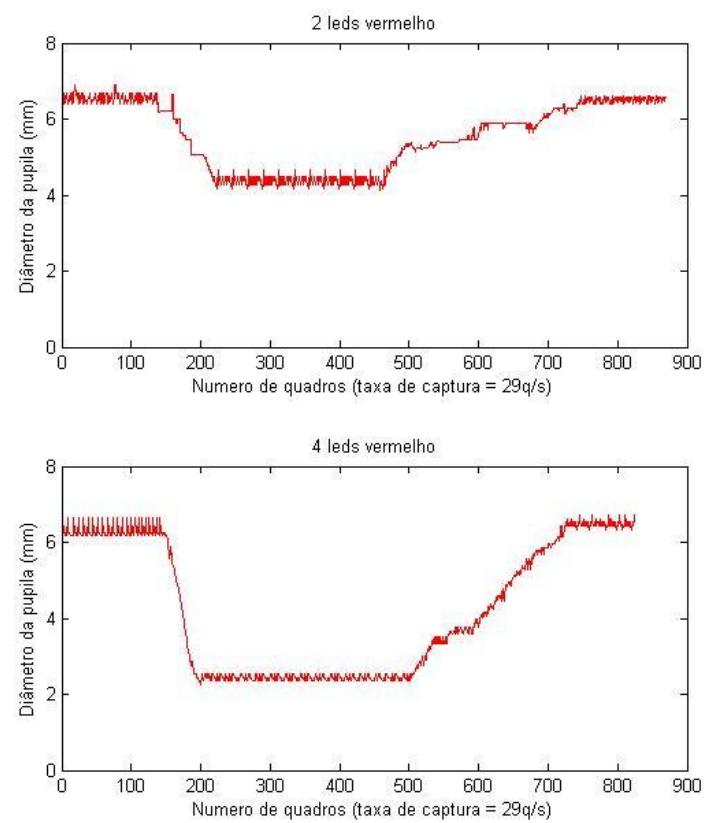
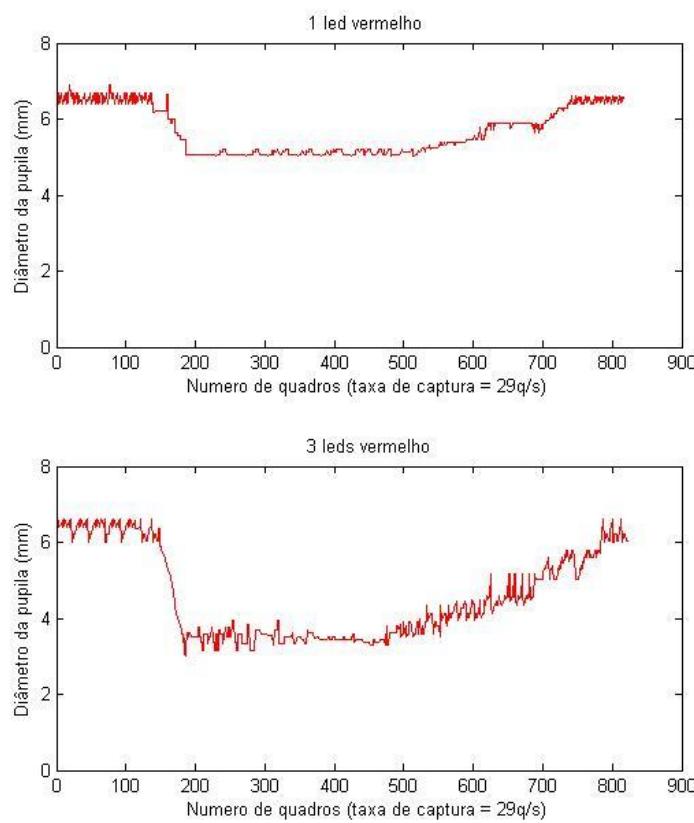
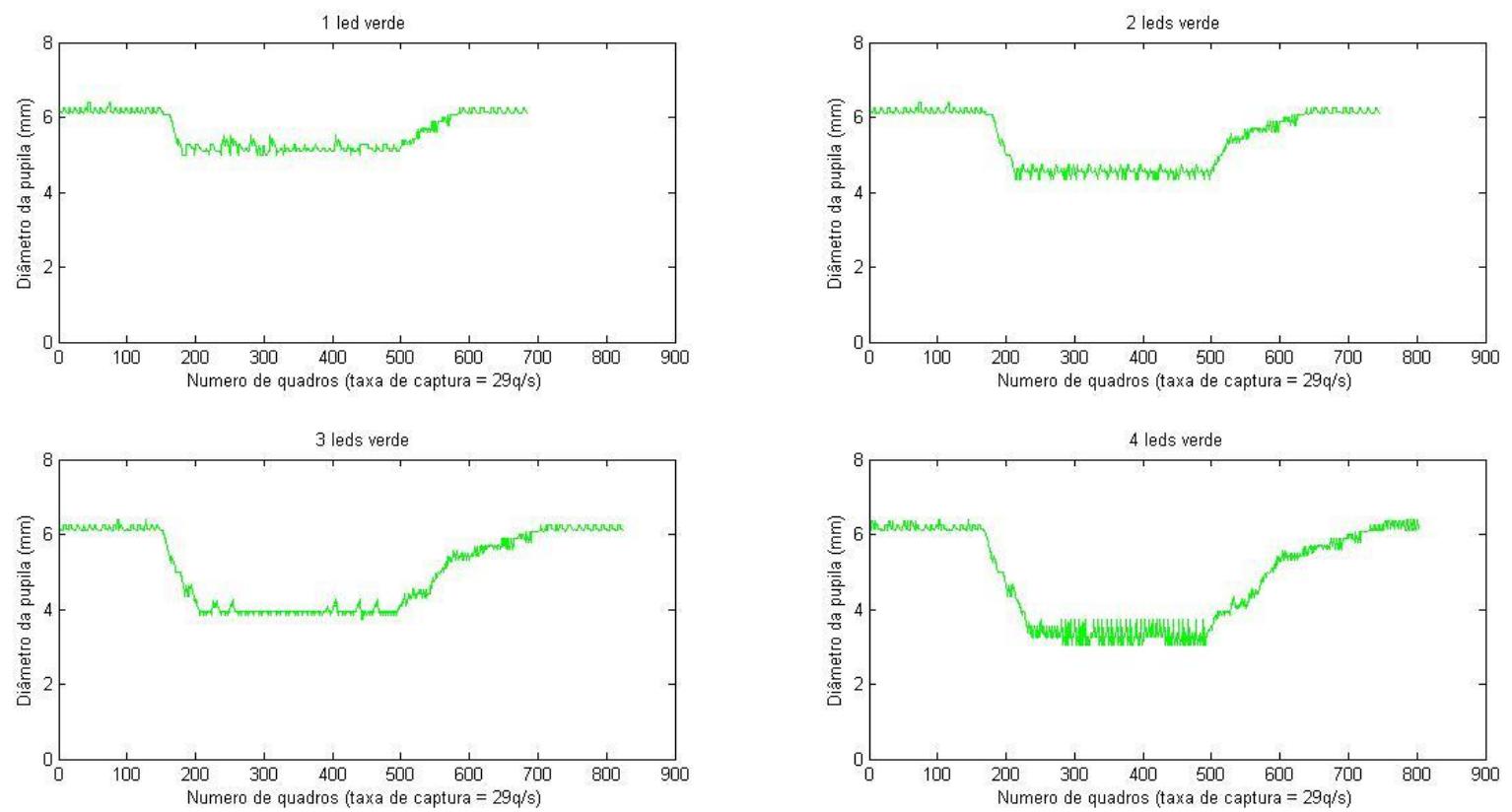


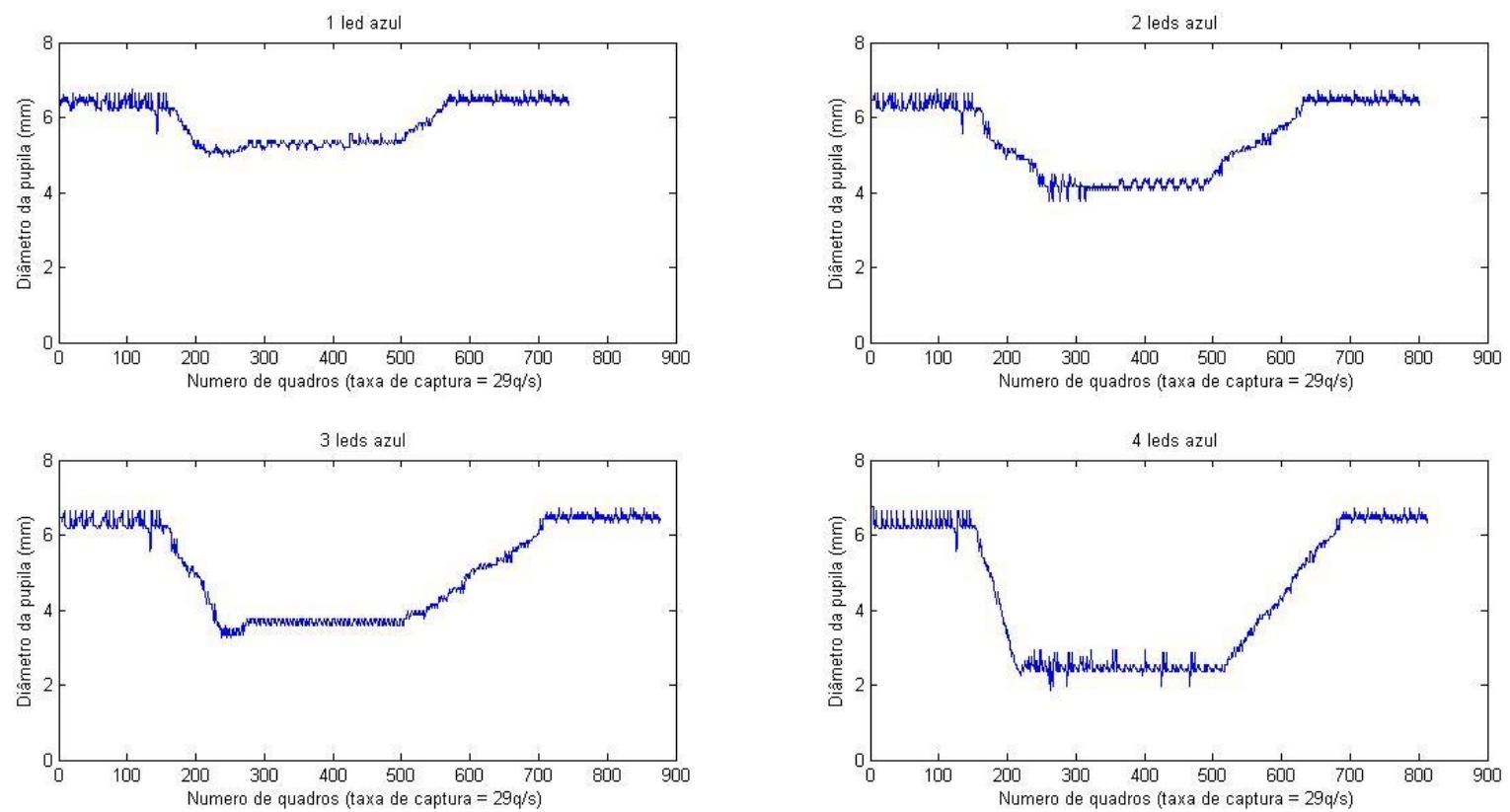
Figura - Resposta da pupila do voluntário 3 – cor branca



**Figura - Resposta da pupila do voluntário 3 – cor vermelha**



**Figura - Resposta da pupila do voluntário 3 – cor verde**



**Figura - Resposta da pupila do voluntário 3 – cor azul**

Voluntário 4

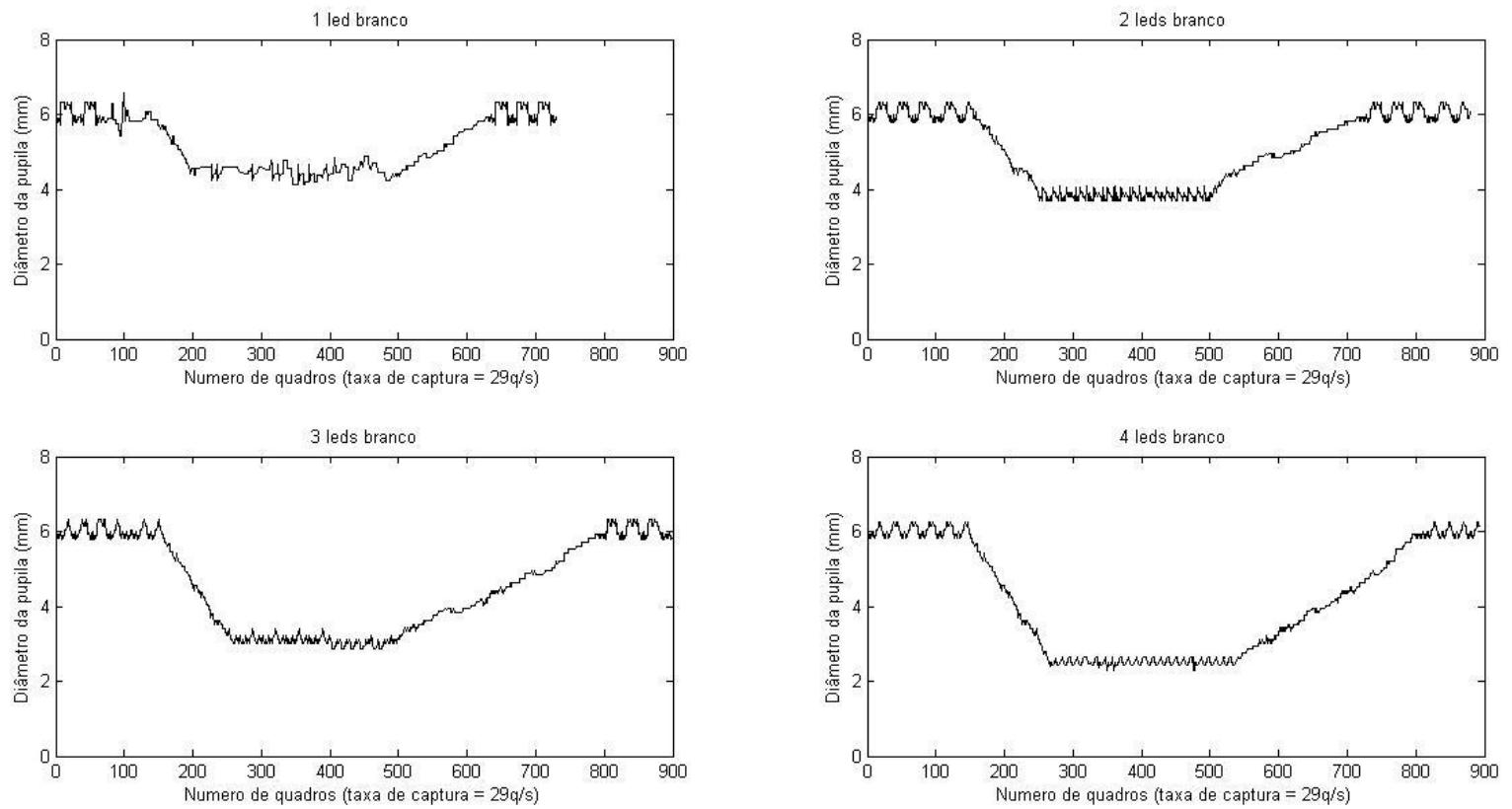
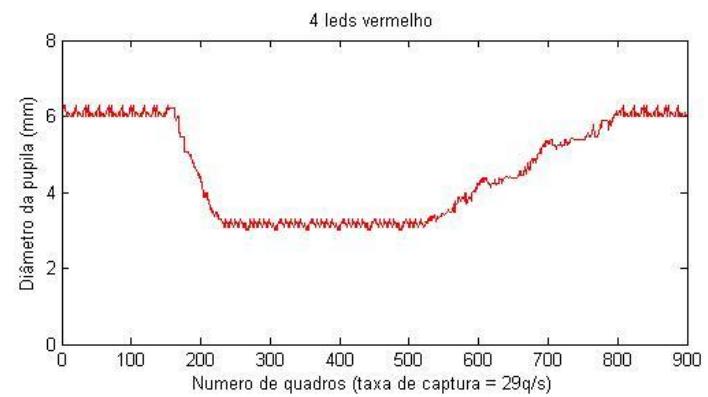
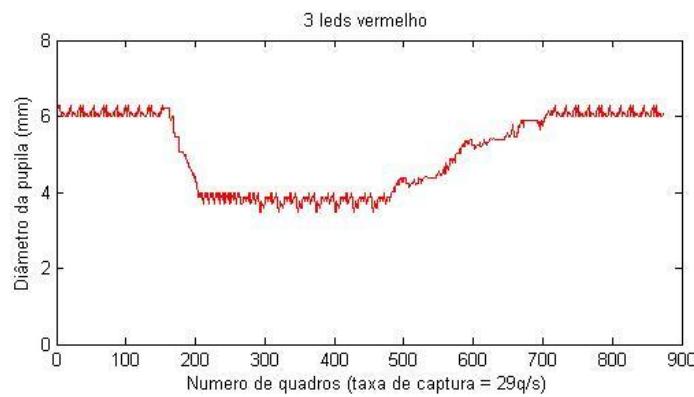
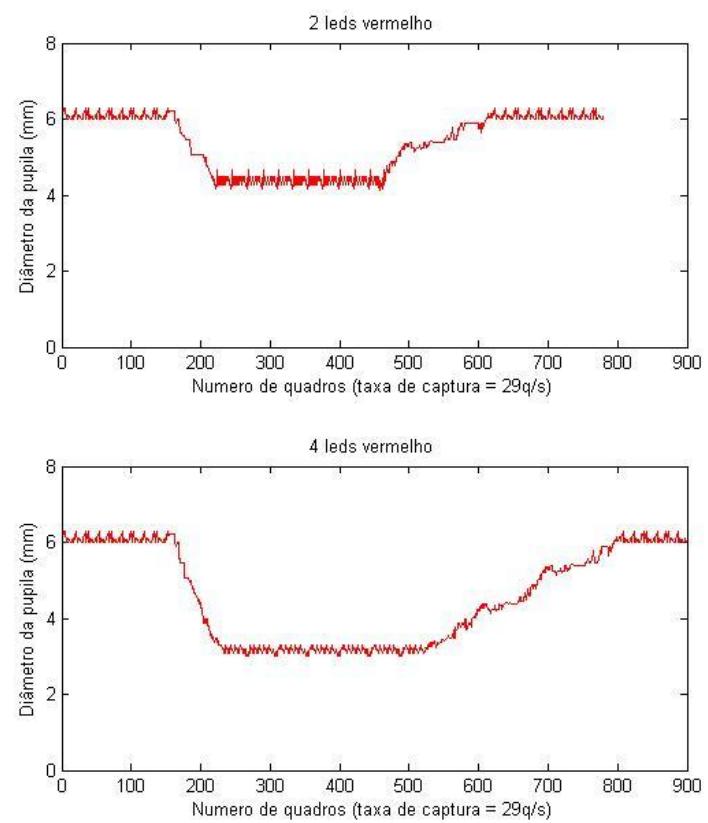
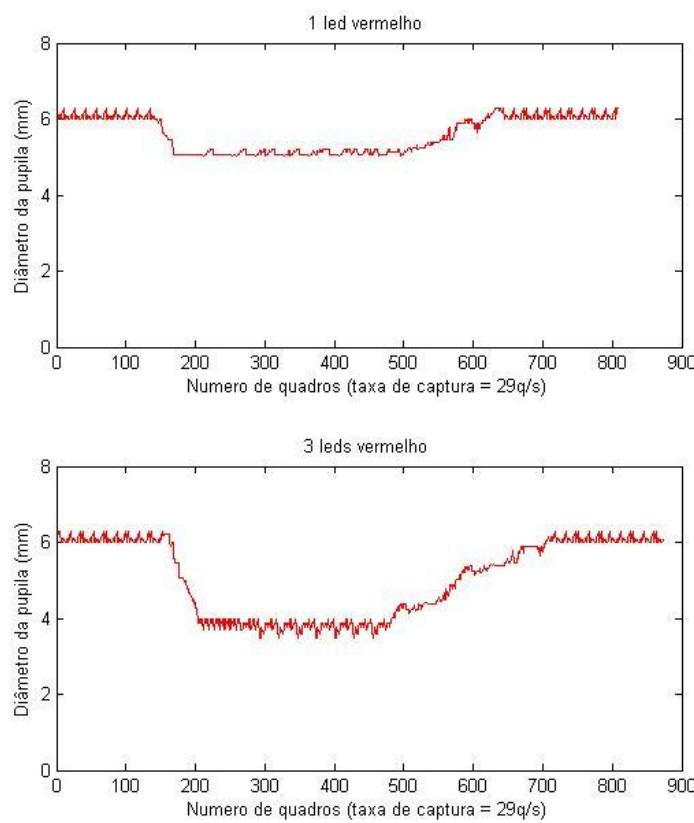
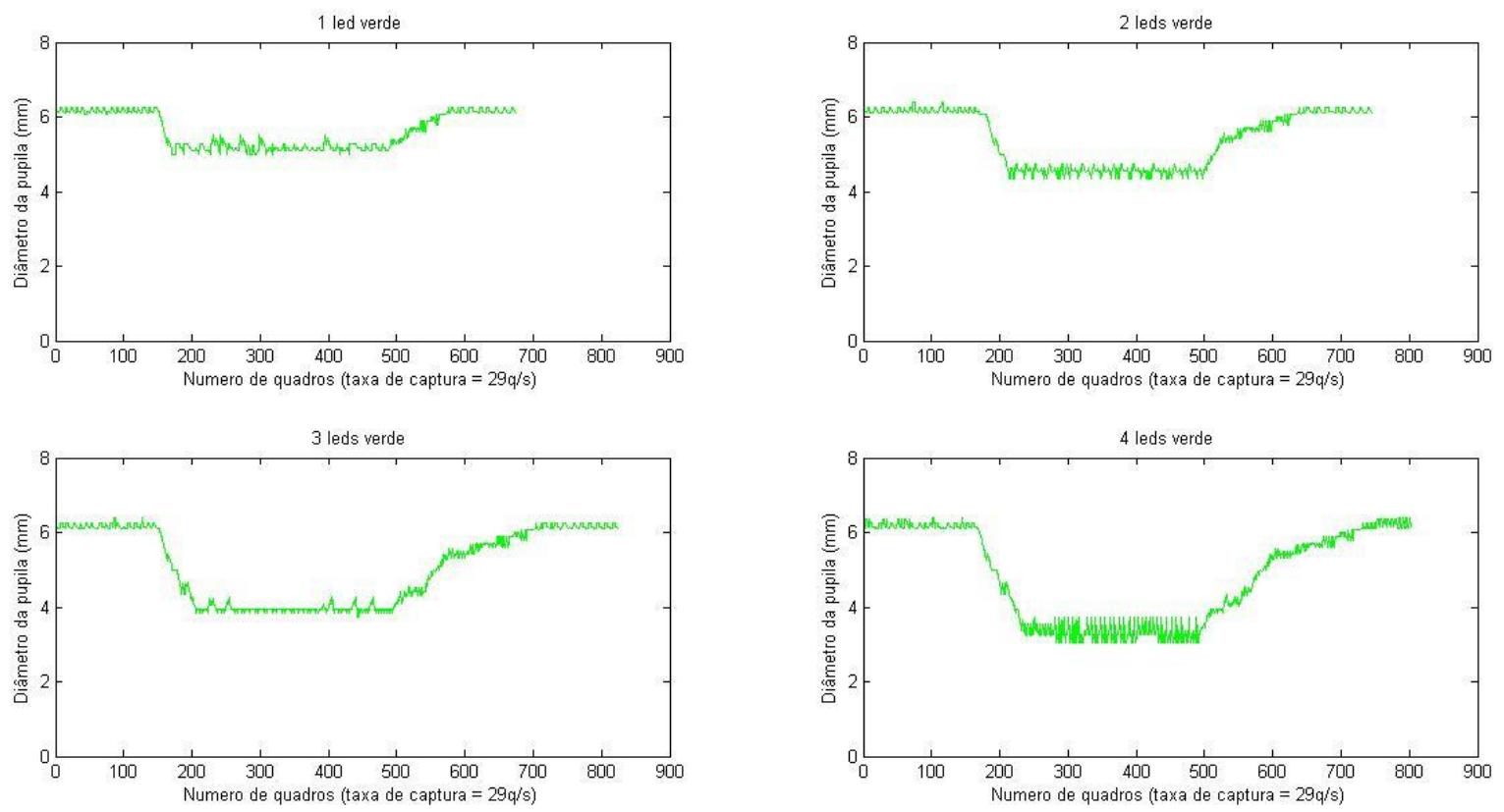


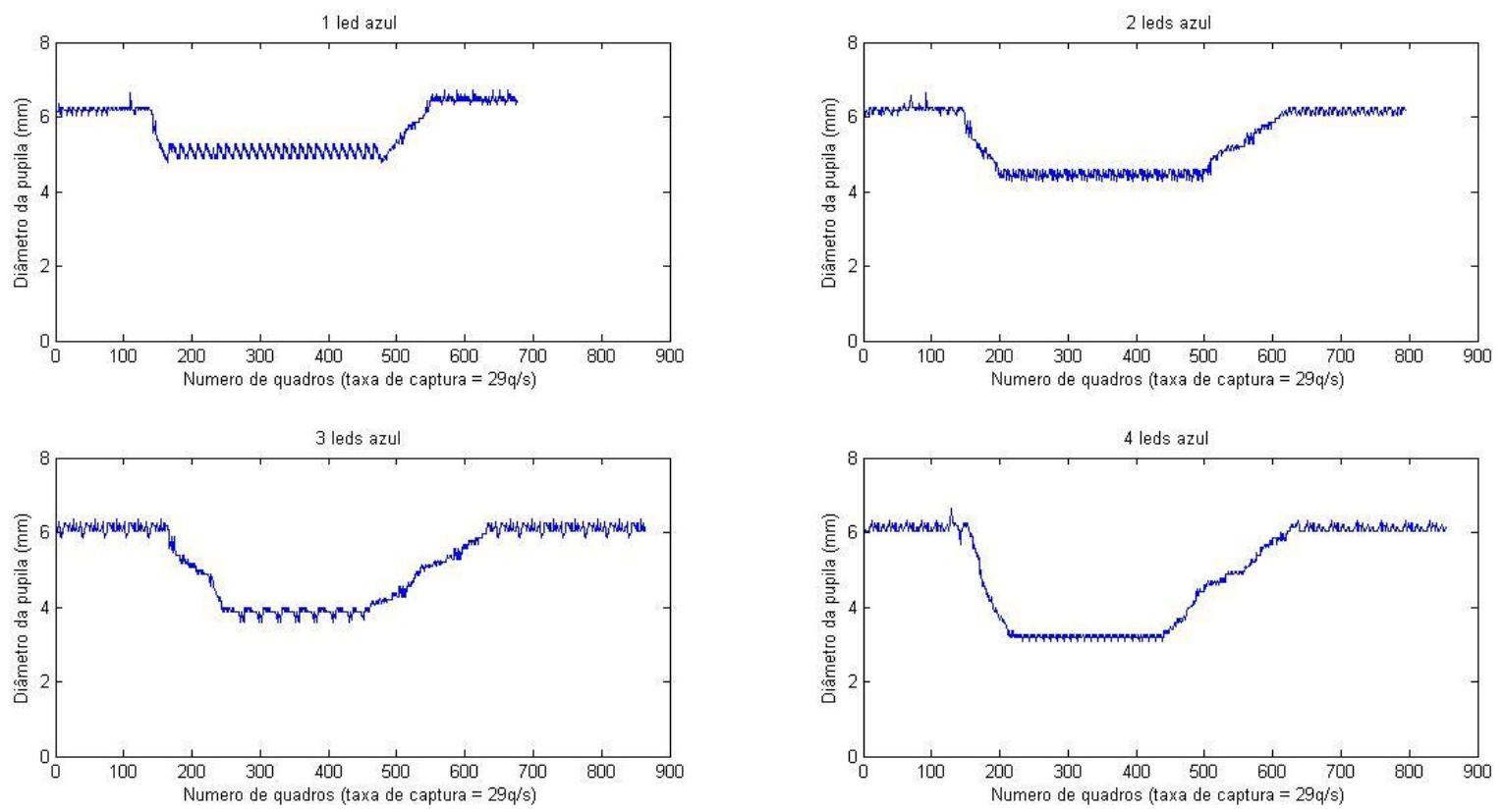
Figura - Resposta da pupila do voluntário 4 – cor branco



**Figura - Resposta da pupila do voluntário 4 – cor vermelha**



**Figura - Resposta da pupila do voluntário 4 – cor verde**



**Figura - Resposta da pupila do voluntário 4 – cor azul**

## APÊNDICE B – LUXÍMETRO MLM-1332

O luxímetro MLM-1332, fabricado pela IMINIPA, atende as faixas de luminosidade apresentadas pelo esquema de leds montado. A Figura abaixo mostra o luxímetro utilizado para coletar as intensidades de luminosidade.



**Figura – Luxímetro MLM-1332**

A Tabela abaixo apresenta os dados técnicos do luxímetro.

**Tabela – Dados técnicos do MLM-1332**

<b>Luxímetro MLM - 1332</b>	
<b>Fabricante Iminipa</b>	
Fotosensor	Fotodiodo de silício
Faixa dos níveis de luz	0,1-200000 [Lux]
Taxa de amostragem do conversor	2,5/s
Ambiente de operação	0-40°C
Alimentação	9 [V]
Faixas	200/2000/20000/ 200000 [V]

## APÊNDICE C – FUNÇÃO PARA DETECÇÃO DE CÍRCULO E GRAVAÇÃO DE DADOS

```
#include <cv.h>
#include <cxcore.h>
#include <highgui.h>
#include <math.h>
#include <stdio.h>

void main( void )
{
    CvCapture* capture;// Variável para a Captura de um Vídeo
    IplImage* frame;// Variável 'frame' que guarda os frames do
Vídeo

    CvSize imgSize;
    imgSize.width = 320;
    imgSize.height = 240;
    IplImage* gray_frame = cvCreateImage( imgSize, IPL_DEPTH_8U, 1);

    double reg = 0; // variaveis de controle
    int j = 0;

    // _____ CAPA _____ //

    IplImage* capa = NULL;
    capa = cvLoadImage("C:/Users/home/Pictures/EESC-hydra.jpg",-1);
    cvNamedWindow( "TCC Software", CV_WINDOW_AUTOSIZE );
    cvShowImage( "TCC Software", capa);
    cvWaitKey(0);
    cvReleaseImage( &capa );
    cvDestroyWindow("TCC Software");
    printf(" TRABALHO DE CONCLUSAO DE CURSO - 2010 \n\n");

    char usuario[50];
    //____ ROTINA PARA GRAVAÇÃO DO ARQUIVO .TXT ____ //
    printf("Programa para calculo do diametro da pupila \n \n ");
    printf("Digite o numero do voluntario seguido \n da cor do led e
do numero destes \n:");
    scanf("%s",usuario);
    strcat(usuario,".txt");
    FILE* f = fopen(usuario,"wt");

    // Carrega o Arquivo de Vídeo
    capture = cvCreateFileCapture( "C:/Users/home/Documents/Videos
TCC/Output videos/output_video.avi" );

    // Cria a Janela
    char nome_janela[50] = "Imagen com smooth e escala de cinza";
    char janela_smooth[50] = "Imagen apenas com smooth";
    cvNamedWindow( janela_smooth, CV_WINDOW_AUTOSIZE );
    cvNamedWindow( nome_janela, CV_WINDOW_AUTOSIZE );
```

```

while(1)
{
    // armazena o arquivo de video como um ponteiro - frame
    frame = cvQueryFrame( capture );

    // Caso não tenha Imagem -> Encerra o Programa
    if( !frame ) break; // fará com que o vetor diametro se
encerre

    // Processamento da imagem
    cvSmooth(frame,frame);
    cvCvtColor(frame,gray_frame,CV_RGB2GRAY);

    // _____DET. CIRCULO_____/
    CvMemStorage* storage = cvCreateMemStorage (0); //será onde
o circulo da transformada será guardado

    // Ajusta a origem dos Eixos, se Necessário.
    cvFlip(gray_frame,gray_frame,0);
    // Parametros para a transformada de Hough
    CvSeq* results =
cvHoughCircles(gray_frame,storage,CV_HOUGH_GRADIENT,1.5,gray_frame-
>width,45,35,5,50);
        //ela retorna um ponteiro que aponta para a sequencia de
circulos gerada

    printf ("\n N.%i \n\n",j);
    //calculo dos valores dos vetores calculado na TH
    //Impressão do circulo na imagem
    for (int i = 0; i < results->total; i++)//o loop acaba
quando for verificado o total de indices de results
    {
        float* p = (float*) cvGetSeqElem(results,i); //p= ao ith
elemento da sequencia results
        //localiza o ponto central e desenha o circulo na imagem
        CvPoint pt = cvPoint(cvRound(p[0]),cvRound (p[1]));

        cvCircle(gray_frame,pt,cvRound(p[2]),CV_RGB(0xff,0xff,0xff));
        p[2]=(p[2]*10)/(19.21*3);
        //gravação de dados com valores reais
        if (j==0){
        reg = p[2];
        printf ("\n%f\n\n", p[2]);
        fprintf (f, "%.4f\n", p[2]);}
        else{
            if ((p[2]>=0.8*reg) & (p[2]<=1.2*reg)) {
            reg = p[2];
            printf ("\n%f\n\n", p[2]);
            fprintf (f, "%4f\n", p[2]);}
            else
            printf ("\n%f\n\n", reg);
            fprintf (f,"%4f\n", reg);}

    } // fim do loop for

    cvShowImage(janela_smooth,frame);
    cvShowImage(nome_janela,gray_frame);
}

```

```
//cvWaitKey(0);
j++;

// Usuário Pressionar ESC - Sai do Programa
char c = cvWaitKey(33);
if( c == 27 ) break;
}

// Libera a Memória
fclose (f);
cvReleaseImage(&gray_frame);
cvReleaseImage(&frame );
cvReleaseCapture( &capture );
cvDestroyWindow(janela_smooth);
cvDestroyWindow(nome_janela);

}
```