



ÁREA DE INFORMÁTICA
TECNOLOGIA EM ANÁLISE E DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS - ADS

FELIPE DE SOUZA FURLANETTI
LUCAS RODRIGUES MONTEIRO ALVES

EYE TRACKING UTILIZANDO A BIBLIOTECA ITU GAZE TRACKER
EM SITUAÇÕES ADVERSAS

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO - TCC
CARAGUATATUBA

2015

F985e Furlanetti, Felipe de Souza

Eye tracking utilizando a biblioteca ITU Gaze Tracker em situações adversas / Felipe de Souza Furlanetti ; Lucas Rodrigues Monteiro Alves. -- Caraguatatuba, 2015.

56 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas) -- Instituto Federal de São Paulo, Câmpus Caraguatatuba, 2015.

1. ITU Gaze Tracker. 2. Computação gráfica. 3. Processamento de imagens. I. Alves, Lucas Rodrigues Monteiro. II. Título.

CDD 006.68

EYE TRACKING UTILIZANDO A BIBLIOTECA ITU GAZE TRACKER EM SITUAÇÕES ADVERSAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Tecnólogo, da Área de Informática, do Instituto Federal de São Paulo.

Orientador:
Prof. Dr. Mário Tadashi Shimanuki

CARAGUATATUBA

2015

TERMO DE APROVAÇÃO

EYE TRACKING UTILIZANDO A BIBLIOTECA ITU GAZE TRACKER EM SITUAÇÕES ADVERSAS

por

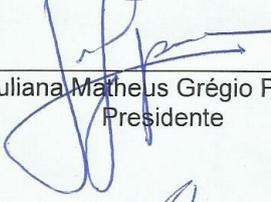
FELIPE DE SOUZA FURLANETTI

LUCAS RODRIGUES MONTEIRO ALVES

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado em 06 de Julho de 2015 como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnólogo em Análise e Desenvolvimento de Sistemas (ADS). Os candidatos foram arguidos pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados, a qual após deliberação, considerou o trabalho aprovado.



Mário Tadashi Shimanuki
Orientador



Juliana Matheus Grégio Pereira
Presidente



Nelson Alves Pinto
Membro

Dedicamos este singelo trabalho a toda nossa família, amigos e professores que direta ou indiretamente nos auxiliaram nesse trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos em primeiro lugar a Deus que iluminou o nosso caminho durante esta caminhada, a nossos familiares que nos apoiaram e nos deram forças para não desistir e ao website Sinonimos.com.br por nos mostrar opções, quando imaginávamos que não haviam.

Não existe espaço suficiente para agradecer a todos que durante o nosso caminho nos ajudaram de alguma maneira durante todo o processo deste trabalho, portanto aqui expresso os nossos agradecimentos a todos.

O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.

José de Alencar

RESUMO

O Rastreamento ocular é uma aplicação que utiliza de hardware e software para localizar o olho do usuário e identificar qual direção o usuário está olhando. Para o desenvolvimento desta aplicação foi utilizada a biblioteca de rastreamento ocular ITU Gaze Tracker para agilizar o desenvolvimento da aplicação, pois o objetivo do estudo é desenvolver uma aplicação e verificá-la experimentalmente em situações de possíveis problemas de rastreamento, tais como, usuários afrodescendentes e situações de alteração da pupila. Estes foram realizados visando melhorias que poderiam ser aplicadas no sistema.

Palavras-chave: Rastreamento Ocular, Situações Adversas, ITU Gaze Tracker.

ABSTRACT

The eye tracking is an application that uses hardware and software to locate the user's eye and identify which direction the user is looking. For the development of this application was used ITU Gaze Tracker eye tracking library in order to accelerate application development, for the purpose of the study is to develop an application and check it experimentally in situations of possible tracking problems such as, African descent users and pupil alterations situations. These were made for improvements that could be made in the system.

Key words: Eye Tracking, Adverse situations, ITU Gaze Tracker.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 - Anatomia Ocular.....	17
Figura 2 - Funcionamento da Visão e do Olho.....	18
Figura 3 - Fixações e Movimentos Sacádicos.....	19
Figura 4 - Dispositivo Rastreador.....	20
Figura 5 - Unidade de Gravação Fisiológica.....	20
Figura 6 - Técnica de Lente de Contato Magnética de Espiral de Fio.....	21
Figura 7 - (A) Pupila Escura; (B) Pupila Brilhante; (C) Glint; (D) Limbo.....	23
Figura 8 - <i>Bite Bar</i>	25
Figura 9 - Comprimento de Onda Visível pelo Olho Humano.....	27
Figura 10 - Tobii EyeX, Aplicação Voltada para Análise de Usabilidade em Games.....	29
Figura 11 - Eye Tribe (<i>Tablets</i>); Eye Tribe (Microcomputadores).....	30
Figura 12 - The EyeFollower; EAS Binocular; EAS Monocular.....	30
Figura 13 - Fluxograma de Rastreo Ocular.....	34
Figura 14 - Fases do Pré-processamento.....	36
Figura 15 - Detecção dos Olhos.....	37
Figura 16 - <i>Interface</i> da Aplicação.....	38
Figura 17 - Situações de Acertos e Erros do Rastreo.....	40
Figura 18 - Plataforma para Execução dos Testes.....	41
Figura 19 - Ilustração Posicionamento da Câmera de Vídeo.....	43
Figura 20 - Comparativo Valor Obtido no Teste e Precisão.....	46
Gráfico 1 - Testes com Voluntários Afrodescendentes.....	47
Gráfico 2 - Teste 1 com Alteração da Pupila.....	48
Gráfico 3 - Teste 2 com Alteração da pupila.....	49
Gráfico 4 - Teste 3 com Alteração da Pupila.....	49

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Testes com Voluntários Afrodescendentes.....	47
Gráfico 2 - Teste 1 com Alteração da Pupila.....	48
Gráfico 3 - Teste 2 com Alteração da Pupila.....	49
Gráfico 4 - Teste 3 com Alteração da Pupila.....	49

LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

DDP	Diferença de Potencial
DLL	Dinamic-Link Library (Biblioteca de Vínculo Dinâmico)
DMC	Dispositivos Montados na Cabeça
DMD	Dispositivos Montados no Desktop
DR	Dispositivos Rastreadores
FAQ	Frequent Asked Questions (Perguntas Frequentes)
FOG	Foto-Oculografia
IR	Infrared (Infravermelho)
RP	Reflexão de Purkinje
LED	Light Emitting Diode (Diodo Emissor de Luz)
SO	Sistema Operacional
SVH	Sistema Visual Humano
VOG	Vídeo-Oculografia

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	ASPECTOS FISIOLÓGICOS DA VISÃO HUMANA	16
2.1	ANATOMIA DO OLHO HUMANO.....	17
2.2	ÂNGULO VISUAL.....	18
2.3	MOVIMENTOS OCULARES.....	18
3	TÉCNICAS DE RASTREIO OCULAR	19
3.1	ELETRO-OCULOGRAFIA.....	20
3.2	LENTE DE CONTATOS MAGNÉTICAS.....	21
3.3	FOTO-OCULOGRAFIA E VIDEO-OCULOGRAFIA.....	21
3.4	ANÁLISE PELA REFLEXÃO DA CÓRNEA / REFLEXÃO DA PUPILA.....	23
4	VIDEO-OCULOGRAFIA	24
4.1	DISPOSITIVOS RASTREADORES.....	25
4.2	CALIBRAÇÃO.....	26
4.3	ITENS AUXILIADORES AO RASTREAMENTO: LEDS INFRAVERMELHO.....	27
4.4	SISTEMAS ANÁLOGOS.....	28
4.4.1	Tobii Technology	28
4.4.2	Eye Tribe	29
4.4.3	Eye Gaze: LCTechnologies	30
4.5	DEFINIÇÃO DA BIBLIOTECA.....	31
4.5.1	CVC Eye Tracker	31
4.5.2	ITU GazeTracker	31
4.5.3	Comparativo	32
5	DESENVOLVIMENTO	33
5.1	ESTRUTURA DO SISTEMA.....	33
5.1.1	Captura da imagem	34
5.1.2	Pré-processamento	35
5.1.3	Rastreio ocular	36
5.1.4	Controle de interfaces com a utilização dos olhos	37
5.1.5	Visão geral	38

5.2	PLATAFORMA PARA EXECUÇÃO DOS TESTES	40
6	RESULTADOS	42
6.1	DIRETIVAS GERAIS.....	42
6.1.1	Dispositivos Auxiliadores	43
6.2	TESTES	44
6.2.1	Voluntários afrodescendentes.....	45
6.2.2	Alteração da pupila	45
7	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	46
7.1	TESTE UTILIZANDO VOLUNTÁRIOS AFRODESCENDENTES	47
7.2	TESTE COM SITUAÇÕES QUE INDUZEM A ALTERAÇÃO DA PUPILA	48
8	CONCLUSÕES.....	50
8.1	TRABALHOS FUTUROS	51
APÊNDICE A - DIRETIVAS PARA EXECUÇÃO DOS TESTES: AFRODESCENDENTES		54
APÊNDICE B - DIRETIVAS PARA EXECUÇÃO DOS TESTES: ALTERAÇÃO DA PUPILA		54
APÊNDICE C - IMAGENS DE RASTREIO CORRETO E INCORRETO		56

1 INTRODUÇÃO

Sistemas de rastreo ocular são aplicações que utilizam de software e hardware para rastrear os olhos de usuários e identificar em qual direção o usuário está olhando. Estes sistemas podem ter objetivos assistivos, de análise de marketing visual, de controle de objetos, entre outros.

Para que o uso destas aplicações seja realmente eficiente, é necessário que haja um aperfeiçoamento da precisão do rastreo em situações adversas (FURLANETTI, 2014). Tendo em vista as situações de difícil rastreo, foi desenvolvido uma aplicação de rastreo ocular para que fosse possível realizar testes de validação do sistema com usuários afrodescendentes e em situações de alteração de pupila (HANSEN & HANSEN, 2006).

Para o desenvolvimento da aplicação, foram analisadas duas bibliotecas de rastreo ocular, a ITU Gaze Tracker e a CVC Eye Tracker. A biblioteca ITU Gaze Tracker apresentou maior abrangência no quesito de documentação, disponibilizam um fórum onde os usuários que usam a biblioteca interagem entre si.

Ambas bibliotecas utilizam a mesma linguagem de programação, permitindo somente o uso no sistema operacional MS Windows. As duas bibliotecas contém as funcionalidades necessárias para o desenvolvimento de uma aplicação de rastreo ocular. Portanto, a ITU Gaze Tracker foi a escolhida tendo em vista vantagens relacionadas a documentação.

Este trabalho está dividido da seguinte forma: O capítulo 2, apresenta uma introdução quanto a anatomia e fisiologia do olho humano, que é o objeto de rastreo da aplicação. No capítulo 3, são apresentadas a técnicas de rastreo ocular, que diferem em níveis de calibração, utilização de dispositivos rastreadores, rastreamentos em diferentes níveis de precisão e que podem ou não ter uma movimentação da cabeça do usuário (DUCHOWSKI, 2007). No capítulo 4, há um detalhamento no conceito de video-oculografia, que é a técnica de rastreo utilizada neste trabalho. Neste mesmo capítulo, são especificados alguns pontos para o funcionamento correto da aplicação e itens auxiliares que melhoram o desempenho e precisão do sistema. No capítulo 5, é explanado sobre o desenvolvimento da aplicação e as etapas necessárias para desenvolver um

sistema de rastreamento ocular. Em conjunto com o sistema de rastreamento, foi visto a necessidade de criar uma aplicação responsável pela parametrização dos resultados. No capítulo 6, são definidas as diretrizes gerais dos testes responsáveis por mensurar a eficiência da aplicação. Levando em consideração que estes sistemas serão utilizados em situações adversas, é avaliada a precisão do rastreamento, em pessoas afrodescendentes e em situações de alteração da pupila. No capítulo 7, é definida uma métrica para medir os testes, e a partir desta métrica e dos resultados, é analisada a precisão do sistema em situações adversas.

Finalmente são apresentados as conclusões e sugestões de trabalhos futuros no capítulo 8.

O escopo do presente trabalho é o desenvolvimento de uma aplicação de rastreamento ocular utilizando a biblioteca ITU Gaze Tracker para comprovar inconsistências do rastreamento em situações adversas de luz e de etnia. Neste trabalho, realizou-se levantamento bibliográfico das técnicas utilizadas para rastreamento ocular, identificar o problema e provar uma arquitetura de rastreamento ocular inicial para servir como embrião para futuros trabalhos.

2 ASPECTOS FISIOLÓGICOS DA VISÃO HUMANA

O olho é o órgão receptor das informações no sistema visual humano, que se estende por estruturas internas cerebrais até as regiões do córtex.

Dentre todos os sentidos a visão é considerada a mais importante para os seres humanos, pois permite a interpretação de tudo o que ocorre em sua volta.

Para que seja possível visualizar e interpretar o que vemos é necessário um sistema complexo de órgãos, que são chamados de Sistema Visual Humano (SVH). Este sistema permite que diversas funções como localizar, reconhecer e entender os objetos sejam possíveis.

2.1 ANATOMIA DO OLHO HUMANO

O olho humano tem diâmetro de aproximadamente 24 milímetros, pesa aproximadamente 7,5 gramas e tem volume de 6,5 cm³.

Conforme ilustrado na **Figura 1**, o olho é revestido por três membranas:

- **Esclera:** refere-se ao tecido conjuntivo denso, pouco vascularizado, opaco e branco, onde se localiza a córnea (membrana transparente);
- **Coróide:** é a membrana, onde os vasos sanguíneos estão localizados. Na coróide encontra-se também a íris, parte colorida do olho, e dentro da íris está a pupila, que será utilizada como objeto de rastreamento neste sistema.
- **Retina:** é onde se encontram as células que recebem os estímulos visuais e os transformam em impulsos nervosos.

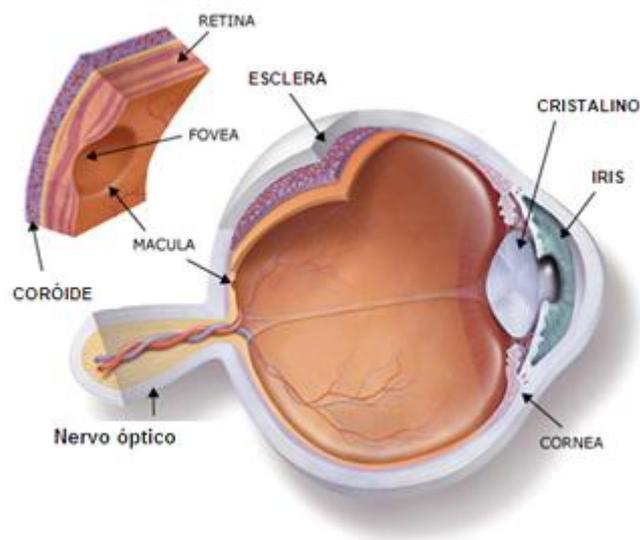


Figura 1 - Anatomia Ocular

Fonte: https://umjardimnodeserto.files.wordpress.com/2011/07/olho_anatomia.jpg.

Como ilustrado na **Figura 2**, o olho capta a luz refletida nos objetos, que atravessa a córnea, a pupila e o humor aquoso, chegando então ao cristalino, o qual direciona os raios de luz até a retina, formando uma imagem invertida do objeto focalizado. Conseqüentemente, as células receptoras enviam as informações ao nervo óptico, que envia os impulsos ao córtex visual (parte do cérebro responsável pela

interpretação das imagens recebidas pelo SVH). O córtex visual então interpreta a imagem posicionando-a corretamente.

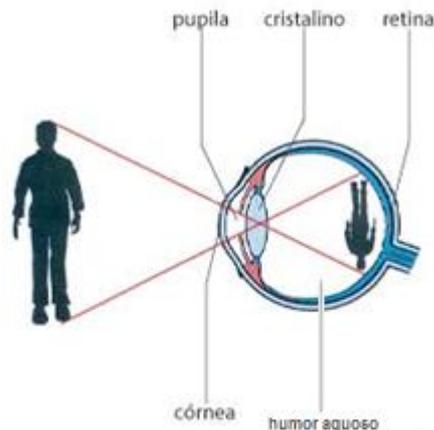


Figura 2 - Funcionamento da Visão e do Olho

2.2 ÂNGULO VISUAL

A fóvea é uma região que possui uma grande quantidade de cones (células fotossintéticas que captam a luminosidade do ambiente), ou seja, quando uma pessoa focaliza um objeto, a fóvea recebe a luminosidade deste, e projeta a imagem em alta resolução. A semirreta que passa no centro da fóvea e da pupila, é chamada de atenção visual.

O processo de Rastreamento Ocular encontra uma limitação em analisar o ponto exato que o indivíduo está olhando, pois a fóvea cobre 1 grau no ângulo visual.

2.3 MOVIMENTOS OCULARES

Existem 37 movimentos que o globo ocular pode efetuar, conforme mostra **Figura 3**, estas movimentações dependem da contração e do relaxamento de seis músculos localizados na parte exterior do globo ocular. O ângulo de alcance do olho geralmente é de 50 graus para cima, 35 graus para baixo, 45 graus para o lado externo e 50 graus para o lado interno em direção ao nariz.

O cérebro emite instruções para que os olhos se movimentem ao mesmo tempo, estes movimentos são, em sua grande maioria, fixações (movimentos com pequenas paradas) ou movimentos sacádicos (rápidos deslocamentos).

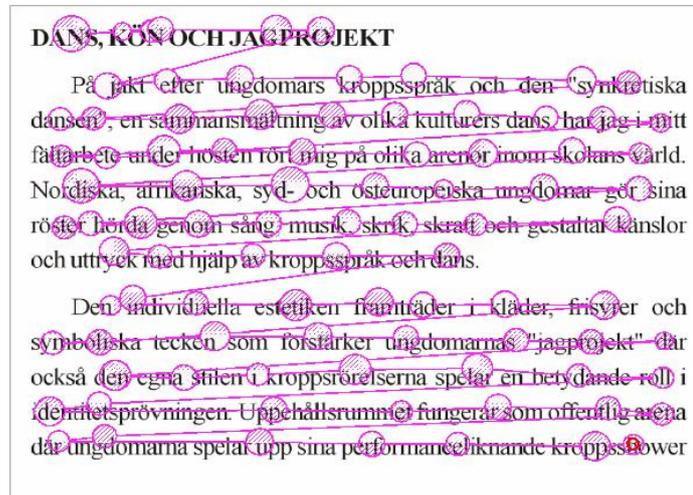


Figura 3 - Fixações e Movimentos Sacádicos

Fonte: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ef/Reading_Fixations_Saccades.jpg

3 TÉCNICAS DE RASTREIO OCULAR

Ao longo dos anos foram criadas diversas técnicas de rastreamento ocular, as quais trabalham com diferentes níveis de calibração, dispositivos rastreadores, rastreamentos em diversos níveis de precisão e que exigem uma menor ou maior movimentação do usuário que está sendo rastreado (DUCHOWKI, 2007).

Essas técnicas são subdivididas em duas categorias: intrusivas e não-intrusivas. Conforme Barcelos (2004 apud SOARES, 2008), as intrusivas utilizam instrumentos de medição, como por exemplo, lentes ou eletrodos, que ficam em contato físico com o usuário. Já as técnicas não-intrusivas trabalham com a análise de imagens e vídeos dos olhos para estimar a posição observada pelo usuário.

Barcelos (2004 apud SOARES, 2008) ainda afirma que as técnicas intrusivas possuem um índice de acerto maior se comparada com as técnicas não-intrusivas, uma vez que a localização do olho é facilitada. Entretanto, técnicas intrusivas são de difícil acesso e possuem custo aquisitivo elevado.

3.1 ELETRO-OCULOGRAFIA

A eletro-oculografia é uma técnica intrusiva que utiliza eletrodos ligados ao rosto do usuário, na região próxima ao olho, conforme ilustrado na **Figura 4**. Ao movimentar os olhos, existe uma pequena diferença de potencial (DDP), que são captadas pelo eletrodo e são armazenadas pelo equipamento (**Figura 5**), então este analisa os movimentos oculares em relação a cabeça do usuário.



Figura 4 - Dispositivo Rastreador

Fonte: www.metrovision.fr



Figura 5 - Unidade de Gravação Fisiológica

Fonte: www.metrovision.fr

Esta técnica não é eficiente quando se espera obter o ponto observado pelo usuário afirma Duchowki (2007). Contudo a eletro-oculografia proporciona um rastreamento ocular de baixo custo, com técnicas simples que permite que sua utilização seja aceitável em certas situações para pessoas com deficiências físicas.

3.2 LENTES DE CONTATOS MAGNÉTICAS

Uma das técnicas mais precisas e tradicionais utilizadas no rastreamento ocular é a técnica de lentes de contatos magnéticas, que utilizam lentes de contatos especialmente alteradas com mecanismos para rastrear o posicionamento do olhar do usuário. As lentes de contatos magnéticas utilizam fósforos reflexivos e diagramas formados por linhas utilizados para detectar os olhos nas imagens, que são formados por espirais de fio e bobinas que captam variações no campo magnético que ocorrem ao usuário movimentar os olhos (DUCHOWKI, 2007).

Ao longo dos anos foram desenvolvidas diversas técnicas de lentes de contatos magnéticas para rastreamento ocular, dentre elas a tecnologia que provavelmente obteve maior sucesso, segundo Soares (2008), utiliza uma espiral de fio anexada a lente, como mostrado na **Figura 6**. Esta técnica é baseada na indução magnética de uma pequena bobina metálica, instalada em uma lente de silicone, conforme Robinson (1963).

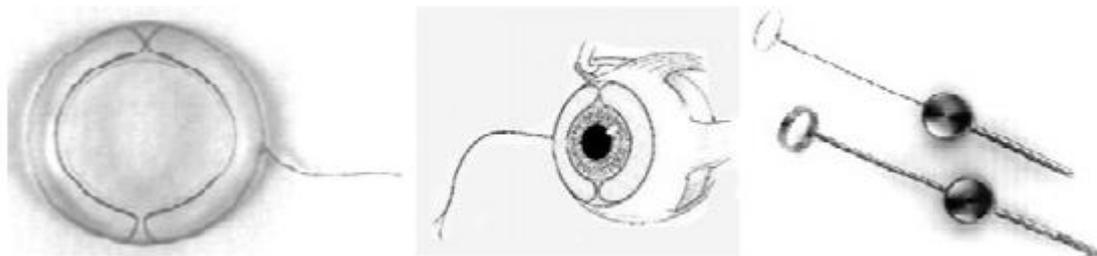


Figura 6 - Técnica de Lente de Contato Magnética de Espiral de Fio

Fonte: <http://www.skalar.com/index2.html>

Apesar da grande precisão no rastreamento ocular desta técnica, a lente de contato magnética tem um custo alto, mas seu maior problema é na utilização, após uso prolongado causa grande desconforto aos usuários, o que dificulta a utilização em casos assistivos. (DUCHOWSKI, 2007)

3.3 FOTO-OCULOGRAFIA E VIDEO-OCULOGRAFIA

As Técnicas de foto-oculografia e video-oculografia, segundo Morimoto (1999), são muito utilizadas, pois não são invasivas, ou seja, não exigem contato com os olhos, nem com a cabeça do usuário, oferecendo um maior conforto durante o uso.

A foto-oculografia (FOG) e vídeo-oculografia (VOG) se baseiam na utilização de câmeras de vídeo as quais registram imagens do usuário, que por sua vez, seriam tratadas e interpretadas pelo software responsável pela identificação dos olhos e da movimentação dos mesmos. (SOARES, 2008)

Segundo Soares (2008) estas técnicas permitem que a análise seja realizada de dois modos: no momento da aquisição das imagens ou posteriormente com imagens guardadas em um dispositivo de armazenamento.

A FOG e VOG normalmente utilizam alguma propriedade ou característica do olho humano que possa ser detectada através do processamento de imagens (MORIMOTO, 1999). Dentre as características mais utilizadas os autores afirmam que temos o limbo e a detecção da circunferência da pupila.

A análise do limbo que segundo Civita (1968), é a região intermediária entre a esclera e a córnea (**Figura 7**, ponto D), permite uma identificação e rastreamento mais precisos, dado ao alto contraste entre a íris e a esclera afirma Morimoto (1999). Contudo Morimoto afirma que a análise do limbo tem uma limitação vertical, pois parte do limbo fica coberto pela pálpebra durante o rastreamento. Outro ponto ressaltado é que usuários com olhos claros encontram certa dificuldade ao utilizar um rastreador ocular, pois o contraste entre a íris e a esclera é menor.

A análise da pupila é mais complexa, se comparado com o limbo, pois mesmo a pupila ficando sempre aparente, o contraste entre a pupila e a íris é menor. Portanto para um melhor desempenho em sistemas de rastreamento ocular Ryan, Duchowski e Birchfield (2008) afirmam que se deve utilizar as duas características, melhorando assim a precisão.

Mesmo com a utilização das duas características para o rastreio, o VOG de espectro visível ainda tem uma precisão muito baixa, pois fica suscetível a alterações de iluminação do ambiente, o que impossibilita a utilização em ambientes abertos. (HANSEN e JI, 2010)

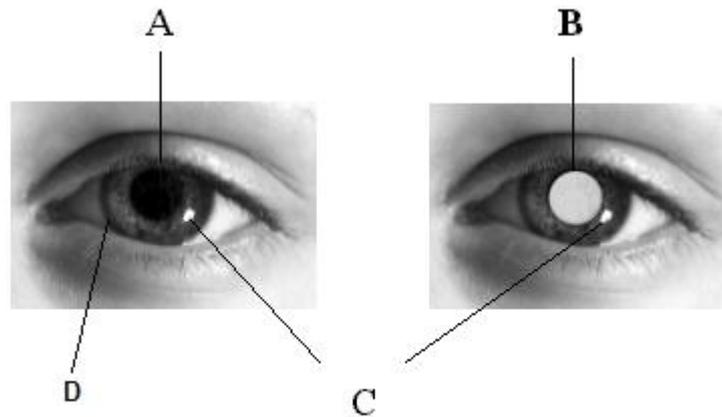


Figura 7 - (A) Pupila Escura; (B) Pupila Brilhante; (C) Glint; (D) Limbo
 Fonte: <http://www.archimuse.com/mw2003/papers/milekic/milekicFig15.jpg>

3.4 ANÁLISE PELA REFLEXÃO DA CÓRNEA / REFLEXÃO DA PUPILA

Atualmente, a análise pela reflexão da córnea é a mais utilizada em dispositivos rastreadores, pois tem a melhor precisão dentre as técnicas não intrusivas afirma Soares (2008). A análise pela reflexão da córnea é conhecida como Reflexão de Purkinje (RP). A análise pela reflexão da córnea utiliza câmeras de vídeo, igualmente a VOG, mas também utiliza iluminação infravermelha posicionada de uma maneira a criar um efeito parecido com o de “olho vermelho” em fotografias (SOARES, 2008).

A utilização das luzes infravermelhas não torna a utilização do sistema desconfortável ou atrapalham sua utilização, pois, segundo Morimoto (1999), as luzes infravermelhas trabalham em um espectro que é invisível ao olho humano, porém as câmeras de vídeo são sensíveis a este comprimento de onda.

O posicionamento das luzes infravermelhas geram dois efeitos diferentes, conhecidos como efeito de pupila-brilhante e efeito de pupila-escura, conforme ilustra a **Figura 7** (GIANNOTTO, 2009).

Para a geração das imagens com o efeito de pupila-brilhante, segundo o autor, é necessário que os leds infravermelhos fiquem posicionados em volta da lente da câmera de vídeo, representado na **Figura 7** à direita, pois ao direcionar a câmera

para o olho do usuário uma parte da luz enviada é refletida no fundo do olho e retorna para a câmera. Segundo Nguyen et. al (2002) a captação das imagens de pupila-brilhante pode variar mediante diferenças entre as técnicas e pelo uso de lentes de contatos pelos usuários.

Para a geração das imagens com o efeito de pupila-escura, é necessário o posicionamento dos leds separados da lente da câmera, pois a iluminação infravermelha que entrar na pupila não irá refletir em direção a câmera sendo perdida, como está representado à esquerda na **Figura 7** (GIANNOTTO, 2009).

Ao utilizar a técnica para gerar o efeito de pupila-escura, acaba ocasionando outro benefício ao rastreamento ocular. Ao posicionar os leds longe da câmera, acaba gerando um pequeno ponto iluminado nos olhos, chamado de glint (**Figura 7**). Devido à anatomia esférica do olho humano, o glint permanece praticamente na mesma posição durante todo o rastreamento, tornando-se um ponto de referência para identificação da posição da pupila (HANSEN e HANSEN, 2006).

Os métodos de pupila-brilhante e pupila-escura podem ser combinados para que praticamente qualquer pessoa possa ser um usuário do sistema afirmam Li e Parkhurst (2006).

Porém, segundo Li e Parkhurst, esta técnica não é muito adequada para ambientes externos durante o dia, pois a iluminação natural é composta por diversos espectros luminosos, entre eles o infravermelho, o que acaba causando interferência e gera falta de confiabilidade no sistema.

4 VIDEO-OCULOGRAFIA

Para se desenvolver um sistema de rastreo ocular utilizando a técnica de video-oculografia, é necessário especificar alguns pontos para o funcionamento correto da aplicação e itens auxiliares que melhoram o desempenho e precisão do sistema. Visando melhorar o desempenho da aplicação, foi analisado sistemas de rastreo ocular utilizados no mercado.

4.1 DISPOSITIVOS RASTREADORES

Existem diversos tipos de dispositivos rastreadores (DR) que utilizam as técnicas de Vídeo-Oculografia, Foto-Oculografia e a técnica de Reflexão de Purkinje. Estes dispositivos se diferem ao criar o sistema de rastreo ocular, por exemplo: precisão, movimentação do rosto do usuário, usabilidade, intrusividade. Portanto, cada caso tem suas vantagens e desvantagens na escolha do DR (DUCHOWSKI, 2007).

Segundo o Duchowski (2007) os dispositivos rastreadores são divididos em duas categorias, conforme a maneira que são montados: Dispositivos montados no Desktop (DMD) ou Dispositivos montados na cabeça (DMC).

Os DMDs têm como principal característica a não intrusividade, o que permite ao usuário uma maior liberdade, mesmo que esta seja controlada pelo sistema. Os dispositivos montados no desktop utilizam câmeras em diversas posições comparadas com a tela conforme afirma Duchowski (2007).

Mesmo com novos algoritmos para detecção da posição da face, além da detecção dos olhos, Soares (2008) afirma que é necessário, em alguns algoritmos de baixo custo ou alta precisão, a utilização de técnicas para que o usuário não movimente seu rosto durante o rastreo. Uma das maneiras de restringir a movimentação do rosto do usuário é a barra de morder (*Bite Bar*), que está representada na **Figura 8**. Além da barra de morder, alguns desenvolvedores utilizam também descansos de cabeça.



Figura 8 - *Bite Bar*

Fonte: <http://wiki.cogain.org/images/thumb/6/6e/COGAIN2008-John-Paulin-Hansen-demonstrating-mobile-eye-tracking.jpg/300px-COGAIN2008-John-Paulin-Hansen-demonstrating-mobile-eye-tracking.jpg>

Estas técnicas de restringir a movimentação da face do usuário são funcionais quanto a precisão do sistema, porém, segundo o autor não cumprem o principal objetivo desta técnica que é a não intrusividade.

Os primeiros dispositivos montados na cabeça tinham como objetivo permitir que os usuários utilizassem o sistema sem a necessidade de restrição da movimentação da face do usuário (JACOB E KARN, 2003). Segundo Kolakowski e Pelz (2006) com o passar do tempo, a utilização do mesmo foi incrementada, sendo utilizado como sistemas para ambientes externos, possibilitando utilizá-los junto a óculos, bonés, capacetes, etc. E criando diversas novas funcionalidades, permitindo ser utilizado junto a esportes em corridas de carros, futebol, tênis, etc. Estas novas funcionalidades geram uma movimentação da câmera em referência ao usuário que é conhecida como escorregamento. O escorregamento normalmente é compensado através do uso de algoritmos especiais.

4.2 CALIBRAÇÃO

Todos os sistemas de rastreamento ocular que utilizam as técnicas de Vídeo-Oculografia, Foto-Oculografia e a técnica de Reflexão de Purkinje necessitam de uma pré-configuração antes da utilização do mesmo, esta pré-configuração é conhecida como calibração.

A calibração é feita através pontos na tela do monitor para fazer uma relação entre um conjunto de pontos na tela que o usuário possa vir a visualizar enquanto utiliza o DR afirma Soares (2009). Para o autor a calibração é necessária na maioria dos dispositivos rastreadores pelas seguintes razões:

- Diferentes tamanhos de globos oculares em idade adulta (a diferença no raio pode chegar a 10%);
- Dificuldade de medir a posição da fóvea através da técnica de Foto-Oculografia ou Vídeo-Oculografia.

A técnica de calibração utilizada neste trabalho é a calibração linear, que segundo Soares (2008) consiste na exibição de pontos na tela (5, 9, 16 ou 25), em posições diferentes, para que o usuário acompanhe com o olhar.

O mapeamento das coordenadas olhadas na tela e as medidas necessárias para a execução da calibração são geradas dependendo da quantidade de pontos que foram utilizados, ou seja, se houve uma calibração de 5 pontos, a equação para o mapeamento é diferente da que é usada em uma calibração de 9 ou 25 pontos.

4.3 ITENS AUXILIADORES AO RASTREAMENTO: LEDS INFRAVERMELHO

Para melhorar a precisão dos rastreadores oculares, Hansen e Hansen (2010) dizem que os dispositivos rastreadores atuais utilizam leds infravermelho. Os leds infravermelhos não afetam a saúde dos usuários e não são visíveis a olho nu, pois sua iluminação tem o comprimento de onda entre 780 e 880 nm e a visão humana só consegue visualizar luzes entre os comprimentos de onda de 400 nm a 750 nm, conforme está representado na **Figura 9**. As câmeras de vídeo e câmeras fotográficas conseguem visualizar esta frequência, por este motivo os leds infravermelhos são tão utilizados, não geram desconforto aos usuários e consegue melhorar a precisão dos sistemas através da reflexão da iluminação enviada para a pupila.

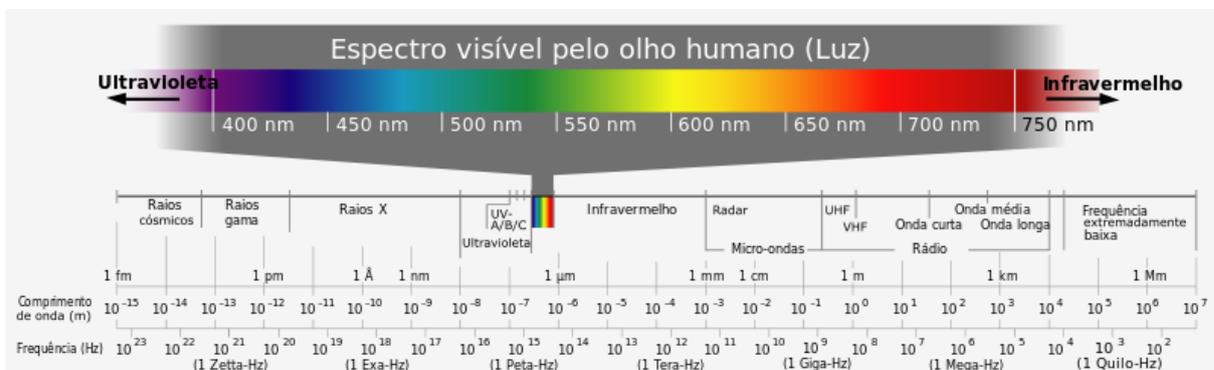


Figura 9 - Comprimento de Onda Visível pelo Olho Humano

Fonte: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8d/Espectro_eletromagnetico-pt.svg

A reflexão da iluminação infravermelha nos olhos difere a partir do ângulo que a luz é incidida na pupila, caso a mesma penetre na pupila e retorne diretamente voltada para a câmera, criará o efeito de pupila brilhante (**Figura 7B**). Caso contrário, se a iluminação for refletida em um ângulo que não retorne diretamente para a câmera, irá gerar o efeito de pupila escura (**Figura 7A**) (HANSEN e HANSEN, 2010).

4.4 SISTEMAS ANÁLOGOS

O grande potencial do rastreamento ocular e a evolução da tecnologia ao longo dos anos, possibilitou a criação de diversos sistemas de rastreamento ocular comerciais. Estes sistemas análogos têm diversas utilizações, seja para objetivos assistivos, análise de marketing ou para facilitar ações do dia a dia dos usuários.

4.4.1 Tobii Technology

A Tobii Technology é uma empresa líder no mercado mundial em soluções de dispositivos e sistemas de rastreamento ocular. Os dispositivos desenvolvidos pela empresa são utilizados por deficientes em pesquisas e estudos, em propagandas e também em computadores pessoais.

A Tobii é dividida em três áreas de negócio:

- Tecnologia assistiva: Esta área é voltada para desenvolvimento de soluções de comunicação (fala), tanto para pessoas que precisam de ajuda técnica como para pessoas que não tem nenhuma capacidade de falar. Os dispositivos trabalham com diversos níveis desde básico a avançado, possibilitando aos usuários deficientes, tanto que conversem quanto que escrevam um livro.
- Soluções de análise: A área de soluções de análise visa permitir aos usuários que façam pesquisas relacionadas a diversas áreas como: usabilidade de páginas web e softwares, medição de impacto de formato de imagens e mensagens, desenvolvimento de sistemas para crianças disléxas e compreender capacidades cognitivas, sociais de crianças e análise de usabilidade de jogos (**Figura 10**).
- Soluções OEM: As aplicações desenvolvidas neste setor oferecem possibilidades de utilizações do rastreamento ocular em componentes para integração industrial.

Cada uma destas áreas desenvolve e vende produtos distintos de rastreo ocular voltados para as necessidades do mercado mundial.



Figura 10 - Tobii EyeX, Aplicação Voltada para Análise de Usabilidade em Games

Fonte: <http://developer-files.tobii.com/wp-content/uploads/2014/04/Tobii-EyeX-Controller.png>

4.4.2 Eye Tribe

Em 2007 uma equipe de pesquisadores da IT University of Copenhagen desenvolveu um rastreador ocular de baixo custo, voltado para objetivos assistivos e de código aberto, permitindo que qualquer desenvolvedor pudesse utilizar, este sistema ficou conhecido como ITU Gaze Tracker. Após 2 anos essa equipe alterou seu foco para sistemas comerciais que pudessem auxiliar as pessoas em situações do dia-a-dia, que a partir da Startup Weekend Mobile (2011) ficou conhecida como Eye Tribe.

Desde sua fundação, tem desenvolvido aplicações para diversas utilizações do dia-a-dia, e com seu código aberto, permitindo aos desenvolvedores que utilizam o sistema possam agregar funcionalidades ao mesmo. O Eye Tribe permite ser utilizado em diversas plataformas e dispositivos, como está representado na **Figura 11**, sendo possível sua utilização em Microcomputadores com sistema operacional Windows ou MAC OS, ou em tablets.



Figura 11 - Eye Tribe (*Tablets*); Eye Tribe (Microcomputadores)

Fonte: theeyetribe.com/

4.4.3 Eye Gaze: LC Technologies

Fundada em 1986 por um grupo de engenheiros da Virginia, a LC Technologies foi pioneira em desenvolvimento de tecnologias para rastreamento ocular por mais de 26 anos. Com este tempo de mercado, a empresa desenvolve sistemas com uma grande precisão do rastreamento ocular.

No começo de sua existência, eram desenvolvidos, somente softwares para comunicação pelo olho, agora a empresa esta implementando o rastreamento ocular para hospitais, jogos, dentre outros.



Figura 12 - The EyeFollower; EAS Binocular; EAS Monocular

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

4.5 DEFINIÇÃO DA BIBLIOTECA

O desenvolvimento do software que irá analisar as imagens e identificar o posicionamento onde o usuário está observando pode ser desenvolvido a partir de bibliotecas de visão computacional/rastreamento ocular ou de maneira manual, onde o desenvolvedor irá elaborar o algoritmo responsável por rastrear os olhos e sua movimentação.

Para o desenvolvimento desta pesquisa foi escolhido utilizar bibliotecas de rastreamento ocular, dentro todas as possibilidades foram analisadas duas bibliotecas: a Eye Gaze e a CVC Eye Tracker.

4.5.1 CVC Eye Tracker

O CVC Eye Tracker é um software baseado em outros dois projetos open-source: o Opengazer e o OpenCV. O Opengazer é uma aplicação open-source desenvolvida inicialmente por Piotr Zielinski, na época aluno da Universidade de Cambridge, e atualizada por Emlil-Mari Nel, proporcionando diversas funções a aplicação inicial e a biblioteca OpenCV (Open Source Computer Vision Library) foi desenvolvida inicialmente pela Intel em 2000 e é uma biblioteca livre ao uso acadêmico e comercial, voltada para a área de visão computacional geral sem funções específicas para rastreamento ocular.

4.5.2 ITU GazeTracker

O ITU GazeTracker foi um projeto iniciado em 2009 por membros do Gaze Group, um grupo de doutorandos da Universidade de Copenhague. Ao longo dos anos a equipe modificou o projeto inicial proporcionando facilidades e desenvolvendo uma biblioteca específica para rastreamento ocular, com funcionalidades para diversas câmeras, porém a biblioteca não proporciona facilidades multi-plataforma, sendo possível utilizá-la apenas em sistemas Windows e só pode ser desenvolvida em C#.

A biblioteca estudada reúne em um lugar, diversas funcionalidades necessárias a criação de um sistema de rastreamento ocular, como funcionalidades de visão computacional, tratamento de imagens, recepção de vídeo e captura de imagem, comunicação e controle de hardware (câmeras de vídeo), controle e comunicação via rede, funcionalidades de conversão e funcionalidades de rastreamento (tanto ocular quanto da cabeça).

Uma das principais facilidades proporcionadas pela equipe é um fórum, no qual os usuários, que utilizam a biblioteca, podem se comunicar e lançar novas alterações nos algoritmos de rastreamento, que são códigos abertos, permitindo a utilização da mesma com objetivos acadêmicos ou comerciais.

4.5.3 Comparativo

Ambas as bibliotecas apresentadas contêm os pré-requisitos necessários para o desenvolvimento deste estudo. Contudo, a biblioteca CVC Eye Tracker contém uma documentação limitada, mesmo contendo um código comentado e de fácil entendimento, não proporciona explicações quanto as funções utilizadas pelo sistema e também não contém um site ou FAQ (Frequent Asked Questions) onde tirem as principais dúvidas dos usuários.

A biblioteca ITU Gaze Tracker dispõe em site onde os desenvolvedores tiram dúvidas e conversam sobre novos desenvolvimentos relacionados a tecnologia, o que proporciona uma maior facilidade relacionada a outra biblioteca.

Ao analisar o quesito multi-plataforma, a biblioteca CVC Eye Tracker permite somente seu desenvolvimento em C# igualmente a ITU GazeTracker, ambas, portanto, só podem ser utilizadas no Sistema Operacional MS Windows. Levando em consideração que este estudo não visa a utilização desta aplicação em diversas plataformas, não se vê necessário que a biblioteca proporcione isto.

As duas bibliotecas possuem as funcionalidades necessárias para o desenvolvimento da aplicação e utilizam a mesma linguagem de programação, porém, a documentação proporcionada pelos desenvolvedores da ITU Gaze Tracker é mais robusta e por este motivo esta foi a biblioteca escolhida.

5 DESENVOLVIMENTO

Sistemas de rastreamento ocular utilizam diversas técnicas e pequenos detalhes podem gerar alterações no processo. Posicionar a câmera em distâncias diferentes e definir se Rastreador Ocular (R.O.) será intrusivo ou extrusivo são alguns destes itens a serem levados em consideração ao desenvolver um R.O. A partir das necessidades deste estudo foi criado um processo visando uma melhor eficiência e eficácia do rastreamento ocular.

Para que o sistema seja funcional durante o uso, é necessário obter uma confirmação através de testes, tendo isto em vista foi idealizado uma plataforma para a realização de testes e parametrização de resultados. Esta plataforma servirá como comparativo entre os resultados dos testes para poder identificar alterações e problemas durante os rastreios.

5.1 ESTRUTURA DO SISTEMA

O sistema foi baseado nas funcionalidades existentes na biblioteca e desenhado conforme as especificações de sistemas de rastreamento. Visando flexibilidade e eficácia, a linha do desenvolvimento seguiu a estrutura representada na **Figura 13**.

Como a aplicação visa a captação de imagem em tempo real e os sistemas de rastreamento ocular analisam as imagens separadamente quadro a quadro, foi necessário capturar as imagens através de uma câmera de vídeo e tratá-las, para que fosse possível, posteriormente, realizar o rastreamento e apresentar ao usuário, o resultado final do sistema: o controle do mouse através dos olhos.

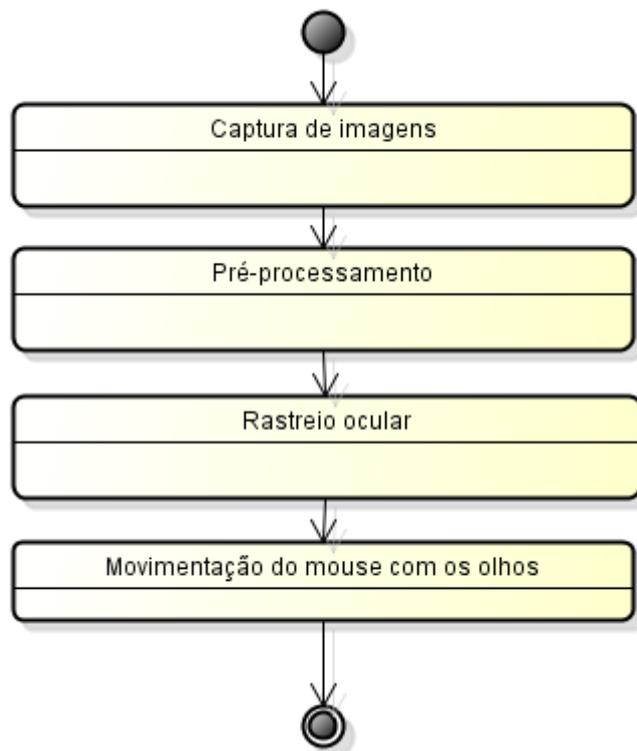


Figura 13 - Estrutura da Aplicação de Rastreo Ocular

5.1.1 Captura da imagem

Para executar o rastreo ocular é necessário que exista uma câmera de vídeo conectada ao computador e sua respectiva DLL configurada no S.O. Com a câmera devidamente configurada, é necessário que a localização da DLL seja apontada em um arquivo de configuração da biblioteca. Portanto, foi criado o diretório: "GTHardware/Cameras/EyeToy" e neste mesmo, foram enviadas as informações e DLL da câmera.

Caso exista uma configuração da câmera pré-existente, esta irá ser localizada ao iniciar a aplicação através do arquivo de configuração. Para definir esta nova câmera como padrão no sistema, é exigido alterar as configurações da câmera no arquivo: "GTSettings/Camera.cs".

5.1.2 Pré-processamento

Apesar de toda evolução dos algoritmos de rastreamento ocular, as imagens que serão analisadas para identificação dos olhos necessitam de uma preparação para aumentar o sucesso na identificação ocular na imagem. Tendo em vista que, a transformada de Hough detecta círculos baseando-se na análise de cada pixel e suas imediações, a necessidade do pré-processamento existe para ressaltar as diferenças presentes nas bordas.

Considerando que toda imagem recebida das câmeras de vídeo é colorida, será necessário inicialmente, utilizar a função da biblioteca, para reduzir a imagem a tons de cinza (**Figura 14. b**). Posteriormente, é realizado um processo de redução de detalhes, onde serão eliminadas informações desnecessárias ao rastreamento. Esta etapa inicia-se com o processo de suavização (**Figura 14. c**), onde a biblioteca aproxima a intensidade de cada pixel com os de sua proximidade, através da média entre os valores dos pixels analisados.

A segunda etapa consiste no procedimento mais importante do pré-processamento de imagem. É na fase de detecção de bordas de Sobel onde destaca-se mudanças bruscas de intensidade da imagem, retornando somente as bordas da imagem e ignorando o restante dos detalhes na imagem (**Figura 14. d**). Após a detecção de bordas de Sobel, é necessário a binarização da imagem, pois é preciso minimizar a variedade de intensidade das linhas (**Figura 14. e**). Este processo é realizado a partir da definição de um limite e caso o valor do pixel esteja abaixo deste valor, este ponto terá a nova intensidade de 0 (zero) e em contrapartida, caso o valor esteja acima do definido, o ponto terá a intensidade de 1 (um). Este processo tem como resultado uma imagem binária. E após a binarização da imagem, é feita uma inversão, trocando os valores 0 (zero) por 1 (um), conforme representado na **Figura 14. f**.

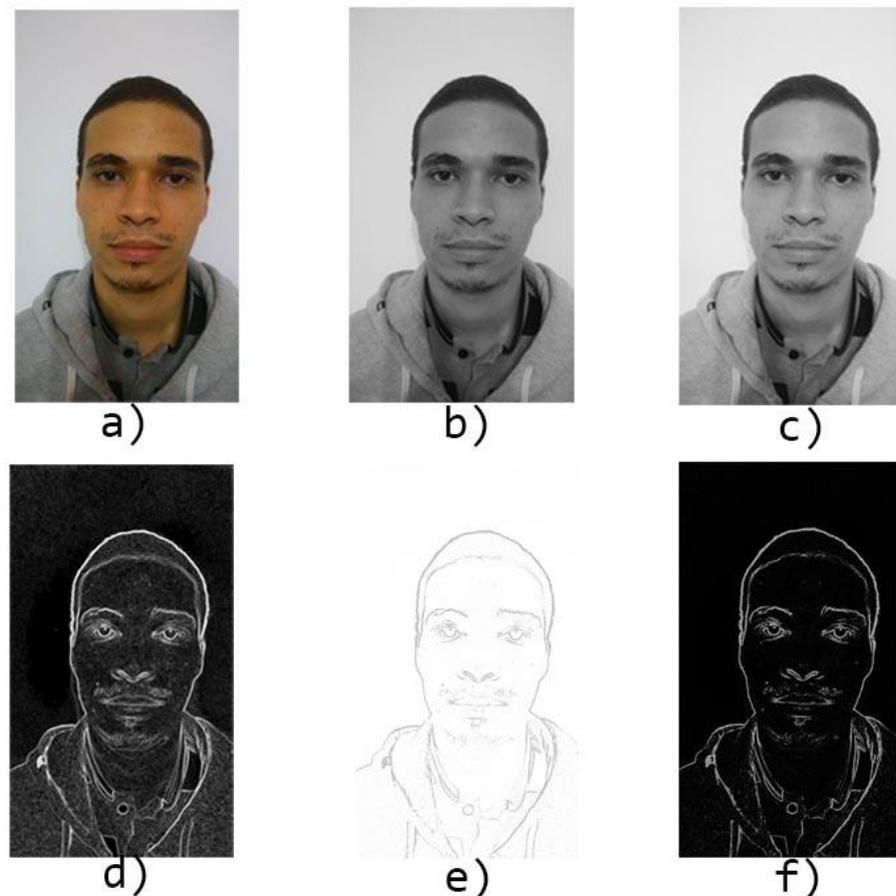


Figura 14 - Fases do Pré-processamento

5.1.3 Rastreo ocular

Uma vez realçadas as bordas da imagem capturada, é possível iniciar o processo para localização dos olhos. Nesta fase do sistema, os olhos do usuário deverão ser detectados e suas coordenadas anotadas. As respectivas coordenadas condizem com a posição dos olhos referente à imagem captada, e esta coordenada será interligada às coordenadas do círculo de rastreo aparente na tela, durante a fase de calibração do sistema.

Para a detecção do olho do usuário, foi utilizado o algoritmo do ITU Gaze Tracker que é uma adaptação da transformada de Hough. Este algoritmo tem como resultado a **Figura 15**, onde nota-se que os olhos do usuário estão realçados por uma cruz sobre a área rastreada.



Figura 15 - Detecção dos Olhos

Este algoritmo pode ser utilizado em conjunto com diversas outras ferramentas disponibilizadas pela biblioteca para melhorar o desempenho do rastreo. Uma destas ferramentas consiste em buscar os olhos dos usuários somente em uma parte pré-selecionada da imagem, esta parte da imagem que será buscado as imagens para rastreo são definidas nos arquivos de configuração da aplicação.

5.1.4 Controle de interfaces com a utilização dos olhos

O resultado final deste sistema tem o objetivo de controlar a movimentação do cursor do mouse através dos olhos do usuário, tendo em vista que, o rastreo ocular já foi realizado é necessário agora permitir a funcionalidade de controle do mouse.

A função utilizada para executar este trabalho é chamada de EyeMouse. Para o controle do mouse são enviados dois parâmetros especificando o eixo X e o eixo Y do monitor que o mouse deverá se locomover. As informações do eixo X e Y são enviadas após a execução dos itens descritos 5.1.1 a 5.1.3.

A funcionalidade EyeMouse é responsável pela movimentação do mouse seguindo as especificações do MS Windows.

5.1.5 Visão geral

Além das funcionalidades apresentadas, a aplicação também é composta por outras funções que são responsáveis por um bom funcionamento da arquitetura como um todo.

A primeira ação executada pelo sistema é verificar a parametrização padrão definida no arquivo de configuração caso a plataforma tenha sido executada alguma outra vez no mesmo computador. Caso o sistema não tenha sido executado, é criado o arquivo com a configuração padrão da aplicação.

Após a configuração da câmera, é apresentado na tela a aplicação visual do sistema (**Figura 16**) que permite ao usuário iniciar o controle do mouse através dos olhos clicando em "Iniciar" ou calibrar o sistema clicando em "Calibrar". Só é possível iniciar o uso do sistema após o sistema estar calibrado.

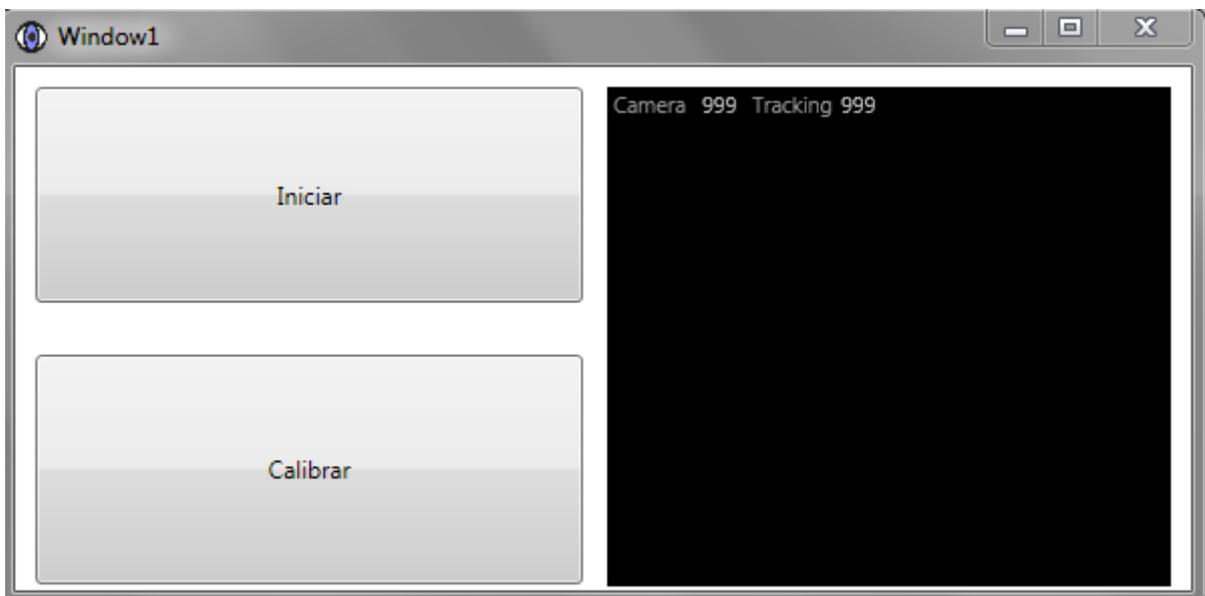


Figura 16 - Interface da Aplicação

A biblioteca ITU Gaze Tracker permite a utilização de diversos tipos de calibração, pois as calibrações são diferentes para cada tipo de sistema de rastreamento ocular. O método escolhido foi a calibração linear de 16 pontos, pois foi o que apresentou

melhores resultados durante a utilização da aplicação, levando em consideração também as calibrações com 5 e 9 pontos.

Após a finalização da calibração, o sistema irá retornar as informações de precisão que foram analisadas durante a calibração, os valores de precisão são avaliados em 5 (cinco) pontos dando um retorno ao usuário informando se será possível ou não utilizar a aplicação.

Ao inicializar, o sistema realiza o rastreo conforme explicado nos itens 5.1 a 5.4, porém levando em consideração outros pontos para melhorar o desempenho e precisão do algoritmo.

Um ponto relevante é o calculo das informações dos olhos do usuário que são armazenados em arquivo para acelerar o processo de rastreo ocular e diminuir o processamento. Essas informações são: diâmetro da pupila e distância entre o centro da pupila e o canto dos olhos. Ambas informações se mantêm padronizadas em praticamente qualquer situação.

Com ambos os olhos ou somente em um dos olhos rastreado, o sistema utiliza uma adaptação da transformada de Hough para identificar a cabeça do usuário e calcular a distância entre a cabeça do usuário e o canto da imagem captada. Estas informações são de extrema importância para casos onde o usuário mova a cabeça levemente, pois o sistema recalcula o posicionamento dos olhos a partir da movimentação da cabeça do usuário.

Após estas identificações, o sistema detecta a presença de iluminação infravermelha ao capturar a imagem dos olhos. Caso haja reflexão da córnea com a iluminação infravermelhos, aparecerá mais um ponto de rastreo importante, a *glint*.

Durante o rastreo, mesmo com todas as variáveis perfeitamente alinhadas, existem circunstâncias em que o rastreo não ocorre da maneira adequada, pois a imagem recebida pelo sistema não encontra os olhos do usuário. Conforme representado na **Figura 17**, a aplicação tem um bom retorno caso o usuário esteja com a cabeça posicionada frontalmente e os olhos abertos igual vê se nos itens a) e b) da figura. Em contrapartida, caso os olhos do usuário encontrem-se fechados ou não seja possível ter uma imagem nítida dos pontos rastreadores, será notado ineficiências

conforme representado nos itens c) e d) da **Figura 17**. O Apêndice C apresenta algumas imagens de rastreo corretas e incorretas.

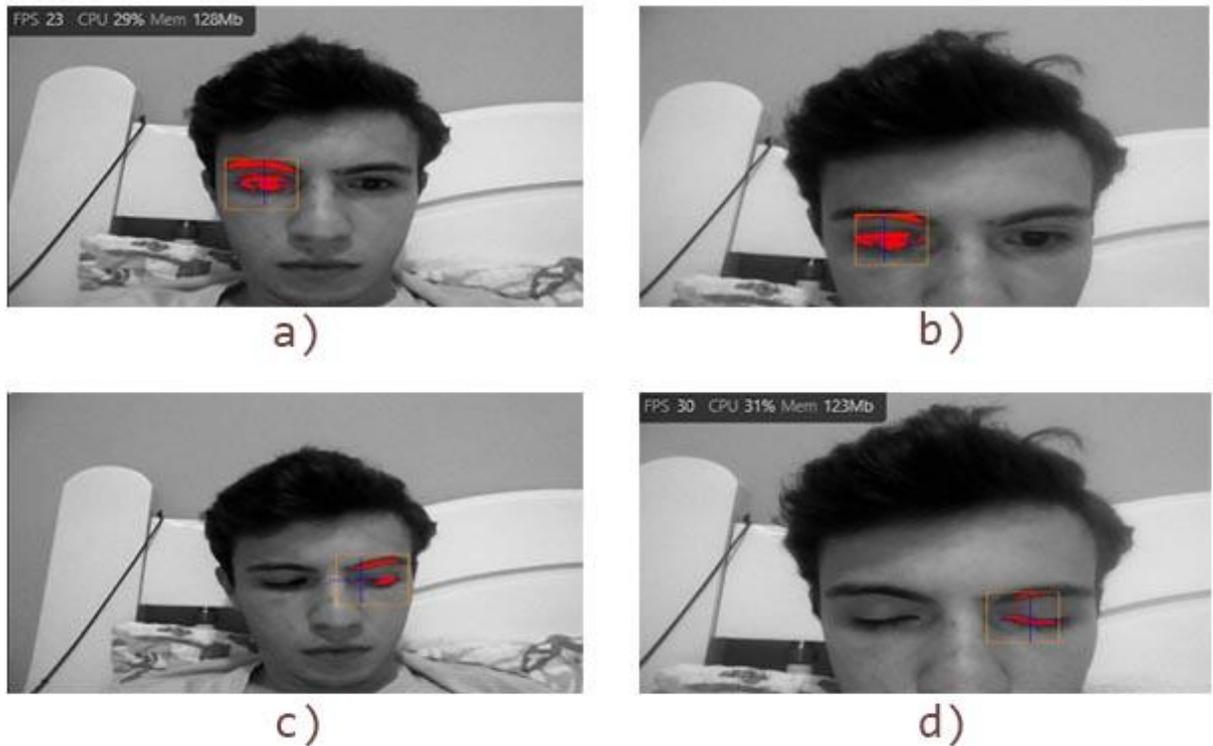


Figura 17 - Situações de Acertos e Erros do Rastreo

5.2 PLATAFORMA PARA EXECUÇÃO DOS TESTES

A plataforma para execução dos testes foi desenvolvida tendo em vista analisar de uma maneira simples e direta a precisão do sistema de rastreo ocular. Esta plataforma apresenta diversos círculos coloridos, um dentro do outro, representando os diversos níveis de precisão que o sistema apresenta. A aplicação divide a precisão em 10 níveis, conforme representado na **Figura 18**.



Figura 18 - Plataforma para Execução dos Testes

Após o sistema estar calibrado, a aplicação para execução dos testes será iniciada e o voluntário será instruído que observe o centro do menor círculo na tela. Ao usuário observar o centro do círculo na tela será possível medir em quais dos níveis o mouse se posicionou, informando sobre o nível da precisão, e permitindo que sejam simuladas diversas situações para verificar se este nível de precisão se altera ao decorrer dos testes.

Para mensurar a eficiência do sistema, será dado um valor de precisão de 1 (um) a 10 (dez), contando os círculos de dentro para fora, sendo o valor 1 como a melhor precisão que poderíamos encontrar no sistema e 10 a pior.

A aplicação foi desenvolvida utilizando tecnologias WEB de estruturação (HTML e CSS). Ao finalizar a calibração será aberto o navegador Internet Explorer em tela cheia, não aparecendo a área de menus do navegador.

6 RESULTADOS

Somente o desenvolvimento de um sistema não comprova que a mesma seja aplicável no que esta se propôs a fazer. Tendo isto em vista, foi realizado uma pesquisa buscando situações que gerariam algum tipo de alteração ou dificuldade de rastreo em relação a maioria da população.

Estas situações de dificuldade de rastreo ocular, podem estar relacionadas ao ambiente ou aos usuários que irão utilizar o sistema (FURLANETTI, 2014).

Nguyen et. al (2002) citou que possivelmente sistemas de rastreo que utilizam iluminação infravermelha apresentariam alterações em algumas etnias afro-descendentes, pois o efeito de pupila brilhante e pupila escura tem um resultado diferente do apresentado na maioria da população.

Levando em consideração também que sistemas de rastreo ocular poderiam ser utilizados no dia-a-dia dos usuários, foram realizados testes visando comprovar que a alteração da pupila do usuário durante a utilização do sistema, geraria alterações na precisão do sistema. Estes testes foram realizados imaginando que os usuários iriam se locomover de ambientes mal iluminados para ambientes com iluminação mais forte enquanto utilizam a aplicação.

6.1 DIRETIVAS GERAIS

Para que a pesquisa obtenha valores relevantes quanto à precisão do sistema, é necessário que tenha um protocolo de utilização para padronização de todos os usuários.

Os procedimentos definem também quais dispositivos auxiliares serão utilizados para o melhor aproveitamento dos testes e quais serão os equipamentos utilizados (computadores, cadeiras, mesas, etc).

Para a realização dos testes, levando em consideração as diferentes características de usuários, foi escolhida uma cadeira customizada, permitindo que voluntários de diferentes alturas, tamanhos de cabeça, altura dos olhos, possam utilizar o sistema.

A cadeira permite apoio para cabeça do usuário e tem a angulação necessária para que ele possa se aproximar da mesa onde será posicionada a câmera, conforme ilustrado na **Figura 19**.

Após a realização de testes foi comprovado que a distância entre o olho do voluntário e a câmera mostrou-se mais eficiente em uma distância de 10 centímetros, para que fosse possível obter a melhor imagem do olho do voluntário, sem que captasse o cabelo ou as sobrancelhas. A partir desta posição, foi definida uma configuração da área que será analisada da imagem na aplicação.

A câmera também precisa estar posicionada corretamente, porém seu posicionamento é alterado a partir das informações obtidas do usuário, posicionando a mesma utilizando o braço mecânico.

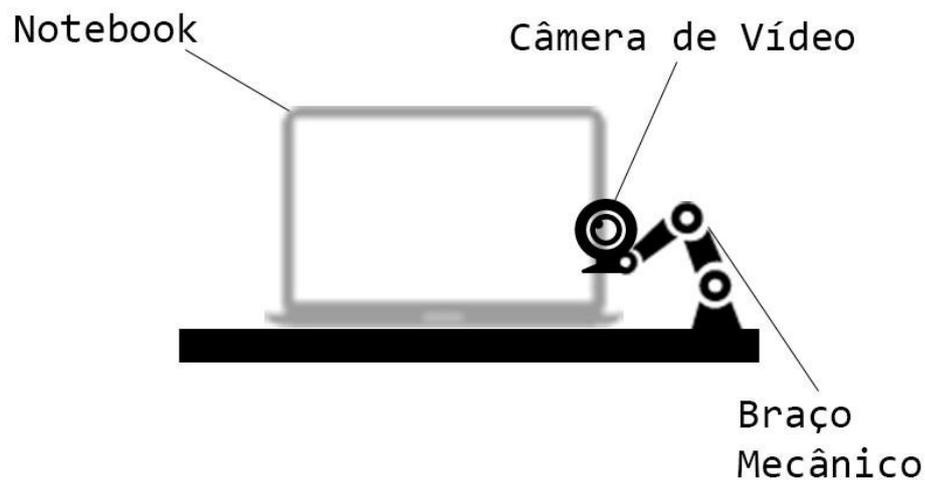


Figura 19 - Ilustração Posicionamento da Câmera de Vídeo

6.1.1 Dispositivos Auxiliares

Todos os sistemas de rastreamento ocular atuais necessitam de algum tipo de dispositivo auxiliar, seja para aperfeiçoar a precisão do rastreamento ou para aprimorar a usabilidade com o usuário. Durante o desenvolvimento desta pesquisa, foi vista a necessidade de dispositivos para otimizar a precisão do sistema, como por exemplo, LEDs Infravermelhos e suporte para apoio a câmera adaptável.

Os LEDs Infravermelhos (IR) são utilizados junto ao sistema de rastreio para aprimorar a precisão e identificar com maior facilidade a pupila do usuário (gera menor processamento, possibilitando a utilização em diversos hardwares). Além dos IR, também foi utilizado um suporte de apoio para câmera adaptável, para que fosse possível padronizar a utilização do sistema para todos os usuários, com diferentes alturas, idades, tamanhos de olhos e cabeça.

6.2 TESTES

Para a realização dos testes, foi definido um procedimento a ser seguido para que seja possível realizar o mesmo teste com todos os usuários, e que os resultados dos mesmos sejam fidedignos. Os procedimentos descritos nos Apêndices A e B, foram desenvolvidos, traçando um cenário onde qualquer usuário pudesse utilizar o sistema e obter melhores resultados.

Estes testes buscam comprovar experimentalmente pequenas inconsistências ao utilizar um sistema de rastreio ocular em diversas situações e, a partir disto, verificar a possibilidade da utilização deste sistema rastreador no dia a dia de qualquer pessoa em locais diversos.

O estudo foi realizado em um local controlado, com diretivas definidas conforme os tópicos abaixo e especificando certas informações quanto aos voluntários e ambientes.

No teste realizado no item 6.2.1, foram escolhidos voluntários afrodescendentes, pois conforme Nguyen et. al (2002), a reação da pupila diante da iluminação infravermelho é diferente em alguns grupos étnicos afrodescendentes. Além da alteração gerada com a utilização dos LEDs infravermelhos, também existia a possibilidade da coloração da pele gerar dificuldade durante o rastreio.

No item 6.2.2. foi analisado se a alteração da pupila do voluntário gera inconsistências na utilização do rastreador ocular.

6.2.1 Voluntários afrodescendentes

Com o objetivo de permitir que o sistema de rastreamento ocular possa ser utilizado com qualquer usuário, foram realizados testes com usuários negros para comprovar que o sistema é funcional independente da cor da pele.

Nguyen et. al (2002) durante suas pesquisas, descobriu que em certos grupos étnicos existe uma variação na reação da pupila ao ser iluminada por LEDs infravermelhos. Levando em consideração que parte da funcionalidade do rastreamento utiliza iluminação infravermelha, existe a possibilidade do rastreamento ocular não funcionar corretamente caso utilizados com afrodescendentes.

Portanto, para examinar a reação da aplicação em situações de dificuldades, foram realizados testes com usuários negros e compara os resultados do rastreamento com usuários que não geram nenhum tipo de dificuldade no rastreamento ocular.

6.2.2 Alteração da pupila

A utilização de sistemas de rastreamento ocular deveria ser utilizada em qualquer local, seja em ambientes fechados ou abertos, possibilitando melhoras na vida de pessoas com necessidades especiais ou facilidades no dia a dia de cada um.

Um dos problemas hipotéticos em utilizar sistemas de rastreamento ocular em ambientes abertos seria a alteração da pupila. Este teste tem como objetivo comprovar que caso um voluntário estivesse em um ambiente fechado com pouca iluminação e depois ele saísse para um ambiente aberto bem iluminado, o sistema mantivesse perfeitamente o rastreamento no momento da alteração e o momento após a alteração da iluminação.

Com este objetivo, foi idealizado o teste onde o voluntário irá calibrar o sistema inicialmente e em um momento informado ao mesmo, será iluminado os olhos do voluntário com uma fonte de luz externa, gerando dificuldades no rastreamento tanto pela diferença de iluminação quanto pela alteração da pupila do usuário.

7 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos foram analisados seguindo o preceito de que os valores de 1 a 10 representam uma porcentagem de aproximadamente 10% a 100% de precisão. Conforme representado na **Figura 20**, o valor 1 representa aproximadamente 100% de precisão, o que condiz na melhor precisão analisada nestes testes. E o pior resultado possível poderia ser 10, que é equivalente a aproximadamente a 10% de precisão. Todos os testes que não apresentem resultados entre estes valores (1 a 10) serão retirados desta análise e refeitos para obter um resultado compatível com os valores analisados.

VALOR OBTIDO NO TESTE	% DE PRECISÃO
1	100%
2	90%
3	80%
4	70%
5	60%
6	50%
7	40%
8	30%
9	20%
10	10%

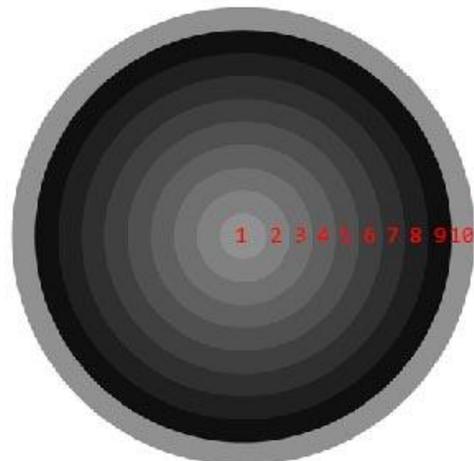


Figura 20 - Comparativo Valor Obtido no Teste e Precisão

Foram calculados percentuais de precisão (**Figura 20**), para que fosse possível representar graficamente os resultados, facilitando o entendimento das informações. Os valores apresentados na porcentagem (%) de precisão são valores aproximados, não representando exatamente a precisão real do sistema.

7.1 TESTE UTILIZANDO VOLUNTÁRIOS AFRODESCENDENTES

Os resultados obtidos a partir dos testes com voluntários afrodescendentes demonstraram que existem alterações durante o rastreo. Todos os usuários obtiveram resultados com valores entre 10% e 50% de precisão, tendo em vista que durante situações comuns os valores obtidos deveriam estar de 70% a 100% de precisão, percebe-se que os resultados têm uma precisão menor, conforme está representado no **Gráfico 1**.

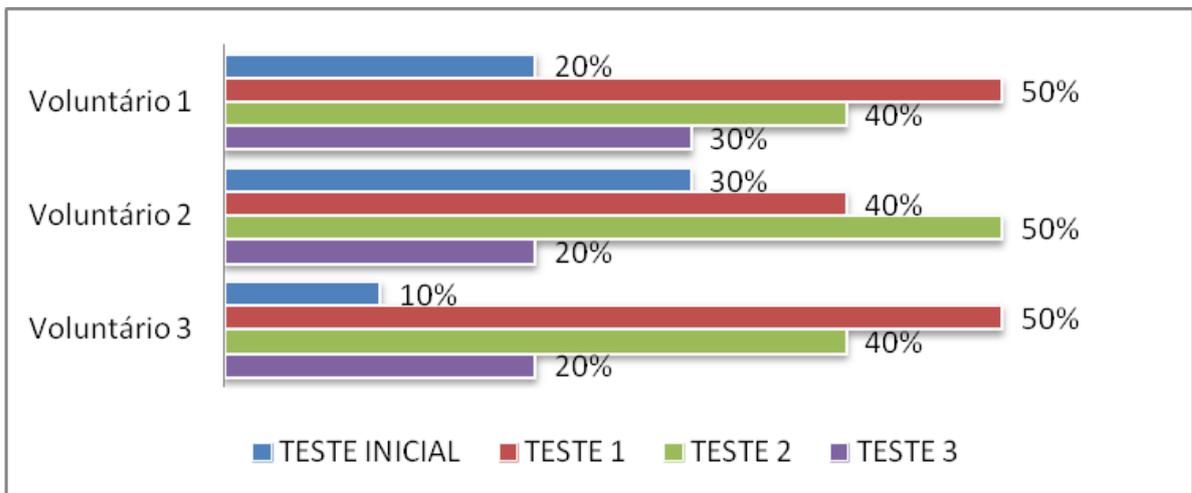


Gráfico 1 - Testes com Voluntários Afrodescendentes

O voluntário 1 foi o que apresentou os melhores resultados durante a análise, tendo a média de precisão de 40%, obtendo 50% no teste 1, 40% no teste 2 e 30% no teste 3. Os voluntários 2 e 3 obtiveram a mesma média de precisão, porém tiveram resultados diferentes na ordem dos testes. O voluntário 2 obteve média de 37% de precisão nos resultados, sendo 40% no teste 1, 50% no teste 2 e 20% no teste 3. E o voluntário 3 obteve 50% de precisão no teste 1, 40% no teste 2 e 20% no terceiro teste.

Com estes resultados, nota-se que os afrodescendentes geram alterações durante o rastreo ocular quando comparado com resultados de testes de usuários de outras etnias.

7.2 TESTE COM SITUAÇÕES QUE INDUZEM A ALTERAÇÃO DA PUPILA

A partir dos testes realizados com os voluntários, foi possível notar que existem alterações no rastreo ao iluminar o olho dos voluntários.

Conforme representado no **Gráfico 2**, o voluntário 1 teve um valor de precisão entre 80% e 90%, proporcionando uma boa calibração inicial. Porém, ao iluminar os olhos do voluntário, houve uma queda expressiva na precisão, tendo uma variação entre 10% e 20%.

No **Gráfico 3**, o voluntário 2 obteve um valor de precisão variado entre 60% e 90%, abaixo da precisão do voluntário 1 mas, ainda assim, com uma boa calibração inicial. Com a iluminação no olho, a precisão obteve um valor entre 10% e 20%, mesmo valor que o voluntário 1.

No **Gráfico 4**, o voluntário 3 apresentou um valor de precisão entre 70% e 80%, abaixo da precisão do voluntário 1, porém, com o valor mínimo de precisão maior do que apresentado pelo voluntário 2.

Quando a iluminação foi incidida no olho do voluntário, a precisão decaiu para um valor entre 20% e 40%, bem abaixo da precisão inicial, mas ainda sim, melhor que os resultados dos voluntários 1 e 2.

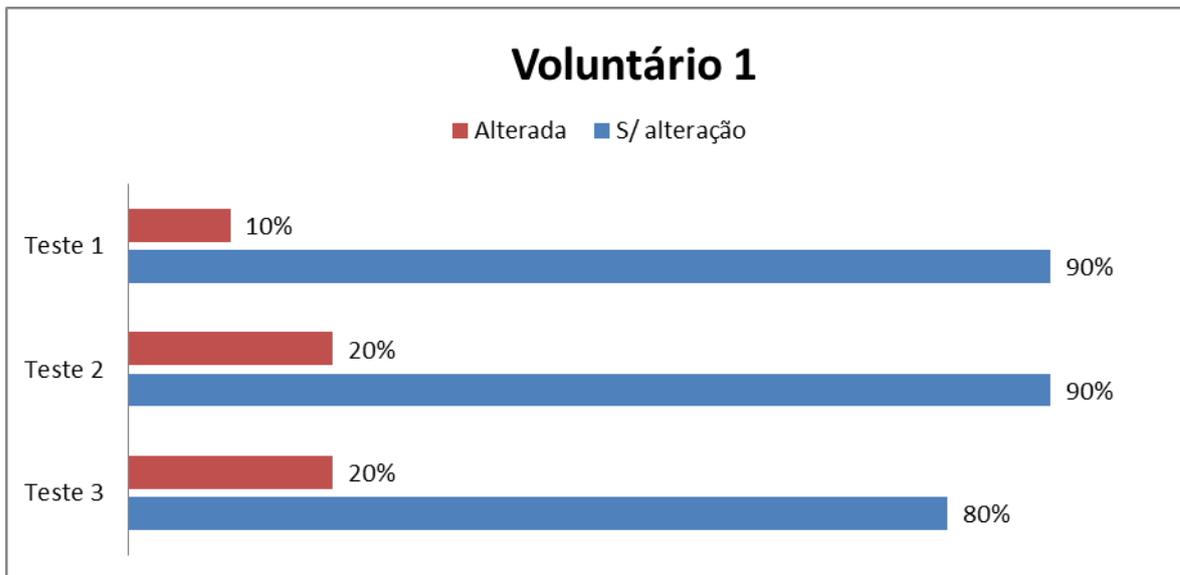


Gráfico 2 - Testes com Voluntário 1 - Alteração da Pupila

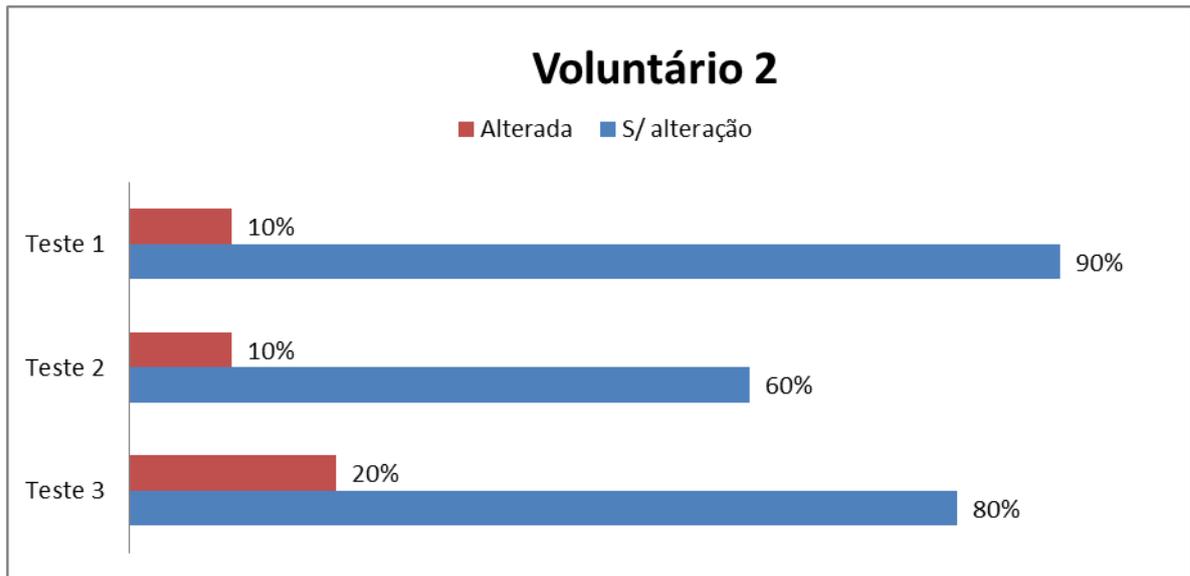


Gráfico 3 - Testes com Voluntário 2 - Alteração da Pupila

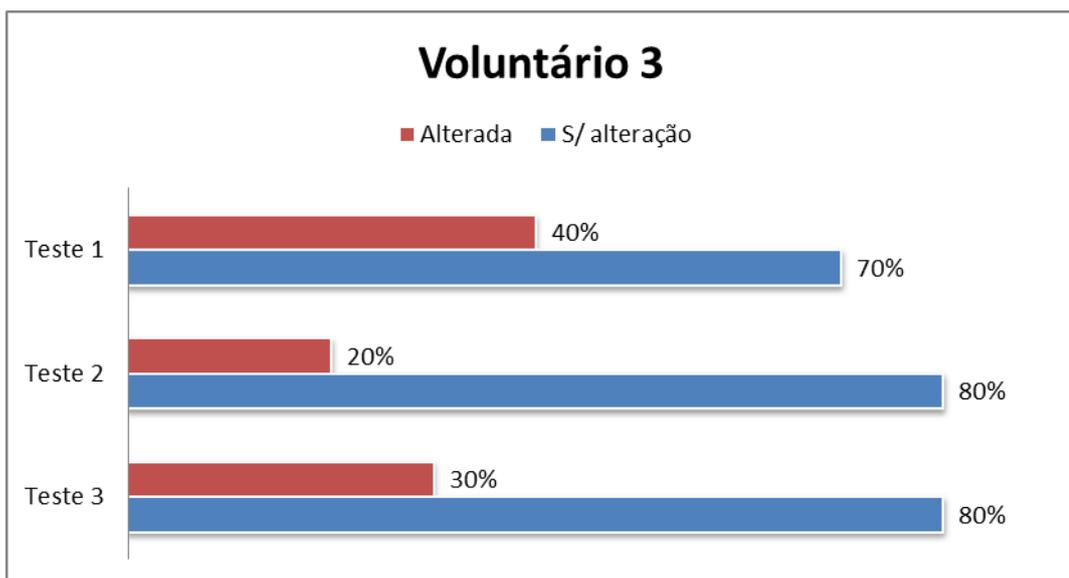


Gráfico 4 - Testes com Voluntário 3 - Alteração da Pupila

Com estes resultados foi obtida uma média total de 80% de precisão durante os testes sem a iluminação e após a iluminação foi obtido a média de 20% de precisão.

Também foi possível notar que durante a realização dos testes quando os olhos do voluntário foram iluminados o sistema rastreador perdeu totalmente o rastreamento por

aproximadamente 2 segundos, e após este tempo, o sistema voltou a identificar a pupila, porém demorou cerca de 7 segundos para definir a precisão do rastreo.

Com estas informações foi possível notar que, ao iluminar os olhos dos voluntários, a imagem se tornava clara demais, não permitindo que os olhos dos usuários fossem encontrados pela câmera de vídeo. Após desligar a iluminação, os olhos do voluntário foram encontrados novamente pelo sistema, porém a alteração da pupila e o momento em que o algoritmo perdeu a imagem dos olhos do usuário, gerou uma inconsistência, sendo necessário que fosse recalibrado a aplicação para que fosse possível utilizar o sistema em sua plena precisão.

Ao analisar mais profundamente os resultados obtidos, notou-se que não existe um valor exato para o quanto será diminuído na precisão do sistema, pois existem diversas variáveis que podem alterar de pouco a muito a precisão apresentada pela aplicação: quanto a pupila do usuário irá dilatar, quanto tempo a câmera de vídeo irá demorar para se adaptar a utilização da lanterna no olho do usuário e a movimentação da cabeça do voluntário ao iluminar seus olhos.

8 CONCLUSÕES

Neste trabalho foi desenvolvido uma aplicação de rastreo ocular utilizando a biblioteca ITU Gaze Tracker e analisado resultados a partir de testes em situações de possíveis dificuldades de rastreo com o objetivo de validar o sistema.

A contribuição deste estudo foi testar a aplicação de rastreo ocular em situações que gerariam alterações na precisão. Foram realizados testes com usuários afrodescendentes, que tem alteração na reação da iluminação infravermelha com a pupila e com usuários em situações de alteração da pupila, onde foram iluminados os olhos dos usuários dilatando a pupila e sendo possível se seria notado alguma alteração nos resultados.

O número de amostras realizadas teve o propósito de validar o sistema e não representar uma população que seja possível afirmar que as alterações notadas no rastreo representam a situação adversa estudada com qualquer indivíduo.

A partir dos resultados obtidos durante os testes é possível notar que o estudo atende aos objetivos propostos por este trabalho, limitando-se no resultado apresentado, sendo necessária uma análise quantitativa maior, caso queira obter uma generalização desta teoria a uma maior população.

8.1 TRABALHOS FUTUROS

Levando em consideração os problemas encontrados no item 7.2. seria necessário realizar outros testes com um grupo de voluntários com o intuito de verificar quantitativamente a alteração realizada em cada um dos itens: verificar o diferencial na alteração da pupila dos usuários, o tempo que a câmera de vídeo demora a se adaptar com a alteração da iluminação e realizar um terceiro teste analisando a movimentação da cabeça do usuário, posteriormente, desenvolver e implementar um algoritmo para adaptar o rastreo a movimentação da cabeça do usuário.

Também sugere-se realizar testes com uma amostragem maior, visando obter um resultado estatístico para comprovar matematicamente as dificuldades encontradas nas situações de rastreo detalhadas neste estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BATISTA, J. H. **Sistema embarcado para auxílio no diagnóstico de disfunções oculomotoras**. 2012. Dissertação de mestrado. Natal. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2012.

CIVITA, V. **Medicina e Saúde**. São Paulo: Abril Cultural, 1968.

CVC Eye Tracker. Disponível em < <http://mv.cvc.uab.es/projects/eye-tracker> >. Acesso em: 04 de jun. 2015.

DUCHOWSKI, A. T. **Eye tracking methodology: theory and practice**. 2 ed. London: Springer, 2007.

FURLANETTI, F. **Análise de Viabilidade técnica na incorporação do rastreamento ocular aplicado no controle de cadeira de rodas automatizadas**.

Semana Nacional de Ciência e Tecnologia do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Estado de São Paulo, 2014.

GIANNOTTO, E. **Uso de rastreamento ocular do olhar na avaliação da experiência do tele-usuário de aplicação de TV interativa.** 2009. Tese de mestrado. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2009.

HANSEN, D. W.; HANSEN, J. P.; **Robustifying Eye Interaction.** Proc. Conf. Vision for Human Computer Interaction. 2006.

KOLAKOWSKI, S. M.; PELZ, J. B.; **Compensating for eye tracker camera movement.** Proceedings of the 2006 symposium on Eye tracking research & applications. 2006. 79-85 p.

LI, D.; PARLHURST, D. J. **Open-source software for real-time visible-spectrum eye tracking.** Proceedings of the COGAIN Conference, 2009.

MORIMOTO, C. H. et al. **Keeping an eye for HCI.** Brazilian Symposium in Computer Graphics and Image Processing. 12. 1999. Campinas: UNICAMP, 1999.

NGUYEN, K.; WAGNER, C.; KOONS, D.; FLICKNER, M.; **Differences in the infrared bright pupil responses of human eyes.** Eye Tracking Research and Applications Symposium , 2002, p. 133-138.

OpenGazer. Disponível em < <http://www.inference.phy.cam.ac.uk/opengazer/> >. Acesso em: 04 de jun. 2015.

PEREIRA, A. S. **Processamento de imagens médicas utilizando a transformada de Hough.** 1995. 263 f. Tese de doutorado. São Paulo. Universidade de São Paulo: Instituto de Física de São Carlos. 1995.

ROBINSON, D. **A method of measuring eye movements using a scleral search coil in a magnetic field.** IEEE Transactions on Biomedical Engineering, BME 10, 1963.

SOARES, F. S. **Mecanismos de interação ocular baseados em imagens**

voltados à inclusão digital de portadores de necessidades especiais. 2008. 164 f. Tese de mestrado. São José dos Campos: ITA.

WAYNE, R.;WOODARD, D. L.; DUCHOWSKI, A. T.; BIRCHFIELD, S. T; **Adapting starburst for elliptical iris segmentation.** Biometrics: Theory, Applications and Systems, 2008. BTAS 2008.

APÊNDICE A - DIRETIVAS PARA EXECUÇÃO DOS TESTES: AFRODESCENDENTES

1. Os usuários devem estar sentados em frente uma mesa com o notebook posicionado a sua frente, a câmera será colocada no braço mecânico que será controlado para a melhor captação das imagens do usuário. O ambiente deverá ser fechado, sem alteração de iluminação externa, utilizando somente iluminação de lâmpadas comuns;
2. Os usuários serão instruídos sobre os procedimentos citados, pois este estudo não visa testar a usabilidade do sistema, mas sim o funcionamento dos algoritmos de rastreo ocular em situações diversas;
3. Após estarem posicionados, o sistema será iniciado e primeiramente será feita a calibração do sistema. Vários pontos irão aparecer e se mover pela tela, o usuário terá que segui-los ao longo da tela;
4. Em seguida a calibração será iniciada o sistema de identificação de precisão. Neste sistema será apresentado uma tela com círculos maiores que terão dentro deles círculos menores de cores diferentes, como um alvo. Será então requisitado ao usuário que ele olhe para o centro do círculo menor, neste momento será avaliado a precisão do sistema a partir da distância entre o ponto do mouse e o centro do círculo. Será então requisitado ao usuário que ele olhe para o segundo círculo;

APÊNDICE B - DIRETIVAS PARA EXECUÇÃO DOS TESTES: ALTERAÇÃO DA PUPILA

1. Os usuários devem estar sentados em frente uma mesa com o notebook posicionado a sua frente, a câmera será colocada no braço mecânico que será controlado para a melhor captação das imagens do usuário. O ambiente deverá ser fechado, sem alteração de iluminação externa, utilizando somente iluminação de lâmpadas comuns;

2. Os usuários serão instruídos sobre os procedimentos citados aqui, pois este estudo não visa testar a usabilidade do sistema, mas sim o funcionamento dos algoritmos de rastreamento ocular em situações diversas;
3. Após estarem posicionados, o sistema será iniciado e primeiramente será feita a calibração do sistema. Vários pontos irão aparecer e se mover pela tela, o usuário terá que segui-los ao longo da tela;
4. Em seguida será iniciado o sistema de identificação de precisão, identificando a precisão em um primeiro teste;
5. Após definido o nível de precisão será avisado ao usuário, e iluminado os olhos do mesmo diretamente para gerar a alteração da pupila;
6. E então será executado o teste de identificação de precisão novamente para identificar a precisão do sistema com a pupila do usuário alterada;

APÊNDICE C - IMAGENS DE RASTREIO CORRETO E INCORRETO

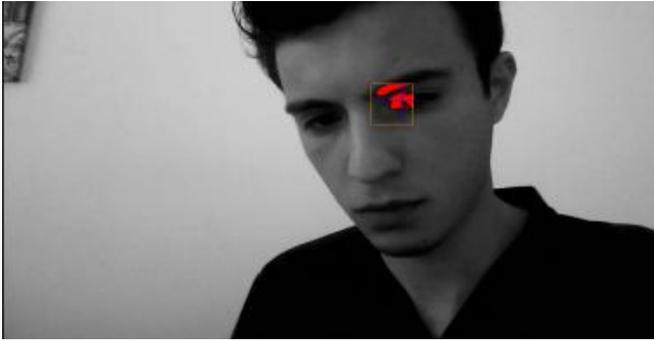


Imagem de rastreo incorreto.



Imagem de rastreo incorreto.



Imagem de rastreo incorreto.

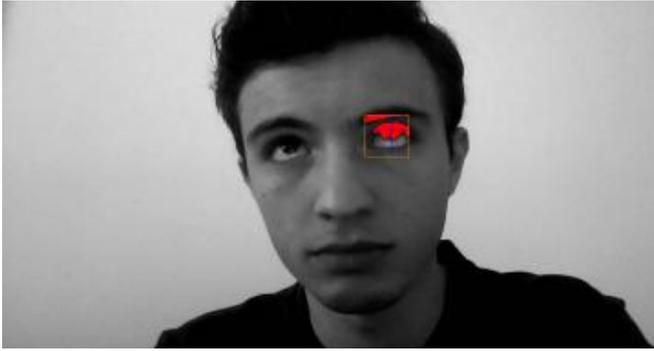


Imagem de rastreo correto.



Imagem de rastreo correto.

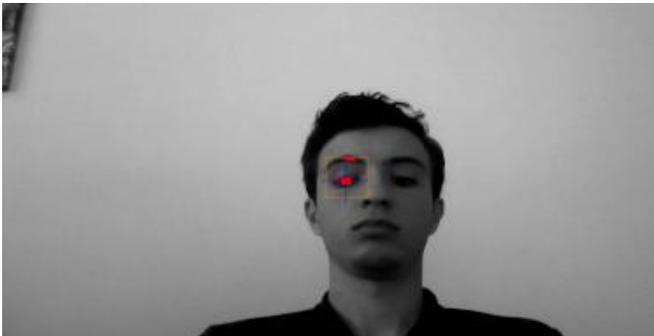


Imagem de rastreo correto.

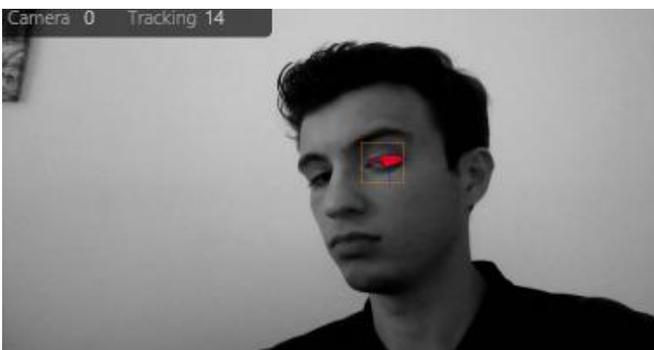


Imagem de rastreo correto.

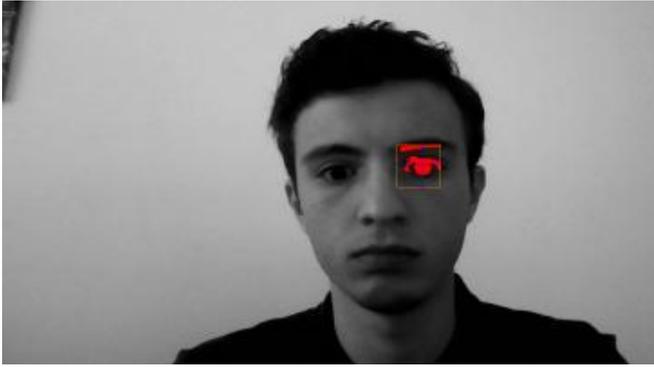


Imagem de rastreo correto.



Imagem de rastreo incorreto.