



Ministério da Justiça



UnB



Centro de Apoio ao
Desenvolvimento
Tecnológico



latitude

Laboratório de tecnologias da tomada de decisão

Termo de Cooperação/Projeto:

**Acordo de Cooperação Técnica
FUB/CDT e MJ/SE
Registro de Identidade Civil –
Replanejamento e Novo Projeto Piloto**

Documento:

**RT Estudo de Técnicas de
Identificação Biométrica pela Íris e de
Pupilometria Dinâmica**

Data de Emissão:

25/09/2014

Elaborado por:

**Universidade de Brasília – UnB
Centro de Apoio ao Desenvolvimento
Tecnológico – CDT
Laboratório de Tecnologias da Tomada
de Decisão – LATITUDE.UnB**

MINISTÉRIO DA JUSTIÇA

José Eduardo Cardozo
Ministro

Marivaldo de Castro Pereira
Secretário Executivo

Helvio Pereira Peixoto
Coordenador Suplente do Comitê Gestor do SINRIC

EQUIPE TÉCNICA

Ana Maria da Consolação Gomes Lindgren
Andréa Benoliel de Lima
Celso Pereira Salgado
Delluiz Simões de Brito
Elaine Fabiano Tocantins
Fernando Saliba Oliveira
Fernando Teodoro Filho
Guilherme Braz Carneiro
Jhon Kennedy Férrer Lima
José Alberto Sousa Torres
Joaquim de Oliveira Machado
Marcelo Martins Villar
Raphael Fernandes de Magalhães Pimenta
Rodrigo Borges Nogueira
Rodrigo Gurgel Fernandes Távora
Sara Lais Rahal Lenharo

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

Ivan Marques Toledo Camargo
Reitor

Paulo Anselmo Ziani Suarez
Diretor do Centro de Apoio ao Desenvolvimento
Tecnológico – CDT

Rafael Timóteo de Sousa Júnior
Coordenador do Laboratório de Tecnologias da
Tomada de Decisão – LATITUDE

EQUIPE TÉCNICA

Flávio Elias Gomes de Deus (Pesquisador Sênior)
William Ferreira Giozza
(Pesquisador Sênior)
Ademir Agostinho de Rezende Lourenço
Adriana Nunes Pinheiro
Alessandro Zimmer
Alysson Fernandes de Chantal
Amanda Almeida Paiva
Andréia Campos Santana
Andreia Guedes Oliveira
Antônio Claudio Pimenta Ribeiro
Carolinne Januária de Souza Martins
Caio Rondon Botelo de Carvalho
Cristiane Faiad de Moura
Daniela Carina Pena Pascual
Danielle Ramos da Silva
Eduarda Simões Veloso Freire
Fábio Lúcio Lopes Mendonça
Fábio Mesquita Buiati
Glaudson Menegazzo Verzeletti
João Luiz Xavier M. de Negreiros
Jonathas Santos de Oliveira
José Carneiro da Cunha Oliveira Neto
José Elenilson Cruz
Kelly Santos de Oliveira Bezerra
Luciano Pereira dos Anjos
Luciene Pereira de Cerqueira Kaipper
Luiz Antônio de Souto Evaristo
Luiz Claudio Ferreira
Marcos Vinicius Vieira da Silva
Marco Schaffer
Mirele Maria Cavalcante Rocha
Pedro Augusto Oliveira de Paula
Renata Elisa Medeiros Jordão
Roberto Mariano de Oliveira Soares
Sandro Augusto Pavlik Haddad
Sergio Luiz Teixeira Camargo
Soleni Guimarães Alves
Suzane Lais De Freitas
Valério Aymoré Martins
Vinicius de Moraes Alves
Wladimir Rodrigues da Fonseca

Projeto: MJ/SE-RIC	Emissão: 25/09/2014	Arquivo: 20140925 MJ RIC -RT Est de Tec de Ident Biométrica pela Íris e de Pupilometria Dinâmica	Pág.2/50
--------------------	---------------------	--	----------

Confidencial.

Este documento foi elaborado pela Universidade de Brasília (UnB) para a MJ/SE.
É vedada a cópia e a distribuição deste documento ou de suas partes sem o consentimento, por escrito, da MJ/SE.

HISTÓRICO DE REVISÕES

Data	Versão	Descrição
25/09/2014	0.1	Versão inicial.



Universidade de Brasília – UnB
Campus Universitário Darcy Ribeiro - FT – ENE – Latitude
CEP 70.910-900 – Brasília-DF
Tel.: +55 61 3107-5598 – Fax: +55 61 3107-5590

SUMARIO

1. INTRODUÇÃO	5
1.1. OLHO HUMANO.....	5
1.1.1. Íris	7
1.1.2. Pupila	8
1.1.2.1. Reflexo pupilar à luz	8
1.1.2.2. Outros movimentos pupilares	9
1.1.2.3. Reflexo consensual.....	9
1.2. PUPILOMETRIA	9
1.2.1. Pupilometria Dinâmica	10
1.3. SISTEMAS BIOMÉTRICOS	13
1.3.1. Classificação	15
1.3.2. Desempenho de um Sistema Biométrico	16
1.3.3. Características Biométricas	18
2. IDENTIFICAÇÃO PELA ÍRIS	19
2.1. MÉTODO DE DAUGMAN	19
2.2. MÉTODO DE WILDES	25
2.3. MÉTODO DE BOLES.....	30
2.4. OUTROS MÉTODOS	33
2.5. TÉCNICAS DE SEGMENTAÇÃO DA ÍRIS	35
3. IDENTIFICAÇÃO POR REFLEXOS HUMANOS.....	41
3.1. RESPOSTA SACÁDICA E PONTO CEGO DO OLHO	41
3.2. CARACTERÍSTICAS ESTÁTICAS E DINÂMICAS DA ÍRIS	42
4. CONCLUSÃO	44
REFERÊNCIAS.....	45

1. INTRODUÇÃO

Entre os principais objetivos do Subprojeto de Controle Biométrico do Projeto RIC (Registro de Identidade Civil), estão o estudo e análise de desempenho de sistemas de identificação usando diferentes modalidades biométricas, a especificação de um sistema de identificação biométrico e suas biometrias e a elaboração de recomendações e justificativas para o uso de diferentes biometrias.

Assim, a fim de complementar e enriquecer a base de conhecimento a respeito do tema, colaborando para o alcance destes objetivos, neste relatório é apresentado um levantamento bibliográfico dos métodos e técnicas utilizados em sistemas biométricos que se baseiam na informação contida na textura da íris, bem como alguns aspectos fisiológicos do olho humano que podem permitir a extração de outros tipos de características.

Neste capítulo introdutório, são apresentados alguns conceitos e termos que visam uma melhor compreensão a sobre o tema.

1.1. OLHO HUMANO

O olho é o órgão sensorial responsável pela visão. Localizado em cavidades ósseas do crânio conhecidas como órbitas, também é chamado globo ocular, devido à sua forma, próxima à de uma esfera. Em um ser humano adulto, pode chegar a 25 mm de diâmetro (KOLB, 2007).

Uma série de estruturas é responsável por controlar a passagem da luz através do olho, projetando-a sobre uma membrana composta por receptores fotossensíveis, que convertem os raios luminosos em impulsos elétricos, por sua vez transportados ao cérebro através do nervo óptico. A Figura 1 ilustra as principais estruturas do olho humano.

Projeto: MJ/SE-RIC	Emissão: 25/09/2014	Arquivo: 20140925 MJ RIC -RT Est de Tec de Ident Biométrica pela Íris e de Pupilometria Dinâmica	Pág.5/50
--------------------	---------------------	--	----------

Confidencial.

Este documento foi elaborado pela Universidade de Brasília (UnB) para a MJ/SE.

É vedada a cópia e a distribuição deste documento ou de suas partes sem o consentimento, por escrito, da MJ/SE.

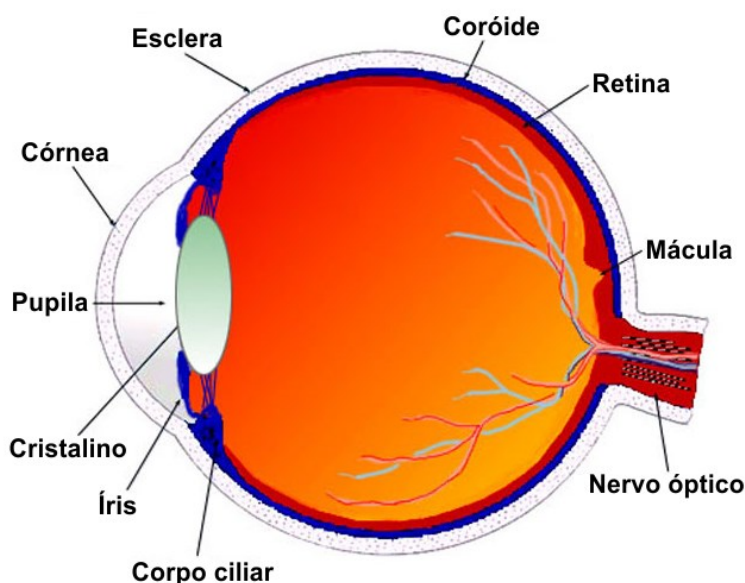


Figura 1 – Representação do corte sagital de um olho humano

Fonte: adaptado de KOLB, 2007.

Os elementos constituintes do olho humano estão distribuídos em três camadas concêntricas, denominadas túnicas. A camada externa, ou túnica fibrosa, é formada pela esclera, ou esclerótica, e pela córnea. A primeira é popularmente conhecida como “o branco do olho”, e tem a função de proteger e sustentar as demais. Já a córnea é transparente, para permitir a passagem de luz através do olho, e possui forma convexa, atuando como uma lente convergente.

A túnica vascular, intermediária, é dividida em duas partes: anterior, formada pela íris e pelo corpo ciliar, e posterior, correspondente à coróide. O corpo ciliar é formado por um músculo que pode contrair ou relaxar os ligamentos que sustentam o cristalino, alterando a forma desta outra lente. Este processo, denominado acomodação, é o que permite focalizar imagens em diferentes distâncias.

A túnica interna é a própria retina, constituída por células fotorreceptoras denominadas cones e bastonetes. Em sua parte posterior estão localizadas as duas regiões mais importantes: a mácula e o disco do nervo óptico. A primeira concentra a maior parte dos cones e é onde a luz deve incidir para que se tenha uma visão nítida. De maneira oposta, o disco do nervo óptico não possui fotorreceptores, e por isso é comumente chamado “ponto cego da retina”. Através do nervo óptico a informação visual é transmitida ao

cérebro.

O interior do globo é preenchido por um líquido transparente denominado humor aquoso, cuja principal função é regular a pressão intraocular (DANGELO; FATTINI, 2002).

1.1.1. Íris

Uma das regiões oculares mais visíveis externamente, a íris é uma estrutura circular complexa, composta por nervos, músculos e outros tecidos, que normalmente é usada para definir a cor de um olho. Tal coloração é determinada basicamente pela quantidade de melanina e lipocromo presentes em suas camadas mais posteriores, o epitélio e o estroma, podendo resultar em tons negros, castanhos, verdes, azuis ou mesmo rosas, ocorrendo o último caso na ausência total de ambos.

A produção destes pigmentos é determinada geneticamente. Apesar da crença popular, a cor da íris não se altera ao longo da vida adulta, exceto por razão de alguma doença (MONTGOMERY, 2008).

Além da pigmentação, é no estroma também que se formam os padrões de textura usados na identificação biométrica pela íris. Nervos e vasos sanguíneos se integram formando malhas que se organizam de maneira distinta em cada indivíduo. A malha trabecular, responsável pela drenagem do humor aquoso, forma a maior parte da textura visível. Em olhos escuros, mais pigmentados, grande parte da informação visual é revelada apenas sob iluminação próxima do infravermelho (DAVIS-SILBERMAN; ASHERY-PADAN, 2007; DAUGMAN, 2004).

A íris começa a se formar durante a vida intrauterina e, embora a pigmentação possa continuar a se desenvolver durante os primeiros anos após o nascimento, a maior parte do padrão de sua textura não se altera após o oitavo mês de gestação. A disposição das ligações, sulcos, malhas e rugas são aleatórias e fenotípicas. Ou seja, com exceção da cor, as características visuais da íris são epigenéticas, formadas durante a morfogênese de seus tecidos. Isso significa que olhos que possuem a mesma carga genética, como o olho direito e esquerdo de uma pessoa ou os olhos de gêmeos univitelinos, apresentam a mesma probabilidade de diferenças no padrão da íris que qualquer outro par de olhos não relacionados (DAUGMAN; DOWNING, 2001). A Figura 2 mostra exemplos de cores e padrões apresentados em diferentes íris.

Projeto: MJ/SE-RIC	Emissão: 25/09/2014	Arquivo: 20140925 MJ RIC -RT Est de Tec de Ident Biométrica pela Íris e de Pupilometria Dinâmica	Pág. 7/50
--------------------	---------------------	--	-----------

Confidencial.

Este documento foi elaborado pela Universidade de Brasília (UnB) para a MJ/SE.

É vedada a cópia e a distribuição deste documento ou de suas partes sem o consentimento, por escrito, da MJ/SE.



Figura 2 – Exemplos de padrões de íris

Fonte: WADDELL, 2007.

A íris possui forma aproximadamente circular com um orifício central, a pupila. Além dos tecidos conjuntivos, há também conjuntos de músculos controlados pelo sistema nervoso autônomo, responsáveis por regular sua abertura (DAVIS-SILBERMAN; ASHERY-PADAN, 2007).

1.1.2. Pupila

Uma pupila humana normal pode variar de 1,5 mm a 8 mm de diâmetro devido a uma variação na iluminação (GAMLIN; MCDUGAL, 2010). Esta é a maneira que o sistema visual utiliza para alterar rapidamente o nível de luminosidade irradiada na retina.

1.1.2.1. Reflexo pupilar à luz

A variação no diâmetro da pupila, denominada reflexo pupilar à luz, ocorre devido à ação de dois conjuntos de músculos intraoculares. O esfíncter da pupila, controlado pela componente parassimpática do sistema nervoso autônomo, é responsável pela miose, ou contração. Através de nervos ciliares curtos presentes na íris, neurônios pós-ganglionares liberam acetilcolina, que age nos receptores muscarínicos deste músculo.

Já o músculo dilatador da pupila é controlado pelo sistema nervoso simpático, e age de maneira oposta, causando a midríase, ou dilatação da pupila. Os adrenorreceptores presentes neste músculo sofrem ação de noradrenalina, liberada por neurônios através de nervos ciliares longos da íris (GAMLIN; MCDUGAL, 2010).

Mesmo entre pessoas portadoras de alguns tipos de deficiência visual, como a cegueira

Projeto: MJ/SE-RIC	Emissão: 25/09/2014	Arquivo: 20140925 MJ RIC -RT Est de Tec de Ident Biométrica pela Íris e de Pupilometria Dinâmica	Pág.8/50
--------------------	---------------------	--	----------

Confidencial.

Este documento foi elaborado pela Universidade de Brasília (UnB) para a MJ/SE.

É vedada a cópia e a distribuição deste documento ou de suas partes sem o consentimento, por escrito, da MJ/SE.

cortical, a pupila apresenta resposta normal a estímulos luminosos (RODRIGUES-ALVES, 1999).

1.1.2.2. Outros movimentos pupilares

Embora a principal função do reflexo pupilar seja a regulação luminosa sobre a retina, a variação no diâmetro da pupila também afeta a difração, a formação de aberrações ópticas e a profundidade de campo do olho. Por isso, além do reflexo à luz, a pupila também responde a uma variação na distância focal. Quando uma pessoa move seus olhos para focalizar um objeto próximo, além do processo de acomodação do cristalino, também há contração da pupila (GAMLIN; MCDUGAL, 2010).

Outro tipo de movimento involuntário da pupila ocorre devido ao desequilíbrio entre sinais de excitação e inibição transmitidos ao músculo esfíncter. A atetose pupilar, ou *hippus*, faz com que o diâmetro da pupila oscile constantemente cerca de 3%, independente de alteração na incidência luminosa, a uma frequência de aproximadamente 0,5 Hz (PAMPLONA; OLIVEIRA; BARANOSKI, 2009; DAUGMAN, 1999).

1.1.2.3. Reflexo consensual

O reflexo pupilar direto não é uma exclusividade do ser humano. A contração da pupila de um olho que sofre um aumento de iluminação ocorre em todos os vertebrados. No entanto, apenas em mamíferos com olhos frontais, como os primatas, observa-se também um reflexo pupilar consensual expressivo. Nestes animais, incluindo o homem, a pupila do olho oposto ao estimulado reage de maneira essencialmente igual à outra.

Assim, os reflexos direto e consensual fazem com que as pupilas de ambos os lados se comportem da mesma maneira, ainda que apenas uma delas tenha sido estimulada (FAN; YAO, 2011; GAMLIN; MCDUGAL, 2010).

1.2. PUPILOMETRIA

Por estar associada diretamente ao funcionamento do sistema nervoso autônomo, a resposta da pupila à luz pode fornecer informações sobre a condição de estruturas periféricas do sistema nervoso, bem como sobre a ação dos neurotransmissores

Projeto: MJ/SE-RIC	Emissão: 25/09/2014	Arquivo: 20140925 MJ RIC -RT Est de Tec de Ident Biométrica pela Íris e de Pupilometria Dinâmica	Pág.9/50
--------------------	---------------------	--	----------

Confidencial.

Este documento foi elaborado pela Universidade de Brasília (UnB) para a MJ/SE.

É vedada a cópia e a distribuição deste documento ou de suas partes sem o consentimento, por escrito, da MJ/SE.

acetilcolina e noradrenalina. Por essa razão, as características deste reflexo têm sido usadas no estudo de doenças como depressão, diabetes mellitus, alcoolismo, Alzheimer, entre outras (FERRARI, 2008; MEEKER et al, 2005; FOTIOU et al, 2000).

A pupilometria é uma técnica de avaliação do reflexo pupilar baseada na medição de características físicas da pupila, tais como raio e formato. O procedimento pode ser realizado por exame manual ou pelo uso de instrumentos chamados pupilômetros (FERRARI, 2008).

No caso do exame manual ou da utilização de pupilômetros estáticos, a observação da condição da pupila é feita em um ou mais instantes, mas não se avalia seu movimento. O órgão pode ser estimulado através da aplicação de soluções de medicamentos parassimpático-miméticos, como a metacolina e a pilocarpina, para contração, e de agentes midriáticos, como a tropicamida, a cocaína, a adrenalina, a fenilefrina ou a hidroxianfetamina, para dilatação.

O problema destes métodos farmacológicos é que, além de serem invasivos, não possuem uma norma sobre a estabilidade da solução usada e, além disso, podem apresentar diferentes ações dependendo da permeabilidade do epitélio ocular de cada pessoa (FOTIOU et al, 2000).

1.2.1. Pupilometria Dinâmica

Outra forma de fazer a avaliação do comportamento da pupila é através do registro de seu movimento durante seu reflexo à luz, técnica conhecida como pupilometria dinâmica. Este método, apesar de mais complexo e trabalhoso, possui a vantagem de não depender de soluções nem das condições do epitélio. Além disso, não é invasivo, e trabalha com um fenômeno natural do corpo humano (FOTIOU et al, 2000).

A operação de um sistema de pupilometria dinâmica consiste de quatro etapas principais (FERRARI, 2008; MEEKER et al, 2005; FOTIOU et al, 2000): acomodação, aquisição de imagens, estimulação da pupila e processamento das imagens.

Na primeira etapa, o indivíduo é mantido sob iluminação constante e controlada para estabilização da pupila. Para obter a condição de máxima dilatação (midríase), Fotiou et al (2000) e Ferrari (2008) mantêm, no período de 2 minutos, a ausência de luz visível. Fan et al (2009) utilizam a adaptação a níveis controlados de luminosidade ambiente.

A aquisição de imagens é feita através de uma câmera sensível à radiação infravermelha,

Projeto: MJ/SE-RIC	Emissão: 25/09/2014	Arquivo: 20140925 MJ RIC -RT Est de Tec de Ident Biométrica pela Íris e de Pupilometria Dinâmica	Pág.10/50
--------------------	---------------------	--	-----------

Confidencial.

Este documento foi elaborado pela Universidade de Brasília (UnB) para a MJ/SE.

É vedada a cópia e a distribuição deste documento ou de suas partes sem o consentimento, por escrito, da MJ/SE.

o que permite a captura mesmo na escuridão. No caso do uso de uma câmera analógica, o sinal é digitalizado para que o processamento possa ser realizado.

Após o início da captura na condição inicial, a pupila é estimulada através do disparo de um *flash* de luz branca, de duração e intensidade fixas. Fan et al (2009) utilizam estímulos com duração de 100 ms. Ferrari (2008) usa 10 ms de duração, enquanto Meeker et al (2005) realizam testes com *flash* de 800 ms. Fotiou et al (2000) sugerem que o período de estimulação seja extremamente curto, para evitar uma variação gradual e assimétrica durante a estabilização da fonte luminosa. Em seus experimentos, o estímulo usado é padronizado em 30 μ s.

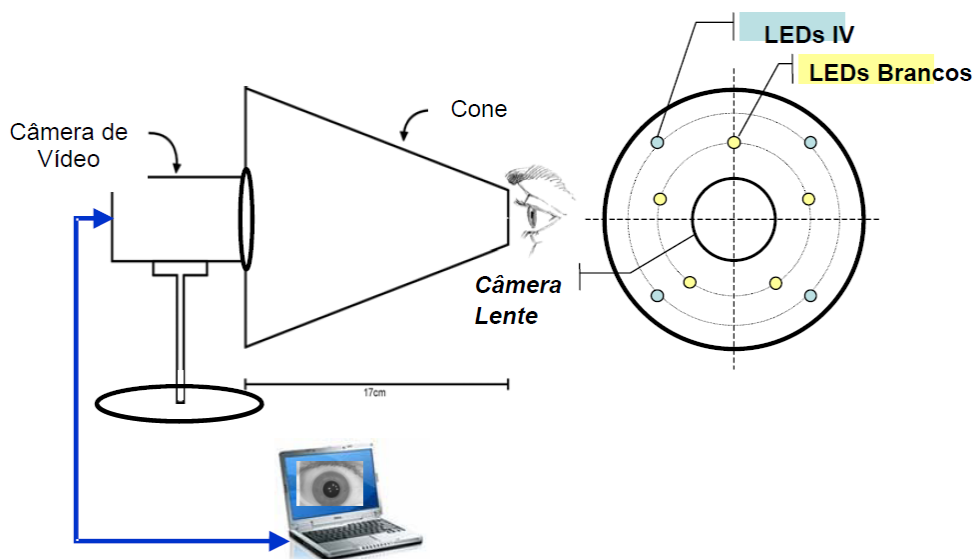


Figura 3 – Sistema de pupilometria proposto por Ferrari (2008)

Fonte: FERRARI, 2008.

A Figura 3 mostra o sistema de pupilometria proposto por Ferrari (2008). Um cone posicionado em frente à câmera bloqueia interferências luminosas externas. Ao redor da lente, LEDs infravermelhos e brancos são posicionados para iluminação e estimulação da pupila, respectivamente.

Após a captura das imagens, o vídeo é processado, quadro a quadro, para extrair características como o raio da pupila em cada instante de tempo. Por tratar do mesmo assunto, os procedimentos usados nessa etapa serão explicitados na Seção 2.5, quando apresentadas as técnicas de segmentação da íris para identificação biométrica.

Diversos tipos de valores podem ser extraídos de um sinal do reflexo pupilar. Características tipicamente utilizadas em sistemas pupilométricos incluem:

Projeto: MJ/SE-RIC	Emissão: 25/09/2014	Arquivo: 20140925 MJ RIC -RT Est de Tec de Ident Biométrica pela Íris e de Pupilometria Dinâmica	Pág.11/50
--------------------	---------------------	--	-----------

Confidencial.

- Tamanho inicial da pupila – raio pupilar antes do disparo do *flash*;
- Tamanho mínimo da pupila – raio no instante da máxima contração para o estímulo utilizado;
- Tempo para a máxima contração – duração desde o início do reflexo pupilar até a maior contração;
- Tempo de latência – período decorrido desde o disparo do *flash* até o início da contração;
- Tempo de recuperação – tempo de retorno do raio da pupila a um valor de referência (*plateau*).

A Figura 4 ilustra um típico sinal de pupilometria dinâmica e algumas das medidas que podem ser extraídas.

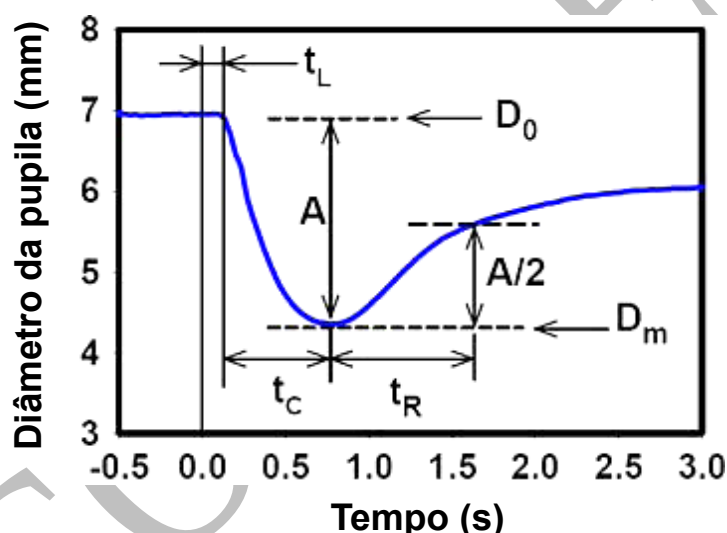


Figura 4 – Exemplos de parâmetros que podem ser extraídos de um sinal de pupilometria dinâmica: diâmetro inicial D_0 , diâmetro mínimo D_m , amplitude de contração A , tempo de latência t_L , tempo para máxima contração t_c e tempo de recuperação t_R

Fonte: adaptado de FAN et al, 2009.

Pode haver variações nos parâmetros utilizados. O tempo para máxima contração, por exemplo, pode ser considerado desde o início do reflexo (FAN et al, 2009) ou desde o disparo do estímulo luminoso (FERRARI, 2008). O tamanho da pupila pode ser mensurado através de seu raio ou diâmetro (FAN et al, 2009; MEEKER et al, 2005) ou pela área pupilar (HELLER et al, 1990). Há ainda a possibilidade de extrair as informações baseadas na razão entre os raios da pupila e da íris (FERRARI, 2008;

Projeto: MJ/SE-RIC	Emissão: 25/09/2014	Arquivo: 20140925 MJ RIC -RT Est de Tec de Ident Biométrica pela Íris e de Pupilometria Dinâmica	Pág.12/50
--------------------	---------------------	--	-----------

Confidencial.

FOTIOU et al, 2000), o que normaliza os valores em imagens de diferentes resoluções.

O valor de referência para o tempo de recuperação também não é padronizado. Ferrari (2008) e Fotiou et al (2000) utilizam um *plateau* de 75% do raio inicial, enquanto Fan et al (2009) consideram a metade da amplitude da contração.

As conclusões a respeito dos dados extraídos são obtidas a partir de estudos estatísticos, que apontam a relação entre os parâmetros e diferentes classes populacionais.

Além desta abordagem da pupilometria, que trabalha com características extraídas diretamente dos dados mensurados, há estudos que apresentam modelos matemáticos para a obtenção de outros tipos de dados a partir da forma da curva do reflexo pupilar (FAN; YAO, 2011; PAMPLONA; OLIVEIRA; BARANOSKI, 2009).

1.3. SISTEMAS BIOMÉTRICOS

Na área de biometria, há também alguns conceitos importantes que devem ser conhecidos, principalmente no que se refere a termos e tecnologias relacionadas aos sistemas de reconhecimento ou verificação automática.

É importante lembrar que o uso de características biométricas para identificação não é algo recente. De fato, identificar uma pessoa por seu rosto ou por sua voz é algo natural para o ser humano. Mesmo entre outros animais, características fisiológicas, como o odor, são usadas por instinto para distinção entre os indivíduos.

Artefatos arqueológicos mostram que desde a antiguidade já se conhecia a individualidade das impressões digitais (JAIN; BOLLE; PANKANTI, 1999). Os primeiros registros documentados do uso de um procedimento sistemático para identificação através da forma da mão e da impressão digital datam de meados do século XIX (NATIONAL SCIENCE AND TECHNOLOGY COUNCIL SUBCOMMITTEE ON BIOMETRICS, 2006).

No entanto, a história da identificação biométrica automatizada é recente. Sistemas biométricos parcialmente automáticos para reconhecimento facial, de impressão digital e de assinatura manuscrita começaram a ser desenvolvidos no final da década de 1960. Até então, profissionais especializados eram responsáveis por capturar, classificar e comparar as informações biométricas manualmente (NATIONAL SCIENCE AND TECHNOLOGY COUNCIL SUBCOMMITTEE ON BIOMETRICS, 2006). O uso da tecnologia não só agiliza e facilita o trabalho na biometria, como também evita falhas humanas e fraudes causadas

Projeto: MJ/SE-RIC	Emissão: 25/09/2014	Arquivo: 20140925 MJ RIC -RT Est de Tec de Ident Biométrica pela Íris e de Pupilometria Dinâmica	Pág.13/50
--------------------	---------------------	--	-----------

Confidencial.

Este documento foi elaborado pela Universidade de Brasília (UnB) para a MJ/SE.

É vedada a cópia e a distribuição deste documento ou de suas partes sem o consentimento, por escrito, da MJ/SE.

pelos próprios peritos.

Um sistema biométrico pode ser dividido em alguns processos principais (CHAVEZ, 2007; WAYMAN, 1999):

- Aquisição da amostra – através de um sensor, obtém-se uma representação, parcial ou completa, da parte do corpo ou traço comportamental da pessoa;
- Pré-processamento – caso necessário, as informações adquiridas são tratadas, pelo ajuste de dimensões, resolução, brilho, contraste, compressão e redução de ruídos, por exemplo;
- Extração de primitivas – as informações discriminantes da amostra adquirida são extraídas, selecionando um vetor de características, ou *template*, que é a assinatura biométrica do indivíduo naquele sistema;
- Armazenamento – no caso do cadastro, o *template* é armazenado em um banco de dados, que pode ser local ou remoto, associando-o a uma identidade pessoal;
- Comparação – no caso de reconhecimento ou autenticação, o vetor obtido é comparado a outro presente no banco de dados. Um algoritmo de reconhecimento de padrões atribui uma pontuação de correspondência, que indica o quão próximo uma amostra está da outra.
- Decisão – de acordo com um critério de classificação, a amostra é aceita ou rejeitada como pertencente à mesma pessoa cujos dados foram comparados.

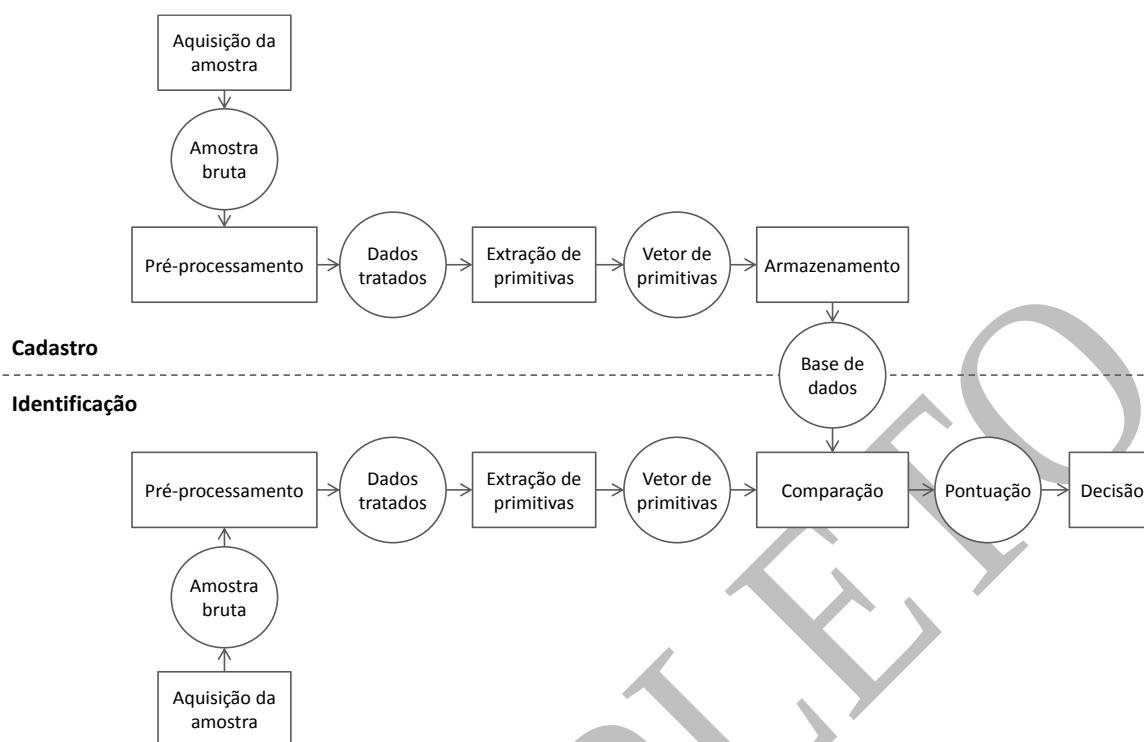


Figura 5 – Principais processos de um sistema de identificação biométrica

Fonte: elaborado pelo autor.

A Figura 5 ilustra estas etapas, tanto no caso do cadastro quanto na identificação. No caso de um sistema de autenticação, a comparação é feita uma única vez, confrontando os valores adquiridos com os correspondentes à identidade que a pessoa afirma possuir, e apresentando o resultado da decisão. Já em um sistema de reconhecimento, a última etapa é executada para cada amostra do banco de dados, apresentando a amostra aceita com maior grau de correspondência.

1.3.1. Classificação

O processo de comparação e decisão é realizado através de técnicas de reconhecimento de padrões, isto é, da classificação do vetor baseada em certos modelos, que tendem a se repetir em amostras de uma mesma categoria (DUDA; HART; STORK, 2001).

Por isso, as primitivas selecionadas para a formação do *template* devem ser representativas da característica biométrica utilizada, que, por sua vez deve ser capaz de discriminar uma pessoa. No reconhecimento de padrões, isto significa que os valores extraídos devem apresentar alta variabilidade interclasse, ou seja, grande variação entre

Projeto: MJ/SE-RIC	Emissão: 25/09/2014	Arquivo: 20140925 MJ RIC -RT Est de Tec de Ident Biométrica pela Iris e de Pupilometria Dinâmica	Pág.15/50
--------------------	---------------------	--	-----------

Confidencial.

Este documento foi elaborado pela Universidade de Brasília (UnB) para a MJ/SE.
É vedada a cópia e a distribuição deste documento ou de suas partes sem o consentimento, por escrito, da MJ/SE.

dados de diferentes indivíduos, e baixa variabilidade intraclasse, isto é, pouca variação entre diferentes amostras de uma mesma pessoa.

Em um sistema de verificação de identidade, a classificação busca semelhanças e diferenças entre o vetor sendo testado e o de referência, atribuindo uma pontuação, de acordo com o algoritmo utilizado, denominado classificador. A pontuação, ou *score*, pode estar associada a um grau de semelhança ou de dissimilaridade. Um limiar de decisão define se a amostra é aceita ou rejeitada.

1.3.2. Desempenho de um Sistema Biométrico

O desempenho de um sistema biométrico é medido através da taxa de erros, ou seja, de classificações incorretas. Esses erros costumam ser divididos em dois tipos: de falsa rejeição e de falsa aceitação (REID, 2004).

A Taxa de Falsa Aceitação (FAR - *False Acceptance Rate*) mede a proporção de pessoas autorizadas como possuidoras de identidades que não lhe pertencem em relação ao total de tentativas ilegítimas. Em outras palavras, está relacionada à possibilidade de um impostor “enganar” o sistema, sendo aceito quando não deveria.

Esta situação ocorre quando o limiar de decisão é alto, ou seja, quando se permite um alto índice de diferenças entre as primitivas comparadas, ou quando as características de um indivíduo são muito próximas de outro (REID, 2004).

De modo contrário, a Taxa de Falsa Rejeição (FRR - *False Rejection Rate*) indica a relação entre a quantidade de acessos legítimos que são negados e seu total de tentativas. Isto é, a falsa rejeição é uma negação incorreta que o sistema apresenta ao não confirmar a identidade de um usuário autêntico.

Isto acontece quando o limiar de decisão é baixo, ou seja, quando não se tolera uma variação muito baixa nas primitivas, ou quando as características de um indivíduo variam muito de uma aquisição para outra (REID, 2004).

À medida que se aumenta o limiar de decisão, a FAR tende a aumentar, enquanto a FRR diminui, como se pode observar na Figura 6, que mostra um gráfico das duas taxas em função do limiar. O ponto em que ambas as curvas se interceptam, ou seja, cujas taxas apresentam o mesmo valor é chamado Taxa de Erros Iguais (EER – *Equal Error Rate*).

O valor do limiar a ser usado pelo classificador depende do propósito do sistema. Se a aplicação exige um alto nível de segurança, o ideal é defini-lo de forma que a FAR seja

Projeto: MJ/SE-RIC	Emissão: 25/09/2014	Arquivo: 20140925 MJ RIC -RT Est de Tec de Ident Biométrica pela Iris e de Pupilometria Dinâmica	Pág.16/50
--------------------	---------------------	--	-----------

Confidencial.

Este documento foi elaborado pela Universidade de Brasília (UnB) para a MJ/SE.

É vedada a cópia e a distribuição deste documento ou de suas partes sem o consentimento, por escrito, da MJ/SE.

baixa, possivelmente zero. Por outro lado, se o nível de conveniência e conforto ao usuário for mais relevante, pode-se optar por manter a FRR baixa. A ERR é usada como medida geral de um sistema biométrico, podendo comparar dois sistemas distintos (REID, 2004). Quanto menor a EER, maior o potencial de identificação correta do sistema.

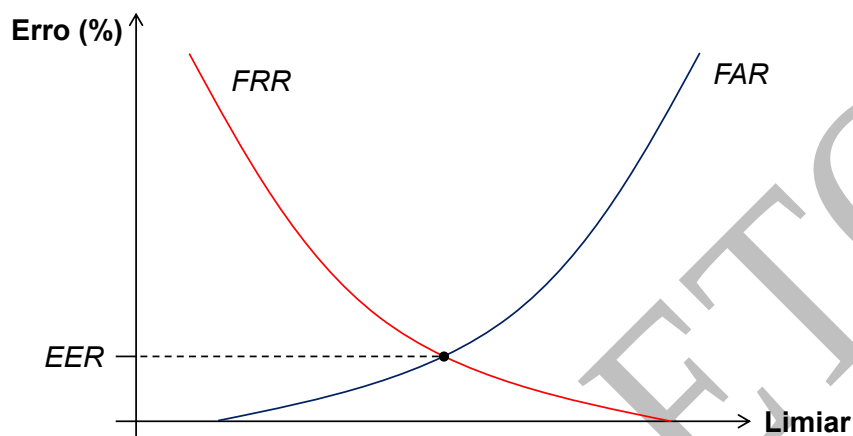


Figura 6 – FAR, FRR e EER

Fonte: elaborado pelo autor.

Além das curvas que relacionam as taxas de erros com o limiar de decisão, outro gráfico importante para avaliação de um sistema biométrico é a Característica de Operação do Receptor (ROC - *Receiver Operating Characteristic*), que relaciona as Taxas de Falsa Aceitação e de Falsa Rejeição (BROMBA, 2010).

A Figura 7 mostra o comportamento de uma curva ROC: quando a FAR é mínima, a FRR é máxima e vice-versa. Neste caso, a EER é a intersecção da curva com a bissetriz entre os eixos. Quanto mais próxima da origem do gráfico, melhor o desempenho do sistema.

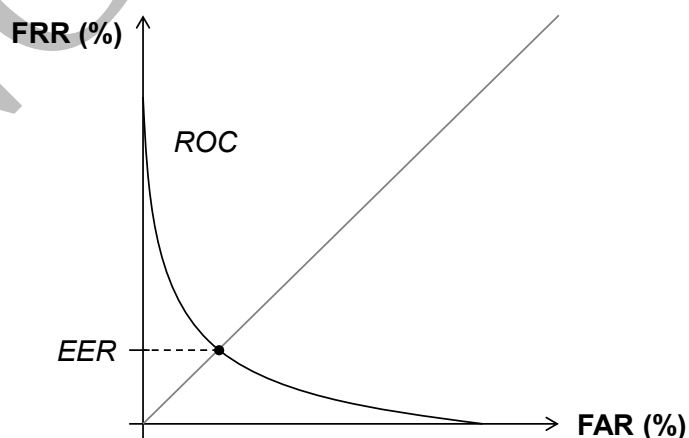


Figura 7 – *Receiver Operating Characteristic* (ROC)

Fonte: elaborado pelo autor.

1.3.3. Características Biométricas

Cada processo de um sistema biométrico depende da característica usada que, como já citado, apresenta vantagens e desvantagens, de acordo com a aplicação. De forma geral, para avaliar o quanto uma característica pode ser eficaz para identificação, utilizam-se alguns critérios desejáveis (CLARKE, 1994):

- Universalidade – todas as pessoas devem possuir a característica;
- Singularidade – em cada pessoa a característica deve ser única, quaisquer duas pessoas não podem ser iguais nesta característica;
- Permanência – a característica não deve ser afetada com o tempo;
- Mensurabilidade – a característica deve poder ser coletada facilmente por qualquer pessoa em qualquer local.

Na prática, outros fatores importantes que também devem ser considerados são (PIKE, 2011):

- Desempenho – relacionado à precisão, aos recursos necessários e à velocidade da tecnologia usada para a coleta;
- Aceitabilidade – a aprovação das pessoas em geral para o uso da característica, normalmente relacionada com questões de privacidade, higiene e conforto;
- Evasão – a facilidade de o sistema ser burlado usando técnicas fraudulentas. Quanto menor a possibilidade de evasão, mais eficaz o sistema.

Alguns dos principais tipos de biometria são: face, impressão digital, geometria da mão, assinatura manuscrita, voz, íris, retina, veias da mão, orelha, dinâmica da digitação, modo de caminhar, odor e DNA – ácido desoxirribonucleico (JAIN; BOLLE; PANKANTI, 1999).

2. IDENTIFICAÇÃO PELA ÍRIS

A utilização dos padrões da íris para identificação pessoal foi proposta pela primeira vez pelo oftalmologista Frank Burch, em 1936. No entanto, até a metade da década de 1980, pouco se avançou nesta linha de pesquisa.

Em 1987, outros dois oftalmologistas, Aran Safir e Leonard Flom, patentearam o conceito de que não há duas íris iguais. Em seguida, solicitaram a John Daugman o desenvolvimento de um algoritmo computacional capaz de realizar a identificação automática de pessoas através do padrão da íris (SRIDHARAN, 2008).

A textura da íris humana é determinada por eventos morfogenéticos aleatórios ocorridos durante o desenvolvimento embrionário, o que resulta em uma enorme variação interclasse. Por ser protegida pela córnea, sua forma e padrão visual não tendem a se alterar com o passar dos anos. Sua geometria quase plana permite pouca variação durante a aquisição de amostras de imagens de uma mesma pessoa.

Jain, Bolle e Pankanti (1999) classificam a biometria por íris como de alta universalidade, singularidade e permanência, e média mensurabilidade, devido à dificuldade de obtenção de uma imagem de boa qualidade, considerando aspectos como posição, contraste, foco e obstruções de pálpebras e cílios, principalmente devido a seu tamanho reduzido.

2.1. MÉTODO DE DAUGMAN

O primeiro método automático de identificação pela íris foi proposto por John Daugman em 1993. Desde então, foi patenteado e aperfeiçoado ao longo dos anos. Hoje, a maioria dos dispositivos comerciais que utilizam esta tecnologia de reconhecimento tem como base seu algoritmo, incluindo os usados nas fronteiras de vários países (DAUGMAN, 2004).

O sistema de captura de imagens da íris proposto por Daugman (2004) utiliza uma câmera CCD monocromática sensível à iluminação próxima do infravermelho, na faixa espectral de 700 nm a 900 nm. Esse tipo de luz deve ser usado durante a aquisição para que não seja intrusiva à pessoa. A resolução da imagem deve permitir amostrar uma íris com pelo menos 70 pixels de raio. Durante a aquisição, o foco da câmera pode ser ajustado através da maximização das médias e altas frequências da transformada bidimensional de Fourier da imagem.

Projeto: MJ/SE-RIC	Emissão: 25/09/2014	Arquivo: 20140925 MJ RIC -RT Est de Tec de Ident Biométrica pela Íris e de Pupilometria Dinâmica	Pág.19/50
--------------------	---------------------	--	-----------

Confidencial.

Este documento foi elaborado pela Universidade de Brasília (UnB) para a MJ/SE.

É vedada a cópia e a distribuição deste documento ou de suas partes sem o consentimento, por escrito, da MJ/SE.

A etapa de pré-processamento consiste na determinação da região de interesse, neste caso através da localização dos limites interno e externo da íris. Considerando tanto a íris quanto a pupila circulares, Daugman (2004) criou um operador íntegro-diferencial para a determinação de seus centros e raios:

$$\max_{(r, x_0, y_0)} \left| G_{\sigma}(r) * \frac{\partial}{\partial r} \oint_{r, x_0, y_0} \frac{I(x, y)}{2\pi r} ds \right| \quad (1)$$

Na Equação 1, $I(x, y)$ representa a intensidade de cinza de um pixel localizado nas posições horizontal x e vertical y . A partir de uma integral de linha ao longo de um caminho circular ds de raio r e coordenadas de centro (x_0, y_0) , o operador busca os parâmetros (r, x_0, y_0) que resultam na máxima derivada parcial suavizada pela variação do raio r . O símbolo $*$ representa a convolução desta com uma função de suavização $G_{\sigma}(r)$, um filtro gaussiano dado pela Equação 2. O parâmetro de escala σ está relacionado à dimensão do filtro.

$$G_{\sigma}(r) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(r-r_0)^2}{2\sigma^2}} \quad (2)$$

O operador íntegro-diferencial é usado inicialmente para localizar a pupila e, a partir do raio desta, encontrar o contorno externo da íris. A escala de suavização é iterativamente reduzida até obter uma localização precisa.

Após isso, o caminho de integração ds é alterado para arcos, utilizando parâmetros determinados por métodos estatísticos para determinar os limites das pálpebras. Daugman (2004) considera inadequadas imagens com menos de 50% da área da íris visível.

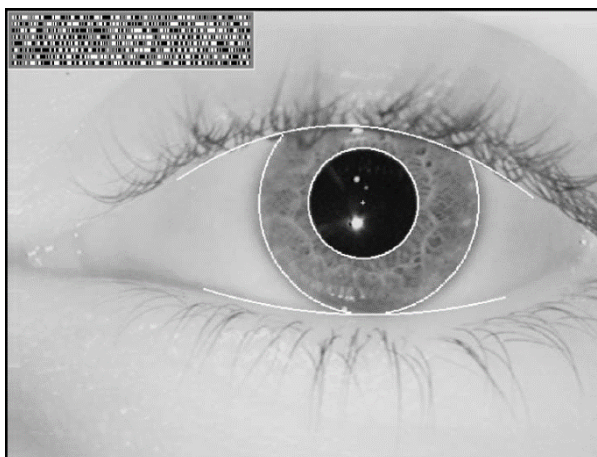


Figura 8 – Íris segmentada e codificada pelo método de Daugman

Fonte: DAUGMAN, 2004.

Após a etapa de segmentação, as características da íris são codificadas por suas informações de fase, usando filtros Gabor 2D (DAUGMAN, 2003). Esta função utiliza uma transformada de *wavelet* em duas dimensões para extrair informações de amplitude e fase a partir de uma imagem no domínio espacial.

Nas Equações 3, 4 e 5, $I(\rho, \phi)$ representa a imagem no sistema de coordenadas polares, o que torna o processo de codificação independente da posição e das escalas da íris e da pupila na imagem; α e β são parâmetros de escala e variam conforme as dimensões da parte filtrada, como ilustrado na Figura 9; e ω é a frequência da *wavelet* ψ .

$$\psi_{\alpha, \beta}(\rho, \phi) = e^{-(\rho_0 - \rho)^2 / \alpha^2} e^{-(\theta_0 - \phi)^2 / \beta^2} e^{-i\omega(\theta_0 - \phi)} \quad (3)$$

$$W(\alpha, \beta) = \int_{\rho} \int_{\phi} \psi_{\alpha, \beta}(\rho, \phi) \cdot I(\rho, \phi) \rho d\rho d\phi \quad (4)$$

$$z_{\{\text{Re}, \text{Im}\}} = \text{sgn}_{\{\text{Re}, \text{Im}\}}[W(\alpha, \beta)] \quad (5)$$

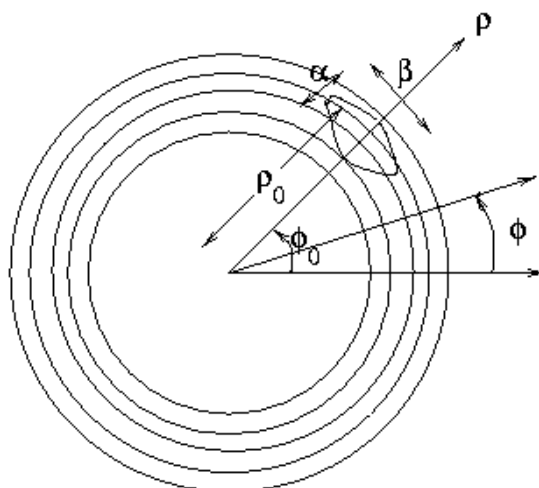


Figura 9 – Parâmetros de posição e dimensão do filtro Gabor 2D

Fonte: SHAPIRO; STOCKMAN, 2001.

A íris é dividida em 1024 partes, de coordenadas (ρ_0, ϕ_0) . A aplicação da transformada Gabor (Equação 4) em cada parte resulta em um valor complexo W , o que permite descrever a estrutura da imagem em termos de amplitude e ângulo de fase.

Cada fasor resultante é codificado em dois bits, conforme a Equação 5. O primeiro bit representa a parte real e o segundo a parte imaginária. O bit é 1 se a respectiva parte é positiva, e 0 se negativa. A Figura 10 mostra a representação do par de bits de acordo com o quadrante sobre o qual o fasor se localiza.

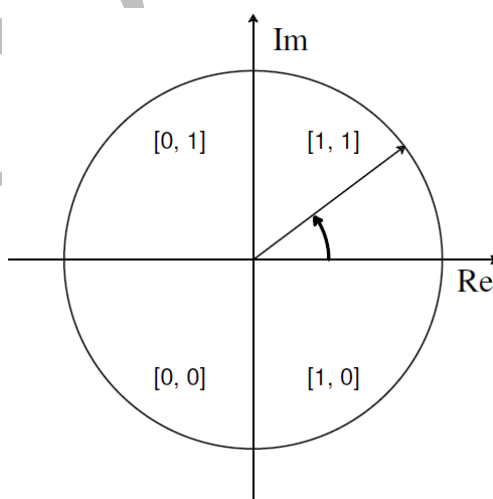


Figura 10 – Codificação por demodulação de fase usando *wavelets* Gabor 2D

Fonte: adaptado de DAUGMAN, 1999.

Além da codificação em um vetor de 2048 bits, denominada *IrisCode*, uma imagem de íris

Projeto: MJ/SE-RIC	Emissão: 25/09/2014	Arquivo: 20140925 MJ RIC -RT Est de Tec de Ident Biométrica pela Íris e de Pupilometria Dinâmica	Pág.22/50
--------------------	---------------------	--	-----------

Confidencial.

Este documento foi elaborado pela Universidade de Brasília (UnB) para a MJ/SE.

É vedada a cópia e a distribuição deste documento ou de suas partes sem o consentimento, por escrito, da MJ/SE.

também é representada por outro vetor binário chamado máscara. Este segundo código diferencia os bits da *IrisCode* que realmente estão relacionados a partes da textura da íris (1) daqueles corrompidos por obstruções de pálpebras, cílios, brilhos e reflexos (0).

A comparação é feita através da distância de Hamming normalizada *HD*, calculada através da Equação 6:

$$HD = \frac{\|(codeA \oplus codeB) \cap maskA \cap maskB\|}{\|maskA \cap maskB\|} \quad (6)$$

As diferenças entre os códigos de duas íris, *codeA* e *codeB*, são computadas através de uma operação booleana XOR. Uma operação AND com ambas as máscaras *maskA* e *maskB* descarta aquelas que não indicam diferenças entre informações de textura da íris. A quantidade de bits diferentes é dividida pela quantidade total de bits válidos simultaneamente entre as duas amostras, resultando em um valor entre 0 e 1, respectivamente nos casos de coincidência e discrepância total.

Usando uma base de dados composta por 632.500 diferentes íris, pertencentes a pessoas de 152 nacionalidades, capturadas nos postos de imigração dos Emirados Árabes Unidos desde 2001, Daugman (2006) demonstrou que a distribuição das distâncias de Hamming normalizadas se aproxima de uma binomial de média próxima de 50%, como pode ser observado na Figura 11. Isto porque, *a priori*, os valores 0 e 1 de cada bit da *IrisCode* são equiprováveis e, portanto, a probabilidade de qualquer par de bits ser igual é de 0,5.

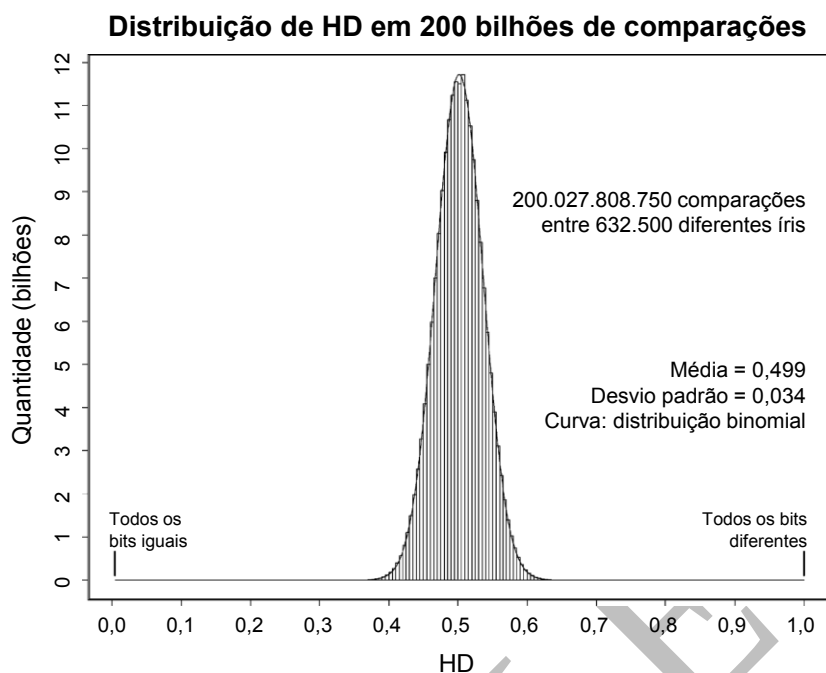


Figura 11 – Distribuição das distâncias de Hamming normalizadas

Fonte: adaptado de DAUGMAN, 2006.

Outro teste, realizado pela British Telecom Labs (DAUGMAN, 1999), mostra que, entre comparações de diferentes amostras da mesma íris, a distribuição das distâncias de Hamming normalizadas apresenta média 0,089. A taxa de erros iguais ocorre quando o limiar de decisão por essa distância está em 0,342, como pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1 – Taxas de erro pelo método de Daugman

Limiar de decisão	Taxa de falsa aceitação	Taxa de falsa rejeição
0,28	1 em 10^{12}	1 em 11.400
0,29	1 em 10^{11}	1 em 22.700
0,30	1 em 6,2 bilhões	1 em 46.000
0,31	1 em 665 milhões	1 em 95.000
0,32	1 em 81 milhões	1 em 201.000
0,33	1 em 11,1 milhões	1 em 433.000

0,34	1 em 1,7 milhões	1 em 950.000
0,342	1 em 1,2 milhões	1 em 1,2 milhões
0,35	1 em 295.000	1 em 2,12 milhões
0,36	1 em 57.000	1 em 4,84 milhões
0,37	1 em 12.300	1 em 11,3 milhões

Fonte: DAUGMAN, 1999.

A Figura 12 mostra as distribuições das distâncias de Hamming normalizadas tanto para comparações entre pares de amostras da mesma íris, como para íris distintas.

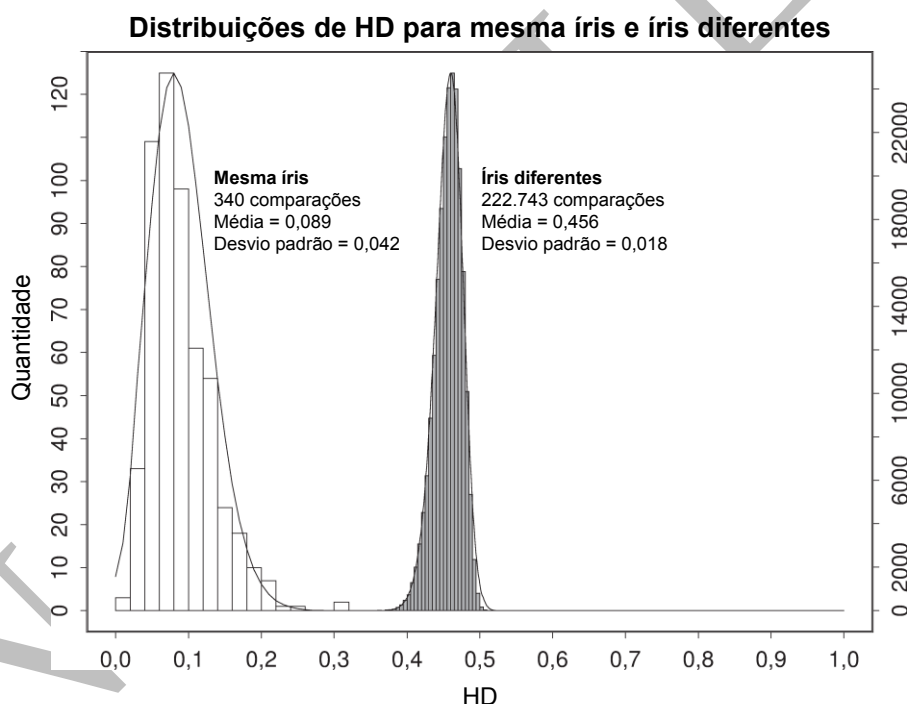


Figura 12 – Distribuições para amostras da mesma íris e íris distintas

Fonte: adaptado de DAUGMAN, 1999.

2.2. MÉTODO DE WILDES

Outro sistema de identificação pela íris, também patenteado, é proposto por Wildes et al (1994). Este difere daquele de Daugman (2004) pelo método de execução de cada etapa.

Projeto: MJ/SE-RIC	Emissão: 25/09/2014	Arquivo: 20140925 MJ RIC -RT Est de Tec de Ident Biométrica pela Íris e de Pupilometria Dinâmica	Pág.25/50
--------------------	---------------------	--	-----------

Confidencial.

Este documento foi elaborado pela Universidade de Brasília (UnB) para a MJ/SE.
É vedada a cópia e a distribuição deste documento ou de suas partes sem o consentimento, por escrito, da MJ/SE.

O sistema de aquisição de imagens deste utiliza iluminação difusa e polarizada e uma câmera monocromática sensível a baixos níveis de luz, introduzindo algumas melhorias. Polarizadores circulares são ajustados de forma correspondente sobre a fonte luminosa e sobre a lente da câmera, conforme mostrado na Figura 13, para eliminar reflexos especulares da fonte de luz sobre o olho.

Os raios luminosos que atravessam o polarizador circular possuem um único sentido de rotação. Ao refletir especularmente sobre uma superfície, como a córnea, o sentido é invertido e, conseqüentemente, bloqueado pelo filtro da lente da câmera. Já na reflexão difusa, que ocorre na íris, por exemplo, os raios se espalham, atravessando o filtro da câmera.

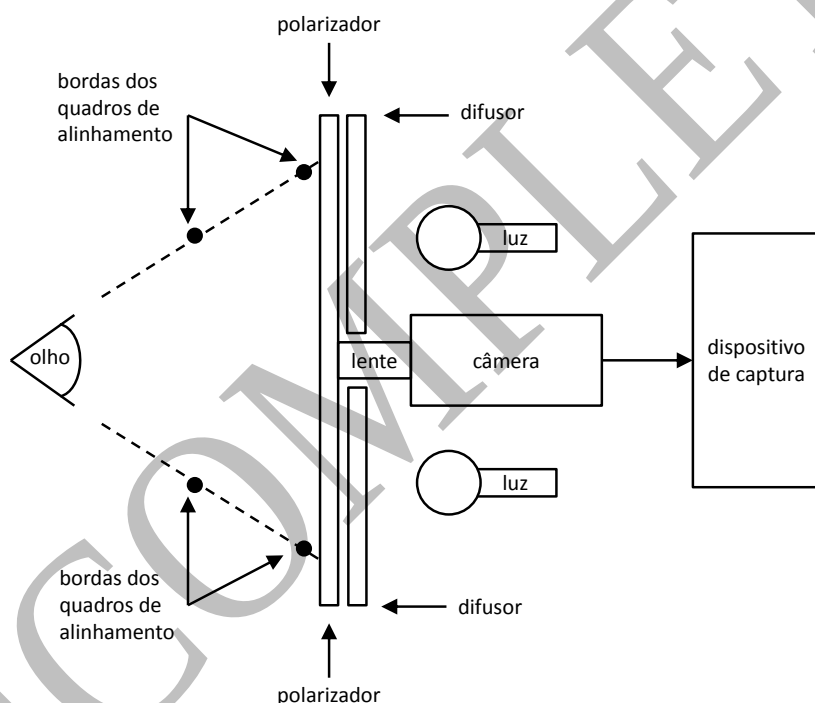


Figura 13 – Sistema de aquisição de imagens proposto por Wildes

Fonte: adaptado de WILDES, 1997.

Outra diferença apresentada no sistema de Wildes et al (1994) é a forma de posicionamento adequado do olho em relação à câmera. Dois contornos quadrados de diferentes dimensões são centralizados em frente à lente. Um destes quadros de alinhamento, de menor perímetro, porém de mesma proporção, é posicionado um pouco mais à frente do outro. Os tamanhos e posições relativos destes quadros são selecionados de forma que, ao posicionar corretamente o olho em relação à câmera,

Projeto: MJ/SE-RIC	Emissão: 25/09/2014	Arquivo: 20140925 MJ RIC -RT Est de Tec de Ident Biométrica pela Íris e de Pupilometria Dinâmica	Pág.26/50
--------------------	---------------------	--	-----------

Confidencial.

Este documento foi elaborado pela Universidade de Brasília (UnB) para a MJ/SE.
É vedada a cópia e a distribuição deste documento ou de suas partes sem o consentimento, por escrito, da MJ/SE.

ambos se sobreponham e o usuário tenha a visão de apenas um contorno.

Após a aquisição da imagem da íris, sua exata localização é determinada por técnicas de visão computacional. Primeiro, a imagem é convertida em um mapa de bordas binário através de um processo de detecção de bordas baseado em gradiente:

$$J(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{se } |\nabla G_{\sigma}(x, y) * I(x, y)| > l \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (7)$$

$$G_{\sigma}(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2}{2\sigma^2}} \quad (8)$$

Na Equação 7, $I(x, y)$ é a intensidade de cinza da imagem na posição (x, y) . O símbolo ∇ representa o gradiente discreto, implementado por um operador matricial, como Prewitt ou Sobel (BALLARD; BROWN, 1982; GONZALEZ; WOODS, 2001), e aplicado sobre o resultado da convolução da imagem com um filtro gaussiano bidimensional $G_{\sigma}(x, y)$ de escala σ e centro (x_0, y_0) , dado pela Equação 8, que tem por objetivo suavizar a imagem selecionando a escala espacial das bordas a serem detectadas. $J(x, y)$ é a imagem resultante do processo de detecção de bordas, dada pela binarização da magnitude do gradiente através de um limiar l . O valor 1 indica que o pixel (x, y) correspondente pertence a uma borda.

Após a detecção das bordas da imagem, aplica-se a transformada de Hough para circunferências (DUDA; HART, 1972) para determinar os parâmetros circulares da íris e da pupila. Esta técnica se baseia no ajuste de curvas sobre a imagem e na votação daquelas que mais se aproximam das bordas encontradas. Para este caso, sejam (x_j, y_j) , $j = 1, \dots, n$ todos os pontos de $J(x, y)$ que possuem valor 1. A transformada Hough é definida pelas Equações 9, 10 e 11:

$$H(x_c, y_c, r) = \sum_{j=1}^n \lambda(x_j, y_j, x_c, y_c, r) \quad (9)$$

$$\lambda(x_j, y_j, x_c, y_c, r) = \begin{cases} 1, & \text{se } g(x_j, y_j, x_c, y_c, r) = 0 \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (10)$$

$$g(x_j, y_j, x_c, y_c, r) = (x_j - x_c)^2 + (y_j - y_c)^2 - r^2 \quad (11)$$

Projeto: MJ/SE-RIC	Emissão: 25/09/2014	Arquivo: 20140925 MJ RIC -RT Est de Tec de Ident Biométrica pela Íris e de Pupilometria Dinâmica	Pág.27/50
--------------------	---------------------	--	-----------

Confidencial.

Este documento foi elaborado pela Universidade de Brasília (UnB) para a MJ/SE.
É vedada a cópia e a distribuição deste documento ou de suas partes sem o consentimento, por escrito, da MJ/SE.

A função $\lambda(x_j, y_j, x_c, y_c, r)$ representa um voto de um ponto j para os parâmetros de uma circunferência de centro (x_c, y_c) e raio r . Dessa forma, os conjuntos de (x_c, y_c, r) que apresentam valores máximos da função H representam os contornos de interesse. Assim como no método de Daugman (2004), os contornos de pálpebras são modelados por arcos para descartar partes obstruídas da íris. Neste caso, a função $g(x_j, y_j, x_c, y_c, r)$ é alterada para parametrizar parábolas ao invés de círculos.

A Figura 14 mostra um exemplo de imagem capturada pelo sistema de Wildes et al (1994) e o resultado ilustrativo da etapa de segmentação.

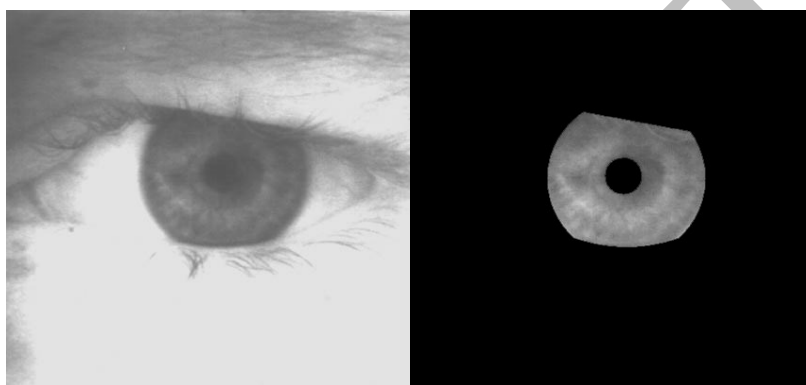


Figura 14 – Íris capturada pelo método de Wildes et al (1994) e textura segmentada
Fonte: adaptado de WILDES, 1997.

Antes da extração de primitivas para comparação, a íris é alinhada através de uma técnica chamada registro de imagem para compensar variações de posicionamento, escala e rotação. A imagem adquirida I_a é transformada através de uma função de mapeamento $(u(x, y), v(x, y))$ para que as diferenças em relação à imagem do banco de dados a ser comparada I_d sejam mínimas. As funções u e v são funções de dimensionamento e rotação cujos parâmetros são iterativamente otimizados para minimizar S na Equação 12:

$$S = \iint_{x,y} (I_d(x, y) - I_a(x - u, y - v))^2 dx dy \quad (12)$$

Como a textura da íris apresenta características discriminantes em diferentes níveis de escalas, a codificação é realizada pela aplicação de filtros isotrópicos passa-faixa multiescalares. A informação usada para comparação é uma representação da íris na forma de uma pirâmide Laplaciana de quatro níveis (JÄHNE, 2005).

Projeto: MJ/SE-RIC	Emissão: 25/09/2014	Arquivo: 20140925 MJ RIC -RT Est de Tec de Ident Biométrica pela Íris e de Pupilometria Dinâmica	Pág.28/50
--------------------	---------------------	--	-----------

Confidencial.

A partir da imagem da íris I_0 , tomada como base de uma pirâmide Gaussiana (JÄHNE, 2005), obtêm-se os demais níveis I_1 , I_2 , I_3 pela aplicação sucessiva de uma máscara de filtragem F e subamostragem da imagem por um fator 2, conforme a Equação 13:

$$I_k = (F * I_{k-1})_{\downarrow 2} \quad (13)$$

Cada nível da pirâmide Laplaciana L_k representa a diferença entre o correspondente I_k e seu nível posterior reamostrado por um fator 2 e interpolado. A reamostragem é executada através da inserção de uma linha e uma coluna de zeros entre cada linha e coluna da imagem original, e a interpolação é realizada pela aplicação da máscara de filtragem F multiplicada por um fator 4 (Equação 14):

$$L_k = I_k - 4F * (I_{k+1})_{\uparrow 2} \quad (14)$$

O conjunto dos quatro níveis forma uma representação das características mais significativas em diferentes faixas de frequência espacial. A comparação entre uma íris adquirida e uma pertencente à base de dados é feita pela correlação normalizada entre elas. Para cada nível da pirâmide Laplaciana, calcula-se a correlação entre as imagens para blocos quadrados de 8 pixels de lado. A mediana dos valores encontrados determina a correspondência entre as imagens.

Usando uma base de dados composta por 60 imagens de íris correspondentes a 40 pessoas, Wildes et al (1996) realizaram 100 comparações entre pares de imagens de uma mesma íris e 420 comparações entre diferentes indivíduos. Todos os casos foram corretamente classificados, resultando em 0% FAR e 0% FRR. No entanto, os próprios autores alertam que a baixa quantidade de amostras pode não ser suficientemente representativa para garantir o desempenho do método.

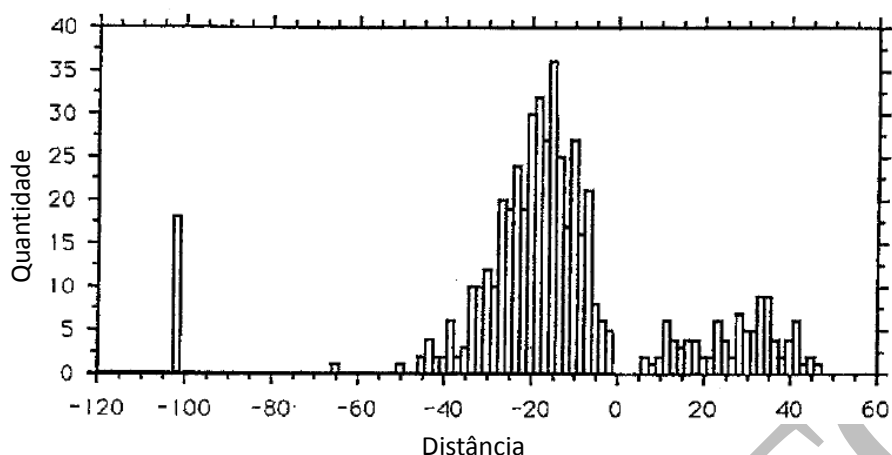


Figura 15 – Distribuição das distâncias nos experimentos de Wildes et al (1996). Foram verificadas 100 aceitações e 420 rejeições corretas, nenhum erro de classificação

Fonte: adaptado de WILDES et al (1996).

2.3. MÉTODO DE BOLES

Outra abordagem para o reconhecimento da íris é proposta por Boles (1998). O autor não determina uma forma específica de aquisição e pré-processamento da imagem, partindo de dados de centro e raio da íris previamente encontrados por algum processo de detecção de bordas.

A técnica usada para extração de características permite representar a íris por sinais unidimensionais, chamados de assinatura da íris. Estes sinais são formados pelos níveis de intensidade de cinza dos pixels pertencentes ao contorno de círculos concêntricos à pupila.

A Figura 16 mostra a localização de um destes círculos e um sinal extraído de uma íris. O uso da posição relativa à pupila torna o método invariante a variações no posicionamento do olho na imagem.

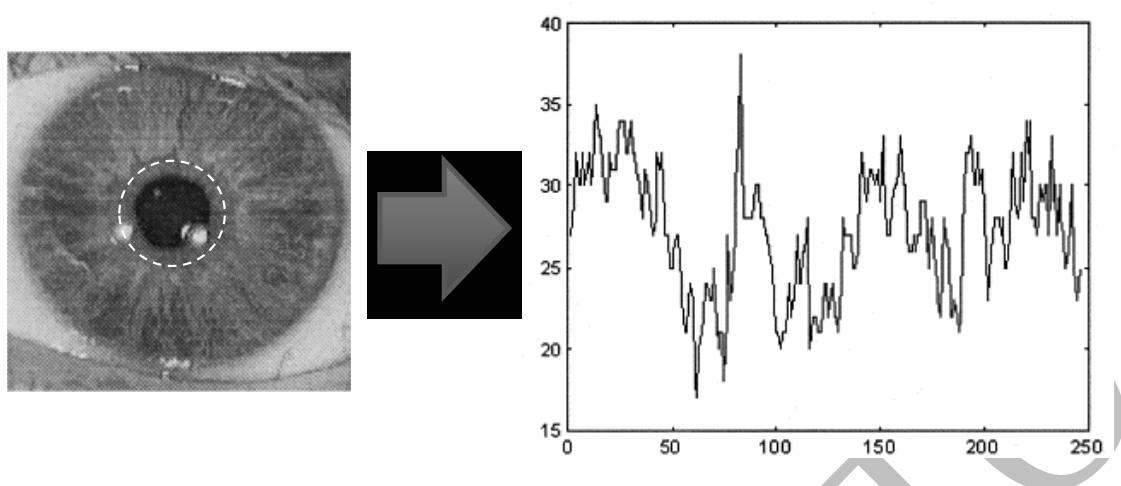


Figura 16 – Circunferência usada para extração da assinatura da íris

Fonte: adaptado de BOLES, 1998.

Para que o método seja robusto também à mudança de resolução, antes de se realizar uma comparação entre duas imagens, determina-se a razão Γ entre os raios das íris de ambas. Esta relação é usada na escolha dos raios relativos dos círculos, para que sejam semelhantes em todos os casos.

O número de pontos da circunferência, cujas intensidades compõem a assinatura da íris, é normalizado por um valor N , que deve ser uma potência de dois para que a informação da assinatura possa ser extraída através de uma transformada *wavelet* diádica (MALLAT, 1991). Nos experimentos realizados pelo autor, foi estabelecido $N = 256$ (BOLES, 1998).

A transformada diádica consiste na aplicação sequencial de uma *wavelet* com escalas de potências de dois sucessivas:

$$W_{2^j} f(x) = f * \psi_{2^j}(x) \quad (15)$$

A Equação 15 representa a transformada diádica de escala 2^j da função $f(x)$, onde j é um número inteiro e ψ é a função *wavelet*, no caso, dada pela primeira derivada de um *spline* cúbico (BOLES, 1998; MALLAT; ZHONG, 1992).

Dessa maneira, esta operação decompõe a assinatura da íris em sinais de diferentes níveis de resolução. A energia de cada um corresponde à quantidade de energia do sinal original distribuída em cada faixa de frequência.

Para $N = 256$, são amostrados oito níveis de resolução. Os primeiros níveis representam as componentes de alta frequência, normalmente muito afetados por ruídos. Descartando essas informações, o sistema se torna menos sensível a tais interferências. O último

nível, que traz as informações de mais baixa frequência, é quase constante, pois todas as íris possuem uma forma muito próxima de um círculo. Boles (1998) considera suficiente o uso dos níveis 4 a 6 neste caso.

O fato de se trabalhar com a transformada *wavelet* em um domínio discreto gera uma dificuldade. A operação é realizada através de uma amostragem uniforme, o que não permite obter primitivas do sinal que se desloquem no caso de um deslocamento do sinal. Por isso, Boles (1998) propõe o uso de uma representação denominada cruzamentos por zero (MALLAT, 1991).

Para isso, determinam-se todas as posições z_i em que ocorre inversão de sinal em cada transformada $W_{2^j}f(x)$. Em seguida, calcula-se a energia presente entre cada par consecutivo de cruzamentos por zero:

$$e_n = \int_{z_{n-1}}^{z_n} W_{2^j}f(x)dx \quad (16)$$

Na representação unidimensional de cruzamentos por zero, o valor entre cada um desses pares é constante, e mantém a mesma energia entre esses pontos:

$$Z_j f(x) = \frac{e_n}{z_n - z_{n-1}}, \forall x \in [z_{n-1}, z_n] \quad (17)$$

Na Figura 17 é possível observar como as diferenças de energia aparecem na representação de cruzamentos por zero.

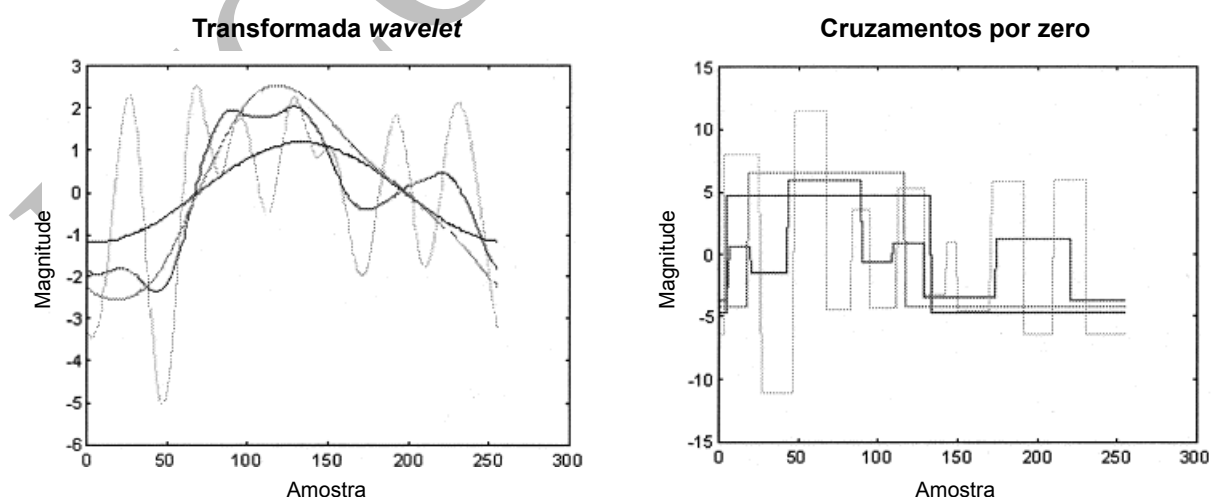


Figura 17 – Representações da transformada *wavelet* e de cruzamentos por zero para os quatro níveis mais baixos de resolução de uma assinatura de íris

Projeto: MJ/SE-RIC	Emissão: 25/09/2014	Arquivo: 20140925 MJ RIC -RT Est de Tec de Ident Biométrica pela Íris e de Pupilometria Dinâmica	Pág.32/50
--------------------	---------------------	--	-----------

Confidencial.

Este documento foi elaborado pela Universidade de Brasília (UnB) para a MJ/SE.

É vedada a cópia e a distribuição deste documento ou de suas partes sem o consentimento, por escrito, da MJ/SE.

Fonte: adaptado de BOLES, 1998.

Para a comparação entre duas íris, usa-se uma função que mede o grau de dissimilaridade entre os sinais. Boles (1998) propõe quatro alternativas que podem ser usadas nesta etapa, sendo aplicada em seus experimentos a Equação 18:

$$d_j(f, g) = \min_s \sum_{n=1}^N |Z_j f(x) - \Gamma Z_j g(x + s)|^2, s \in [0, N - 1] \quad (18)$$

Nesta equação, Γ é o fator de escala usado para normalizar as dimensões das íris comparadas e s é uma constante de translação, que pode ser usada para alinhar o ângulo de rotação das imagens. A dissimilaridade total é dada pela média do resultado da função em todas as resoluções j .

Embora proponha um método bastante completo, Boles (1998) não apresenta resultados conclusivos em seu trabalho. Seus experimentos limitam-se ao uso de dois pares de imagens, cada um correspondente a amostras de uma íris. A baixa quantidade de testes não permite a estimação de algum valor de erro que possa ser comparado a outros sistemas.

2.4. OUTROS MÉTODOS

Além dos métodos citados, outros trabalhos são encontrados na literatura científica, introduzindo algumas melhorias.

Lim et al (2001) sugerem o uso de iluminação ambiente lateral para reduzir o efeito de reflexos na aquisição de imagens. A determinação dos parâmetros circulares da íris segue um método próprio, que será discutido posteriormente. Os autores também propõem a normalização da íris pela projeção de sua área anular em um bloco de textura retangular (Figura 18), reduzindo distorções e simplificando o processamento posterior.

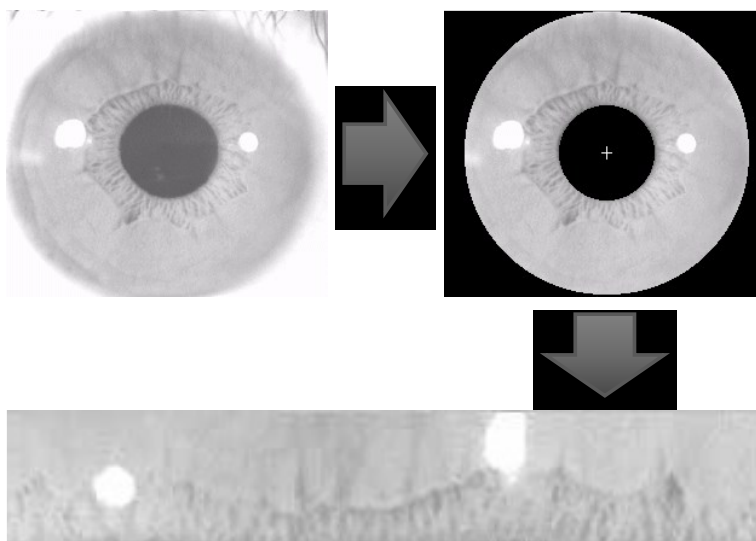


Figura 18 – Localização de normalização da textura da íris

Fonte: adaptado de LIM et al (2001).

A codificação é feita pela transformada Haar 2D, que divide a imagem em quatro componentes: passa-baixa bidimensional; passa-alta vertical e passa-baixa horizontal; passa-baixa vertical e passa-alta horizontal; e passa-alta bidimensional. Esta operação é realizada quatro vezes sobre a textura, e as primitivas são extraídas das componentes passa-alta bidimensional da última etapa e das médias das outras três etapas. A classificação é feita por redes neurais artificiais. Nos testes realizados pelos autores com dados de 200 indivíduos, os melhores resultados experimentais foram de 1,65% de falsa rejeição e 2,90% de falsa aceitação.

Sanchez-Avila e Sanchez-Reillo (2002) sugerem o aprimoramento do método de Boles (1998) pelo uso de outras formas de medida de correspondência, como a distância euclidiana e a distância de Hamming. Em experimentos realizados com uma base de dados própria, composta por 200 imagens de 20 olhos diferentes, os autores conseguiram, no melhor caso, uma EER de 0,21%.

Ma et al (2004) apresentam um método de localização da íris semelhante ao proposto por Wildes et al (1994), porém mais rápido por determinar previamente uma região da imagem onde ela se localiza. A íris é então normalizada, como proposto por Lim et al (2001), e codificada através de *wavelets* diádicas, de maneira similar à proposta por Boles (1998), mas concatenando várias linhas de textura e a representando por um vetor binário cujos valores correspondem ao sinal da transformada. Por fim, a comparação é inspirada no método de Daugman (1994), usando a operação booleana XOR para encontrar as

Projeto: MJ/SE-RIC	Emissão: 25/09/2014	Arquivo: 20140925 MJ RIC -RT Est de Tec de Ident Biométrica pela Íris e de Pupilometria Dinâmica	Pág.34/50
--------------------	---------------------	--	-----------

Confidencial.

Este documento foi elaborado pela Universidade de Brasília (UnB) para a MJ/SE.

É vedada a cópia e a distribuição deste documento ou de suas partes sem o consentimento, por escrito, da MJ/SE.

diferenças. A taxa de erros iguais, nos experimentos dos autores, foi de 0,07%.

2.5. TÉCNICAS DE SEGMENTAÇÃO DA ÍRIS

Entre todas as etapas do processo de identificação pela íris, o pré-processamento da imagem é o que consome mais tempo. Cerca de 60% do período que um sistema biométrico deste tipo leva, desde a captura da imagem até a decisão, corresponde à localização da pupila e da íris na imagem (MA et al, 2004; DAUGMAN, 1999). A segmentação da íris é também um dos passos mais importantes, pois é o que define se a imagem adquirida terá sua informação corretamente extraída. Uma imagem segmentada de forma adequada dificilmente gerará um erro de identificação por falha na codificação. Além disso, conforme citado na Seção 1.2.1, os mesmos algoritmos usados para este fim são usados para pupilometria dinâmica, uma vez que determinam a medida do raio da pupila e da íris.

Por isso, vários métodos já foram desenvolvidos para a realização deste processo. Além daqueles já apresentados como partes de sistemas mais completos, alguns trabalhos propõem exclusivamente algoritmos de determinação dos parâmetros circulares do olho para aperfeiçoamento de soluções de pupilometria e de identificação biométrica.

O método descrito por Lim et al (2001), de modo equivalente ao de Wildes et al (1994), inicialmente converte a imagem em um mapa binário de bordas, porém não especifica que algoritmo é usado para isso. A estimação dos parâmetros também segue um sistema de votação, porém diferente da transformada Hough tradicional para circunferências (DUDA; HART, 1972).

O processo utilizado é conhecido como transformada Hough para círculos baseada em bissecção (IOANNOU; HUDA; LAINE, 2001; DAVIES, 1988 apud YUEN et al, 1990), descrito a seguir.

Para dois pontos pertencentes à borda da pupila, $P_i(x_i, y_i)$ e $P_j(x_j, y_j)$, a equação da reta bissetora perpendicular ao segmento $\overline{P_i P_j}$ é:

$$y = \frac{x_i - x_j}{y_i - y_j}x + \frac{x_i^2 + y_i^2 - x_j^2 - y_j^2}{2(y_i - y_j)} \quad (19)$$

Todos os pontos pertencentes a essa reta recebem um voto. A operação é repetida para

Projeto: MJ/SE-RIC	Emissão: 25/09/2014	Arquivo: 20140925 MJ RIC -RT Est de Tec de Ident Biométrica pela Íris e de Pupilometria Dinâmica	Pág.35/50
--------------------	---------------------	--	-----------

Confidencial.

Este documento foi elaborado pela Universidade de Brasília (UnB) para a MJ/SE.

É vedada a cópia e a distribuição deste documento ou de suas partes sem o consentimento, por escrito, da MJ/SE.

todas as combinações de dois pontos da borda. Ao final, as coordenadas com maior votação indicam o centro da pupila. A partir do centro, busca-se o último parâmetro, ajustando o valor do raio de uma circunferência virtual até que se obtenha maior coincidência de pontos sobre a borda detectada. Lim et al (2001) consideram a íris e a pupila concêntricas, portanto encontram-se dois valores de raio com maiores sobreposições.

A vantagem desta técnica sobre a transformada tradicional para círculos é que o raio só precisa ser determinado após a localização do centro. Na outra técnica, todos os parâmetros devem ser variados para se encontrar a melhor aproximação, o que representa maior custo computacional, ou trabalhar com valores fixos de raio, o que torna o método menos eficaz.

O algoritmo de Ma et al (2004) projeta inicialmente a imagem horizontal e verticalmente e, considerando a pupila como a região mais escura da imagem, determina um centro aproximado nas coordenadas (x_p, y_p) em que as projeções apresentam os valores mínimos (considera-se o preto sempre como o menor valor de intensidade e o branco como o valor máximo). Tais coordenadas são dadas pelas Equações 20 e 21:

$$x_p = \arg \min_x \left(\sum_y I(x, y) \right) \quad (20)$$

$$y_p = \arg \min_y \left(\sum_x I(x, y) \right) \quad (21)$$

Em seguida, uma região de 120 x 120 pixels da imagem, centralizada em (x_p, y_p) , é binarizada através de um processo de limiarização baseado no histograma. O centro da pupila é então estimado mais precisamente pelo centroide da região da pupila. Este processo pode ser repetido para se obter um valor mais exato, já que a primeira estimativa pode ficar muito longe das coordenadas reais de centro da pupila.

Após isso, é usada a detecção de bordas descrita por Canny (1986) e, em seguida, a transformada de Hough para extrair os parâmetros dos círculos (íris e pupila). A diferença para o método usado por Wildes et al (1994) é que a posição da íris é aproximada antes da detecção de bordas e da aplicação da transformada de Hough, reduzindo a região de processamento e, consequentemente, o custo computacional.

Projeto: MJ/SE-RIC	Emissão: 25/09/2014	Arquivo: 20140925 MJ RIC -RT Est de Tec de Ident Biométrica pela Íris e de Pupilometria Dinâmica	Pág.36/50
--------------------	---------------------	--	-----------

Confidencial.

Este documento foi elaborado pela Universidade de Brasília (UnB) para a MJ/SE.

É vedada a cópia e a distribuição deste documento ou de suas partes sem o consentimento, por escrito, da MJ/SE.

Outra abordagem usada para a segmentação da íris é descrita por Yuan, Xu e Lin (2005). Baseia-se no princípio geométrico de que três pontos não coincidentes e não colineares definem uma única circunferência. Primeiramente, localiza-se um ponto no interior da pupila, não necessariamente central. Considerando a pupila a parte mais escura da imagem, encontra-se uma região cuja soma dos valores de intensidades de cinza, calculada pela Equação 22, é mínima:

$$S(x_c, y_c) = \sum_{i=x_c-\frac{m-1}{2}}^{x_c+\frac{m-1}{2}} \sum_{j=y_c-\frac{n-1}{2}}^{y_c+\frac{n-1}{2}} I(i, j) \quad (22)$$

Esta região é uma janela retangular de m colunas e n linhas (Figura 19), sendo ambos os valores ímpares. A janela é centralizada em (x_c, y_c) , coordenadas assumidas como pertencentes ao interior da pupila quando a função $S(x_c, y_c)$ é mínima.

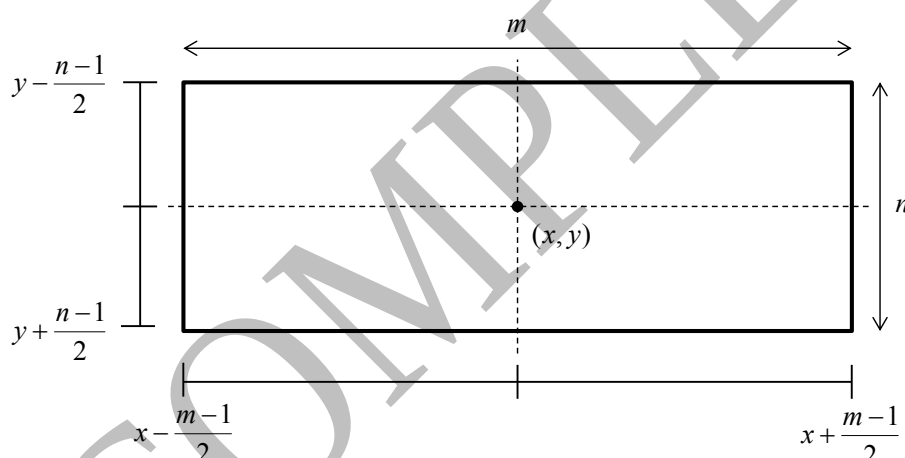


Figura 19 – Janela retangular $m \times n$ centralizada em (x, y)

Fonte: elaborado pelo autor.

A partir deste ponto, varre-se a imagem horizontalmente, para a esquerda e para a direita, usando um detector de bordas modelado pela Equação 23.

$$dif^{(1)}(x, y) = \left| \sum_{i=x-\frac{m-1}{2}}^{x-1} \sum_{j=y-\frac{n-1}{2}}^{y+\frac{n-1}{2}} I(i, j) - \sum_{p=x+1}^{x+\frac{m-1}{2}} \sum_{q=y-\frac{n-1}{2}}^{y+\frac{n-1}{2}} I(p, q) \right| \quad (23)$$

Esta função utiliza a mesma janela retangular representada pela Figura 19, calculando a diferença entre os pixels à esquerda e à direita do centro. Aplicando a função iterativamente pelo decremento da posição horizontal, obtém-se um conjunto de valores.

O maior valor de $dif^{(1)}(x, y)$ cujas coordenadas pertencem a um pixel de intensidade menor que o nível de referência da pupila é definido como a borda esquerda da pupila. Em seguida, o mesmo operador é aplicado novamente a partir de (x_c, y_c) , porém incrementando a posição horizontal. Seguindo o mesmo procedimento, encontra-se a borda direita da pupila.

As bordas detectadas definem pontos de coordenadas (x_L, y_L) e (x_R, y_R) , respectivamente à esquerda e à direita do ponto inicial. Analogamente, varre-se a imagem com o detector de bordas vertical, para baixo, a partir do ponto $(x_L + 20, y_c)$, encontrando o ponto (x_D, y_D) . Isto agiliza o cálculo do centro da circunferência ao utilizar a simples relação $x_D = x_L + 20$. A Figura 20 mostra a localização dos pontos encontrados nas bordas e usados para determinação dos parâmetros da circunferência da pupila.

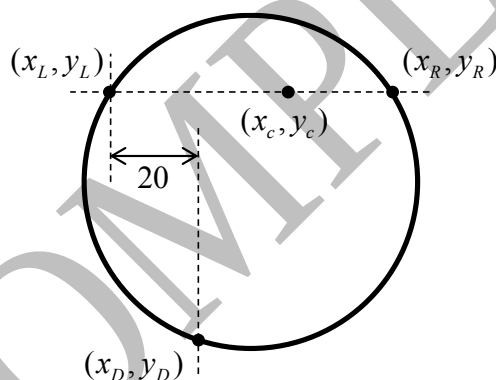


Figura 20 – Pontos usados para determinação da circunferência da pupila

Fonte: elaborado pelo autor.

Define-se o centro da pupila como o ponto (x_P, y_P) equidistante dos três pontos encontrados e o raio r_P como a distância do centro a um dos pontos da borda, através das Equações 24, 25 e 26.

$$x_P = \frac{x_L + x_R}{2} \quad (24)$$

$$y_P = \frac{20(x_R + x_L) - 400 + y_R^2 - y_D^2}{2(y_R - y_D)} \quad (25)$$

$$r_P = \sqrt{(x_P - x_D)^2 + (y_P - y_D)^2} \quad (26)$$

Projeto: MJ/SE-RIC	Emissão: 25/09/2014	Arquivo: 20140925 MJ RIC -RT Est de Tec de Ident Biométrica pela Íris e de Pupilometria Dinâmica	Pág.38/50
--------------------	---------------------	--	-----------

Confidencial.

Para a localização da íris, é detectada a próxima borda a partir do contorno da pupila, realizando um processo similar. O detector de bordas é aplicado iterativamente em direção à esquerda a partir da posição $(x_p - r_p - 1, y_p + 15)$, encontrando o ponto (x'_L, y'_L) . Em seguida, repete-se o processo à direita a partir de $(x_p + r_p + 1, y_p + 15)$ encontrando (x'_R, y'_R) . Por fim, o ponto (x'_D, y'_D) é localizado pela varredura a partir de $(x'_R - 15, y_p + 16)$. A Figura 21 ilustra os pontos encontrados nas bordas da íris, usados para determinação dos parâmetros da segunda circunferência.

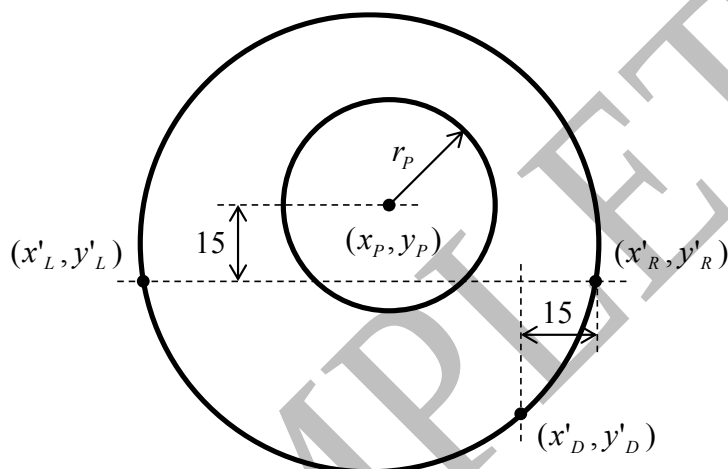


Figura 21 – Pontos usados para determinação da circunferência da íris

Fonte: elaborado pelo autor.

Os parâmetros da íris (x_I, y_I, r_I) são determinados de forma similar aos da pupila, através das Equações 27, 28 e 29.

$$x_I = \frac{x'_L + x'_R}{2} \quad (27)$$

$$y_I = \frac{15(x'_R + x'_L) - 225 + y'^2_L - y'^2_D}{2(y'_L - y'_D)} \quad (28)$$

$$r_I = \sqrt{(x_I - x'_D)^2 + (y_I - y'_D)^2} \quad (29)$$

Chavez (2007) descreve uma abordagem simples e eficiente. Partindo do pressuposto de que a pupila é a região de menor intensidade da imagem, aplica-se inicialmente um filtro mediano para redução de ruídos e melhor diferenciação de regiões. Um centro estimado da pupila é localizado usando as Equações 20 e 21, da mesma forma que a proposta por

Ma et al (2004), porém após um processo de limiarização. Isso agiliza significativamente esta etapa, já que passa a operar uma imagem de 1 bit por pixel ao invés de 8.

A partir do centro estimado (X_p, Y_p) , busca-se o primeiro pixel à esquerda e à direita em que há uma mudança de intensidade de 0 (preto) para 1 (branco), encontrando respectivamente os pontos (x_l, Y_p) e (x_r, Y_p) . Novamente a partir do centro estimado, varre-se a imagem verticalmente, encontrando os pontos (X_p, y_u) e (X_p, y_d) , respectivamente acima e abaixo da origem. O raio da pupila é então estimado usando as Equações 30 e 31.

$$r_p^x = \frac{|X_p - x_l| + |X_p - x_r|}{2} \quad (30)$$

$$r_p^y = \frac{|Y_p - y_u| + |Y_p - y_d|}{2} \quad (31)$$

Se a diferença entre R_p^x e R_p^y for maior que um valor estabelecido, considera-se um erro de localização. Neste caso, aplica-se um ruído gaussiano à imagem original e reinicia-se o algoritmo. Caso contrário, os parâmetros da circunferência da pupila são recalculados, através das Equações 32, 33 e 34:

$$X_p = \frac{x_r + x_l}{2} \quad (32)$$

$$Y_p = \frac{y_u + y_d}{2} \quad (33)$$

$$r_p = r_p^x \quad (34)$$

Para localização dos limites externos da íris, define-se na imagem original uma janela centrada em (X_p, Y_p) de 6 pixels de altura e largura maior que duas vezes o raio da pupila, valores determinados experimentalmente por Chavez (2007). Um filtro mediano é aplicado nessa janela e buscam-se, a partir dos limites externos desta, os pontos em que há baixa intensidade de cinza, encontrando os pontos (x'_l, Y_p) e (x'_r, Y_p) . Os parâmetros da íris são determinados pelas Equações 35, 36 e 37:

$$X_i = \frac{x'_r + x'_l}{2} \quad (35)$$

$$Y_i = Y_p \quad (36)$$

$$r_i = \frac{|X_p - x'_l| + |X_p - x'_r|}{2} \quad (37)$$

3. IDENTIFICAÇÃO POR REFLEXOS HUMANOS

Além da textura da íris, o olho humano pode fornecer outras informações que permitem a discriminação entre indivíduos. O uso de reflexos humanos para identificação é uma proposta recente para o desenvolvimento de sistemas biométricos a prova de fraudes (MITCHELL, 2009), baseada no princípio de que, ainda que informações armazenadas no banco de dados sejam obtidas ilicitamente, o fato de representarem características dinâmicas dificulta a reprodução em meios artificiais, como ocorre com impressões digitais ou faces.

Além disso, por serem respostas automáticas e involuntárias, não podem ser treinadas e imitadas, como assinaturas manuscritas ou dinâmica de digitação (NISHIGAKI; ARAI, 2008).

3.1. RESPOSTA SACÁDICA E PONTO CEGO DO OLHO

No primeiro trabalho a explorar a possibilidade de uso de reflexos humanos para identificação, Nishigaki e Arai (2008) propõem um sistema de autenticação baseado no tempo de resposta sacádica e na posição do ponto cego do olho.

Movimentos sacádicos são aqueles que o olho realiza rapidamente ao observar um ponto localizado na parte periférica de seu campo de visão. Quando um estímulo visual surge nesta região, há um tempo de latência de 100 ms a 500 ms até que o olho inicie o movimento na direção correspondente. Embora este tempo de latência apresente certa variabilidade interclasse, sozinho não é uma característica biométrica eficaz, já que também apresenta grande variabilidade intraclasse.

No entanto, há uma região do campo de visão, correspondente ao ponto cego da retina, onde não há percepção visual, e a ausência de informações é compensada pelo cérebro através da combinação de imagens ao redor deste ponto. Devido a diferenças

Projeto: MJ/SE-RIC	Emissão: 25/09/2014	Arquivo: 20140925 MJ RIC -RT Est de Tec de Ident Biométrica pela Íris e de Pupilometria Dinâmica	Pág.41/50
--------------------	---------------------	--	-----------

Confidencial.

Este documento foi elaborado pela Universidade de Brasília (UnB) para a MJ/SE.

É vedada a cópia e a distribuição deste documento ou de suas partes sem o consentimento, por escrito, da MJ/SE.

morfológicas e fisiológicas entre o olho de cada pessoa, a posição relativa do ponto cego em relação ao ponto de observação também é diferente em cada indivíduo.

Foram expostos 10 voluntários, cujas posições relativas do ponto cego já haviam sido previamente determinadas, a uma tela branca com um ponto para onde deveriam fixar o olhar. Então um ponto alvo era exibido na tela aleatoriamente, dentro ou fora da região cega do olho, e o tempo de latência para o movimento do olho, medido.

O teste foi repetido 100 vezes com cada indivíduo simulando uma autenticação verdadeira e 100 vezes simulando uma tentativa de fraude (usando a posição do ponto cego de outra pessoa como referência). Foi verificado que, quando o alvo era exibido no ponto cego da própria pessoa, não houve resposta sacádica em nenhum caso, enquanto em tentativas de fraude, o movimento ocorria em muitos casos.

Usando um critério que considera um número de pontos alvo e tempos de latência, os autores conseguiram obter, no melhor caso, 0% de falsa aceitação e 0% de falsa rejeição. Este resultado foi alcançado ao considerar autêntico o usuário que, na maioria entre 15 a 20 repetições apresentava um tempo de resposta menor que 1 segundo.

3.2. CARACTERÍSTICAS ESTÁTICAS E DINÂMICAS DA ÍRIS

Outro trabalho que aborda o uso de reflexos para a biometria utiliza características estáticas e dinâmicas da íris para identificação pessoal. Costa (2009) combinou um conjunto de 17 características discriminantes presentes no comportamento do olho durante a presença e ausência de estímulo luminoso, incluindo: tempo e taxa de contração/dilatação em diferentes períodos, média dos níveis de cinza da íris, correlação, segundo momento angular, entropia e contraste em diferentes setores da íris e intervalos de tempo.

Para isso, foi utilizado um sistema de aquisição de vídeos baseado no reflexo consensual da pupila. Enquanto uma câmera registrava o olho esquerdo do indivíduo sob iluminação próxima do infravermelho, o olho direito recebia luz visível em períodos de tempo determinados. Foram capturadas imagens de 111 pessoas, cujos olhos foram filmados cinco vezes, durante aproximadamente 33 segundos cada. Durante a gravação, a luz visível alternava entre acesa e apagada em intervalos de aproximadamente 7 s. Em um processo de gravação de imagens a 30 quadros por segundo, os intervalos durante os quais a iluminação permanecia ativa ou desativada são mostrados na Figura 22.

Projeto: MJ/SE-RIC	Emissão: 25/09/2014	Arquivo: 20140925 MJ RIC -RT Est de Tec de Ident Biométrica pela Íris e de Pupilometria Dinâmica	Pág.42/50
--------------------	---------------------	--	-----------

Confidencial.

Este documento foi elaborado pela Universidade de Brasília (UnB) para a MJ/SE.

É vedada a cópia e a distribuição deste documento ou de suas partes sem o consentimento, por escrito, da MJ/SE.

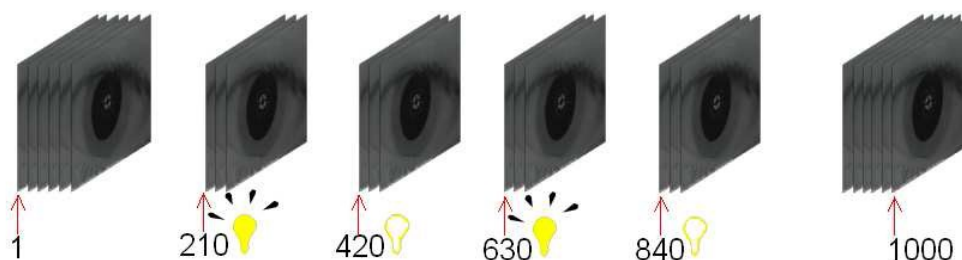


Figura 22 – Intervalos de quadros com estimulação da pupila

Fonte: COSTA, 2009.

Os valores medidos foram correspondentes a médias de períodos de tempo determinados. Os vetores de características foram comparados entre si usando a distância euclidiana e a distância de Hamming. Os melhores resultados foram obtidos usando a primeira forma de comparação.

A Tabela 2 mostra as taxas de erro apresentadas pelo sistema proposto por Costa (2009) em função do limiar de decisão para a distância euclidiana.

Tabela 2 – Taxas de erro do sistema proposto por Costa (2009)

Limiar de decisão	Taxa de falsa aceitação	Taxa de falsa rejeição
0,167	0,90%	30,71%
0,243	7,40%	11,71%
0,257	9,40%	4,12%
0,264	12,40%	0,67%
0,269	34,70%	0,00%

Fonte: adaptado de COSTA, 2009.

4. CONCLUSÃO

As principais técnicas usadas na identificação biométrica pela íris foram apresentadas neste relatório. As demonstrações estatísticas e fundamentações fisiológicas demonstram o porquê da robustez e eficácia dos métodos mais utilizados, bem como desta modalidade biométrica. Com isso, verifica-se também os critérios para um bom desempenho de um sistema que utilize tais técnicas, o que pode auxiliar na definição de um procedimento para cadastro e identificação civil no âmbito do Projeto RIC.

Foram apresentados também alguns estudos recentes sobre a identificação por um novo tipo de característica biométrica, os reflexos involuntários. Tais pesquisas podem permitir o avanço no desenvolvimento de formas mais seguras de identificação pessoal, porém, dado o estado inicial em que se encontra tal campo de pesquisa, ainda são necessários estudos mais aprofundados e experimentos em maior escala para a definição de padrões e protocolos que garantam um sistema de identificação robusto.

INCOMPLETO

Projeto: MJ/SE-RIC	Emissão: 25/09/2014	Arquivo: 20140925 MJ RIC -RT Est de Tec de Ident Biométrica pela Íris e de Pupilometria Dinâmica	Pág.44/50
--------------------	---------------------	--	-----------

Confidencial.

Este documento foi elaborado pela Universidade de Brasília (UnB) para a MJ/SE.
É vedada a cópia e a distribuição deste documento ou de suas partes sem o consentimento, por escrito, da MJ/SE.

REFERÊNCIAS

BOLES, Wageeh W. A security system based on human iris identification using wavelet transform. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, v. 11, n. 1, p. 77-85, Feb. 1998.

BROMBA, Manfred U. A. **Biometrics FAQ**. 24 Dec. 2010. Disponível em: <<http://www.bromba.com/faq/biofaq.htm>>. Acesso em: 26 ago. 2011.

CANNY, John. A computational approach to edge detection. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, v. 8, n. 6, p. 679-698, Nov. 1986.

CHAVEZ, Roger F. L.; **Uma proposta para melhoria na eficiência de um sistema de reconhecimento de íris humana**. 2007. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 28 fev. 2007.

CLARKE, Roger. Human identification in information systems: management challenges and public policy issues. **Information Technology & People**, v. 7, n. 4, p. 6-37, 1994.

COSTA, Ronaldo M. **Uma nova abordagem para reconhecimento biométrico baseado em características dinâmicas da íris humana**. 2009. 119 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 19 fev. 2010.

DANGELO, José G.; FATTINI, Carlo A. **Anatomia Humana Básica**. 2. ed. Rio de Janeiro: Atheneu, 2002.

DAUGMAN, John. Recognizing persons by their iris patterns: countermeasures against subterfuge. In: JAIN, Anil K.; BOLLE, Ruud; PANKANTI, Sharath. (Ed.). **Biometrics: personal identification in networked society**. Norwell: Kluwer Academic Publishers, 1999. p. 103-121.

_____. Demodulation by complex-valued wavelets for stochastic pattern recognition. **International Journal of Wavelets, Multi-resolution and Information Processing**, v. 1, n. 1, p. 1-17, Mar. 2003.

_____. How iris recognition works. **IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology**, v. 14, n. 1, p. 21-30, Jan. 2004.

Projeto: MJ/SE-RIC	Emissão: 25/09/2014	Arquivo: 20140925 MJ RIC -RT Est de Tec de Ident Biométrica pela Iris e de Pupilometria Dinâmica	Pág.45/50
--------------------	---------------------	--	-----------

Confidencial.

_____. Probing the uniqueness and randomness of iriscodes: results from 200 billion iris pair comparisons. **Proceedings of the IEEE**, v. 94, n. 11, p. 1927-1935, Nov. 2006.

DAUGMAN, John; DOWNING, Cathryn. Epigenetic randomness, complexity, and singularity of human iris patterns. **Proceedings of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences**, v. 268, n. 1477, p. 1737-1740, Aug. 2001.

DAVIES, Simon G. Touching big brother: how biometric technology will fuse flesh and machine. **Information Technology & People**, v. 7, n. 4, p. 38-47, 1994.

DUDA, Richard O.; HART, Peter E. Use of the Hough transformation to detect lines and curves in pictures. **Communications of the ACM**, v. 15, n. 1, p. 11-15, Jan. 1972.

DUDA, Richard O.; HART, Peter E.; STORK, David G. **Pattern classification**. 2nd ed. New York: Wiley, 2001.

FAN, Xiaofei; YAO, Gang. Modeling transient pupillary light reflex induced by a short light flash. **IEEE Transactions on Biomedical Engineering**, v. 58, n. 1, p. 36-42, Jan. 2011.

FERRARI, Giselle L. **Pupilometria dinâmica: aplicação na detecção e avaliação da neuropatia autonômica diabética e estudo da correlação entre a resposta temporal da pupila ao estímulo visual e a glicemia**. 2008. 102 f. Tese (Doutorado em Ciências – Engenharia Biomédica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 29 fev. 2008.

FOTIOU, Fotis; FOUNTOULAKIS, Konstantinos N.; GOULAS, Apostolos; ALEXOPOULOS, Leonidas; PALIKARAS, Achilles., Automated standardized pupillometry with optical method for purposes of clinical practice and research. **Clinical Physiology**, v. 20, n. 5, p. 336-347, Sep. 2000.

GAMLIN, Paul D. R.; MCDOUGAL, David H. Pupil, In: DART, Darlene A.; BESHARSE, Joseph C.; DANA, Reza. (Ed.). **Encyclopedia of the Eye**, Oxford: Academic Press, 2010. v. 4, p. 549-555.

Projeto: MJ/SE-RIC	Emissão: 25/09/2014	Arquivo: 20140925 MJ RIC -RT Est de Tec de Ident Biométrica pela Iris e de Pupilometria Dinâmica	Pág.46/50
--------------------	---------------------	--	-----------

Confidencial.

Este documento foi elaborado pela Universidade de Brasília (UnB) para a MJ/SE.

É vedada a cópia e a distribuição deste documento ou de suas partes sem o consentimento, por escrito, da MJ/SE.

HELLER, Philip H.; PERRY, Franklin; JEWETT, Don L.; LEVINE, Jon D. Autonomic components of the human pupillary light reflex. **Investigative Ophthalmology & Visual Science**, v. 31, n. 1, p. 156-162, Jan. 1990.

IOANNOU, Dimitrios; HUDA, Walter; LAINE, Andrew F. Circle recognition through a 2D Hough Transform and radius histogramming. **Image and Vision Computing**, v. 17, n. 1, p. 15-26, Jan. 1999.

JÄHNE, Bernd. **Digital Image Processing**. 6th ed. Heidelberg: Springer, 2005.

JAIN, Anil K.; BOLLE, Ruud; PANKANTI, Sharath. Introduction to biometrics. In: _____ (Ed.). **Biometrics: personal identification in networked society**. Norwell: Kluwer Academic Publishers, 1999. p. 1-41.

KOLB, Helga. Gross anatomy of the eye, 01 May 2007. In: KOLB, Helga; NELSON, Ralph; FERNANDEZ, Eduardo; JONES, Bryan. **Webvision: the organization of the retina and visual system**. Salt Lake City: University of Utah, 2011. Disponível em: <<http://webvision.med.utah.edu/book/part-i-foundations/gross-anatomy-of-the-ey/>>. Acesso em: 11 ago. 2011.

LIM, Shinyoung; LEE, Kwanyong; BYEON, Okhwan; KIM, Taiyun. Efficient iris recognition through improvement of feature vector and classifier. **ETRI Journal**, v. 23, n. 2, p. 61-70, June 2001.

MA, Li; TAN, Tieniu; WANG, Yunhong; ZHANG, Dexin. Efficient iris recognition by characterizing key local variations. **IEEE Transactions on Image Processing**, v. 13, n. 6, p. 739-750, June 2004.

MALLAT, Stephane G. Zero-crossings of a wavelet transform. **IEEE Transactions on Information Theory**, v. 37, n. 4, p. 1019-1033, July 1991.

MEEKER, Michele; DU, Rose; BACCHETTI, Peter; PRIVITERA, Claudio M.; LARSON, Merlin D.; HOLLAND, Martin C.; MANLEY, Geoffrey. Pupil examination: validity and clinical utility of an automated pupillometer. **Journal of Neuroscience Nursing**, v. 37, n. 1, p. 34-40, Feb. 2005.

MITCHELL, Britann. Cutting edge “spoof proof” biometrics. **It's Evident**, Gulfport, Jan. 2009. Disponível em:

<<http://www.ncstl.org/evident/Jan09%20Mitchell%20ResearchFocus>>. Acesso em: 22 jul. 2011.

MONTGOMERY, Ted. **The iris**. [2008]. Disponível em:
<http://www.tedmontgomery.com/the_eye/iris.html>. Acesso em: 15 ago. 2011.

NATIONAL SCIENCE AND TECHNOLOGY COUNCIL SUBCOMMITTEE ON BIOMETRICS. **Biometrics history**. 7 Aug. 2006. Disponível em:
<<http://www.biometrics.gov/Documents/BioHistory.pdf>>. Acesso em 20 ago. 2011.

NISHIGAKI, Masakatsu; ARAI, Daisuke. A user authentication based on human reflexes using blind spot and saccade response. **International Journal of Biometrics**. v. 1, n. 2, p. 173-190, Aug. 2008.

PAMPLONA, Vitor; OLIVEIRA, Manuel M.; BARANOSKI, Gladimir V. G.; photorealistic models for pupil light reflex and iridal pattern deformation. **ACM Transactions on Graphics**, v. 28, n. 4, art. 106, Aug. 2009. 12 p.

REID, Paul. **Biometrics for network security**. Upper Saddle River: Prentice Hall Professional, 2004.

RODRIGUES-ALVES, Carlos A. Pupila Neuro-Oftalmológica. **Revista Sinopse de Oftalmologia**, São Paulo, v.1, n. 2, nov. 1999. Disponível em:
<http://www.moreirajr.com.br/revistas.asp?fase=r003&id_materia=1249>. Acesso em: 16 ago. 2011.

SANCHEZ-AVILA, C.; SANCHEZ-REILO, R. Iris-based biometric recognition using dyadic wavelet transform. **IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems**, v. 17, n. 10, p. 3-6, Oct. 2002.

SRIDHARAN, Prabhu. Security within your eyes: iris recognition technology. **Syntesis Journal**, Singapore, n. 9, p. 109-119, 2008. Disponível em:
<http://www.itsc.org.sg/pdf/synthesis08/Four_Iris.pdf>. Acesso em: 22 ago. 2011.

Projeto: MJ/SE-RIC	Emissão: 25/09/2014	Arquivo: 20140925 MJ RIC -RT Est de Tec de Ident Biométrica pela Iris e de Pupilometria Dinâmica	Pág.48/50
--------------------	---------------------	--	-----------

Confidencial.

Este documento foi elaborado pela Universidade de Brasília (UnB) para a MJ/SE.

É vedada a cópia e a distribuição deste documento ou de suas partes sem o consentimento, por escrito, da MJ/SE.

WILDES, Richard P. Iris recognition: an emerging biometric technology. **Proceedings of the IEEE**, v. 85, n. 9, p. 1348-1363, Sep. 1997.

WILDES, Richard P.; ASMUTH, Jane C.; GREEN, Gilbert L.; HSU, Steven C.; KOLCZYNSKI, Raymond J.; MATEY, James R.; MCBRIDE, Sterling E. A system for automated iris recognition. In: IEEE WORKSHOP ON APPLICATIONS OF COMPUTER VISION, 2., 1994, Sarasota. **Proceedings of WACV'94**. Piscataway: IEEE Publishing, 1994. p. 121-128.

_____. A machine-vision system for iris recognition. **Machine Vision and Applications**, v. 9, n. 1, p. 1-8, Jan. 1996.

YUAN, Weiqi; XU, Lu; LIN, Zhonghua. A Novel Iris Localization Algorithm Based on the Gray Distributions of Eye Images. In: ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE IEEE ENGINEERING IN MEDICINE AND BIOLOGY SOCIETY, 27., 2005, Shanghai. **Proceedings of the EMBC 2005**. Piscataway: IEEE Publishing, 2005. p. 6504-6507.

YUEN, H. K.; PRINCEN, J.; ILLINGWORTH, J.; KITTLER, J. Comparative study of Hough transform methods for circle finding. **Image and Vision Computing**. v. 8, n. 1, p. 71-77, Feb. 1990.

Universidade de Brasília – UnB

Centro de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico – CDT

Laboratório de Tecnologias da Tomada de Decisão – LATITUDE

www.unb.br – www.cdt.unb.br – www.latitude.eng.br



Centro de Apoio ao
Desenvolvimento
Tecnológico



UnB